

**U.** PORTO



FACULDADE DE DESPORTO  
UNIVERSIDADE DO PORTO

# Análise hidrodinâmica do arrasto passivo e activo nas diferentes técnicas de nado

João António Martins Ribeiro

Porto, 2006

# Análise hidrodinâmica do arrasto passivo e activo nas diferentes técnicas de nado

Monografia realizada no âmbito da disciplina de  
Seminário do 5º ano da licenciatura em Desporto e  
Educação Física, na área de Natação, Opção  
Complementar de Desporto de Rendimento, da  
Faculdade de Desporto da Universidade do Porto

Orientador: Prof. Doutor João Paulo Vilas-Boas  
Co-orientador: Prof. Doutor Leandro Machado  
João António Martins Ribeiro

Porto, 2006

João, R. (2006). Análise hidrodinâmica do arrasto passivo e activo nas diferentes técnicas de nado. Dissertação de licenciatura. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto. Porto

NATAÇÃO, ARRASTO PASSIVO, ARRASTO ACTIVO; TÉCNICAS DE NADO

## **Agradecimentos**

Um trabalho desta natureza só se torna possível através da intervenção e colaboração de um conjunto de pessoas. Neste sentido gostaria de agradecer:

Ao Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas pelo tempo disponibilizado na orientação deste trabalho, pelo constante apoio, motivação e transmissão de saberes e, pela exigência, entendida como condição de investigação de qualidade.

Ao Professor Doutor Leandro Machado pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o processo e, pela ajuda no esclarecimento de dúvidas no tratamento dos dados e interpretação estatística.

Ao Professor Doutor Ricardo Fernandes pela boa receptividade e disponibilidade demonstrada em todos os momentos da minha pesquisa bibliográfica.

À Mestre Suzana Pereira pela boa disposição, dedicação e cooperação na recolha dos dados bem como durante todo o processo.

Ao Mestre José Silva pela disponibilidade e cooperação que tornaram possível a recolha dos dados.

Aos Pedro, Simão e Dália pelo companheirismo e ajuda prestada durante a recolha dos dados e realização deste trabalho.

Aos nadadores pela disponibilidade.

À minha família pela compreensão, apoio e confiança.

## Índice geral

|  |      |
|--|------|
| <b>Agradecimentos</b> .....                              | I    |
| <b>Índice geral</b> .....                                | II   |
| <b>Índice de figuras</b> .....                           | IV   |
| <b>Índice de quadros</b> .....                           | VII  |
| <b>Resumo</b> .....                                      | XIX  |
| <b>Abstract</b> .....                                    | XI   |
| <b>Résumé</b> .....                                      | XIII |
| <b>Abreviaturas</b> .....                                | XV   |
| <b>1. Introdução</b> .....                               | 1    |
| <b>2. Revisão da Literatura</b> .....                    | 3    |
| 2.1 Mecânica dos Fluidos .....                           | 3    |
| 2.1.1 Propriedades dos fluidos.....                      | 3    |
| 2.1.1.1 Fluido, Fluidez e fluxo.....                     | 3    |
| 2.1.1.2 Massa volúmica, peso volúmico e densidade.....   | 4    |
| 2.1.1.3 Viscosidade.....                                 | 5    |
| 2.1.2 escoamento Laminar, Turbulento e de Transição..... | 5    |
| 2.1.3 Camada Limite.....                                 | 7    |
| 2.2 Arrasto Hidrodinâmico.....                           | 8    |
| 2.2.1 Arrasto de pressão, onda e de fricção.....         | 10   |
| 2.2.1.1 Arrasto de pressão.....                          | 10   |
| 2.2.1.2 Arrasto de onda.....                             | 11   |
| 2.2.1.3 Arrasto de fricção .....                         | 13   |
| 2.3 Avaliação da Força de arrasto hidrodinâmico.....     | 16   |
| 2.3.1 Arrasto Passivo.....                               | 16   |
| 2.3.2 Arrasto Activo.....                                | 17   |
| 2.3.2.1 Métodos Indirectos.....                          | 18   |
| 2.3.2.2 Métodos Directos.....                            | 18   |
| 2.4 Arrasto activo vs arrasto passivo.....               | 20   |
| <b>3. Objectivos e Hipóteses</b> .....                   | 23   |
| <b>4. Metodologia</b> .....                              | 24   |
| 4.1 Caracterização da Amostra.....                       | 24   |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 Instrumentos e Procedimentos.....               | 24        |
| 4.2.1 Determinação do arrasto passivo.....          | 25        |
| 4.2.1.1 Situação teste.....                         | 26        |
| 4.2.2 Método de determinação do arrasto activo..... | 29        |
| 4.2.2.1 Situação teste.....                         | 31        |
| 4.2.3 Tratamento estatístico.....                   | 33        |
| <b>5. Apresentação dos resultados.....</b>          | <b>34</b> |
| <b>6. Discussão dos resultados.....</b>             | <b>49</b> |
| <b>7. Conclusões.....</b>                           | <b>55</b> |
| <b>8. Referências Bibliográficas.....</b>           | <b>56</b> |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transverso em relação à direcção da aplicação de $D$ , oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979).....                                    | 9  |
| Figura 2. Efeito da profundidade no arrasto total (adaptado de Toussaint, 2002) .....   | 13 |
| Figura 3. MAD-System (System to measure active drag) Método de determinação do arrasto activo proposto por Hollander <i>et al.</i> (1985, 1986).....  | 19 |
| Figura 4. Velocímetro (Swimsensor) .....  | 25 |
| Figura 5. Curva $v(t)$ com os dados em bruto, e filtrada utilizando uma média móvel de 20 pontos.....   | 27 |
| Figura 6. Curva de aceleração da velocidade filtrada e aceleração filtrada utilizando uma média móvel de 30 pontos.....   | 27 |
| Figura 7. Curva da força de arrasto hidrodinâmico em função do tempo: $f(t)$  | 28 |
| Figura 8. Cálculo da área de secção transversal através da decomposição da área da imagem num sistema de triângulos.....  | 29 |
| Figura 9. Representação esquemática do corpo hidrodinâmico utilizado no nosso estudo (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992). 1 – porção flutuante; 2 – linha de água; 3 – orifício de enchimento; 4 – suportes do cilindro; 5 – locais de ancoragem do cabo; 6 – cilindro hidrodinâmico..... | 29 |
| Figura 10. Representação esquemática da situação de teste utilizada para a avaliação do arrasto activo (adaptado de Vilas-Boas <i>et al.</i> , 2001) .....  | 32 |
| Figura 11. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão do $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ em cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças intersexuais de médias de $C_{Da}$ e intrasexuais de $C_{Da}$ com $C_{Dp}$ (*= $p \leq 0,05$ ).....   | 37 |
| Figura 12. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ totais, entre cada técnica de nado. É também apresentado o   |    |

|  |    |
|--|----|
| significado estatístico das diferenças de médias ( $*=p\leq 0,05$ ).....   | 38 |
| Figura 13. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ no conjunto de técnicas alternadas (crol e costas) e simultâneas (mariposa e bruços) É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias entre $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ totais, intersexuais de $C_{Da}$ e intrasexuais de $C_{Da}$ com $C_{Dp}$ ( $*=p\leq 0,05$ )..... | 39 |
| Figura 14. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de $C_{Da}$ entre técnicas de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias de $C_{Da}$ intrasexuais e totais. ( $*=p\leq 0,05$ ).....   | 41 |
| Figura 15. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ totais. ....  | 42 |
| Figura 16. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de $Da$ e $Dp$ em cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias entre $Da$ e $Dp$ em cada técnica ( $*=p\leq 0,05$ ).....  | 43 |
| Figura 17. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto activo ( $C_{Da}$ ) total com e a velocidade.....   | 44 |
| Figura 18. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e velocidade de costas.....  | 45 |
| Figura 19. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto activo ( $C_{Da}$ ) e o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) na técnica de crol.....   | 46 |
| Figura 20. Regressão Linear entre o arrasto activo ( $Da$ ) de crol e arrasto passivo ( $Dp$ ), para a mesma velocidade.....   | 47 |
| Figura 21. Regressão Linear entre o arrasto activo ( $Da$ ) de costas e arrasto passivo ( $Dp$ ), para a mesma velocidade.....   | 47 |
| Figura 22. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e a área de secção transversal máxima (S).....   | 48 |
| Figura 23. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ (recalculado utilizando o valor de referência de S, estimado  |    |

através da potência  $2/3$  do volume corporal) totais e intrasexuais, entre cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias ( $*=p\leq 0,05$ )..... 51

## Índice de quadros

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1. Principais características da amostra.....   | 24 |
| Quadro 2. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média e desvio padrão (SD) dos coeficientes de arrasto hidrodinâmico passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) obtidos para o sexo masculino nas diferentes técnicas de nado.....  | 34 |
| Quadro 3. Valores máximo (Max) e mínimo (Min) , média e desvio padrão (SD) dos coeficientes de arrasto hidrodinâmico passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) obtidos para o sexo feminino nas diferentes técnicas de nado.....  | 35 |
| Quadro 4. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média e desvio padrão (SD) dos coeficientes de arrasto hidrodinâmico total amostral passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) nas diferentes técnicas de nado.....   | 35 |
| Quadro 5. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média (Méd) e desvio padrão (SD) do arrasto activo ( $Da$ ), passivo ( $Dp$ ), totais e da velocidade (V) máxima alcançada em 30m de nado puro, para cada técnica de nado..   | 36 |
| Quadro 6. Valor de prova do teste Mann-Whitney para as diferenças intersexuais de $C_{Da}$ e valor de prova do teste de Wilcoxon para as diferenças intrasexuais de $C_{Da}$ com $C_{Dp}$ , em cada técnica de nado.....   | 37 |
| Quadro 7. Valor de prova do teste de Wilcoxon de $C_{Da}$ total com $C_{Dp}$ total para as diferentes técnicas de nado.....  | 38 |
| Quadro 8. Valor de prova do teste de Mann-Whitney para as diferenças intersexuais de $C_{Da}$ e valor de prova do teste Wilcoxon para as diferenças intrasexuais de $C_{Da}$ com $C_{Dp}$ e $C_{Da}$ total com $C_{Dp}$ total nas técnicas alternadas (crol e costas) e simultâneas (bruços e mariposa)..... | 39 |
| Quadro 9. Valor de prova do teste Wilcoxon das diferenças intrasexuais de $C_{Da}$ e de $C_{Da}$ total nas quatro técnicas de nado.....  | 40 |
| Quadro 10. Valor de prova do teste Mann-Whitney das diferenças intersexuais de $C_{Da}$ e $C_{Dp}$ totais e valor de prova do teste Wilcoxon para  |    |

---

|  |    |
|--|----|
| as diferenças intrasexuais de $C_{Da}$ com $C_{Dp}$ e totais de $C_{Da}$ com $C_{Dp}$ .....  | 41 |
| Quadro 11. Valor de prova do teste Wilcoxon da diferença de $Da$ de cada técnica de nado com respectivo $Dp$ .....   | 42 |
| Quadro 12. Correlações entre os coeficientes de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) nas diferentes técnicas de nado com a respectiva velocidade média máxima alcançada em cada técnica..... | 44 |
| Quadro 13. Correlações entre os coeficientes de arrasto activo( $C_{Da}$ ) das diferentes técnicas de nado com o coeficiente de arrasto passivo( $C_{Dp}$ ).....   | 45 |
| Quadro 14. Correlações entre arrasto activo ( $Da$ ) e passivo ( $Dp$ ) nas diferentes técnicas de nado.....   | 46 |
| Quadro 15. Correlações entre a área de secção transversal ( $S$ ) com arrasto e coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ).....   | 47 |

## Resumo

A força de arrasto hidrodinâmico ( $D$ ) tem sido incluída em muitos dos estudos relativos à natação como forma de compreender o factor limitativo de  $D$  durante o nado, podendo ser determinada através de duas grandes categorias: arrasto passivo ( $D_p$ ) e arrasto activo ( $D_a$ )

O objectivo deste estudo consistiu em comparar e relacionar  $D_p$  e  $D_a$ , e respectivos coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ), nas diferentes técnicas de nado. Como objectivos específicos procurou-se correlacionar  $D_p$  com  $D_a$  nas técnicas de nado;  $C_{Dp}$  com  $C_{Da}$ , nas quatro técnicas de nado e com a performance; a área de secção máxima transversal ao deslocamento ( $S$ ) com  $D_p$  e  $C_{Dp}$ .

Foram estudados 10 nadadores, 4 do género feminino e 6 do género masculino.

O  $D_a$  e o  $C_{Da}$  foram determinados pelo método da potência máxima constante. O  $D_p$  e o  $C_{Dp}$  foram determinados através da modelação da curva de desaceleração obtida com um velocímetro electromecânico.

Os resultados permitiram concluir que: (i) o  $C_{Da}$  masculino é significativamente superior ao  $C_{Da}$  feminino nas técnicas de crol e costas; no entanto, não se verificaram diferenças significativas entre géneros relativamente a  $C_{Dp}$ ; (ii) o  $C_{Da}$  é inferior a  $C_{Dp}$ , no sexo feminino, em crol e costas e, na amostra total, em mariposa e crol. Porém, quando os valores de  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  são comparados com base no mesmo  $S$ , o  $C_{Dp}$  revela-se inferior a  $C_{Da}$  para a amostra total, nas quatro técnicas de nado e para o género feminino, em crol, mariposa e bruços; (iii) o  $C_{Da}$  na técnica de bruços é significativamente superior às restantes

técnicas de nado, no género feminino e na amostra total; (iv) o  $C_{Da}$  das diferentes técnicas não se correlaciona com a performance de nado; (v)  $C_{Dp}$  correlaciona-se de forma positiva com a performance de nado para a velocidade de costas, não apresentando, no entanto, correlação com a velocidade nas restantes técnicas; (vi) o  $C_{Da}$  correlaciona-se de forma positiva com  $C_{Dp}$  na técnica de crol; (vii)  $Da$  e  $Dp$  correlacionam-se de forma positiva nas técnicas de crol e costas; (viii)  $S$  correlaciona-se de forma negativa com  $C_{Dp}$  mas não se correlaciona com  $Dp$ .

**Palavras-chave:** Natação, arrasto activo, arrasto passivo, técnicas de nado

## Abstract

The hydrodynamic drag force ( $D$ ) has been included in many studies related to swimming as a way to understand its limitative role during swim, and it could be determined through two main categories: passive drag ( $D_p$ ) and active drag ( $D_a$ ).

The aim of this study consisted in comparing and relating  $D_p$  and  $D_a$ , and their respective coefficients of passive drag ( $C_{D_p}$ ) and active drag ( $C_{D_a}$ ), in the different swimming techniques. And the specific aims of correlating:  $D_p$  with  $D_a$  in the swimming techniques;  $C_{D_p}$  with  $C_{D_a}$ , in the four swimming techniques and with performance; maximal cross-section area in a plane perpendicular to the flow ( $S$ ) with  $D_p$  and  $C_{D_p}$ .

Ten swimmers were studied, four of the feminine gender and six of the masculine one.

The  $D_a$  and the  $C_{D_a}$  were determined by the velocity perturbation method. The  $D_p$  and the  $C_{D_p}$  were determined through modelling the deceleration curve obtained with an electromechanical swim-meter.

The results allowed to conclude that: (i) the male  $C_{D_a}$  is significantly superior to the female  $C_{D_a}$  in front-crawl and backstroke techniques; however, no significant differences between genders relative to  $C_{D_p}$  were verified; (ii) the  $C_{D_a}$  is inferior to the  $C_{D_p}$  in the females, in front-crawl and backstroke and in the total sample, in butterfly and front-crawl. Yet, when the  $C_{D_a}$  and  $C_{D_p}$  values are compared with basis on the same  $S$ , the  $C_{D_p}$  shows itself inferior to  $C_{D_a}$  for the total sample, in the four swimming techniques and in front-crawl, butterfly and breaststroke for the females; (iii) the  $C_{D_a}$  in breaststroke technique is significantly superior to the

rest of the swimming techniques, in the females and in the total sample; (iv) the  $C_{Da}$  of the different techniques does not correlate with the swimming performance; (v)  $C_{Dp}$  correlates positively with the swimming performance for the backstroke velocity, not presenting, however, correlation with the velocity for the rest of the techniques; (vi) the  $C_{Da}$  correlates positively with the  $C_{Dp}$  in front-crawl; (vii)  $Da$  and  $Dp$  correlate positively in front-crawl and backstroke techniques; (viii)  $S$  correlates negatively with  $C_{Dp}$ , but does not correlate with  $Dp$ .

**Key-words:** Swimming, active drag, passive drag, swimming techniques.

## Resumé

La force d'impulsion hydrodynamique ( $D$ ) a été incluse dans beaucoup d'études concernant la natation, pour comprendre le facteur limitatif de  $D$  pendant la natation, elle peut être déterminée par deux grandes catégories : drague passive ( $Dp$ ) et drague active ( $Da$ ).

L'objectif de cette étude est de comparer et de mettre en rapport  $Dp$  et  $Da$  leurs respectifs coefficients de drague passive ( $C_{Dp}$ ) et active ( $C_{Da}$ ), dans les différentes techniques de natation. Comme objectifs spécifiques on a essayé de mettre en rapport  $Dp$  avec  $Da$  dans les techniques de natation ;  $C_{Dp}$  avec  $C_{Da}$ , dans les quatre techniques de natation et avec la performance ; le valeur maximum de la section transversal au déplacement ( $S$ ) avec  $Dp$  et  $C_{Dp}$ .

Dix nageurs ont été objet de l'étude, quatre filles et six garçons.

$Da$  et  $C_{Da}$  ont été précisés par la méthode de puissance maximum constante.  $Dp$  et  $C_{Dp}$  ont été déterminés à travers le modelage de la courbe retardement obtenue par un vélocimétrie électromécanique.

Les résultats ont permis de conclure que (i) le  $C_{Da}$  masculin est significativement supérieur au  $C_{Da}$  féminin en ce qui concerne les techniques de crawl et dos cependant on ne vérifie pas de différences significatives entre genres relativement à  $C_{Dp}$ ; (ii) le  $C_{Da}$  est inférieur au  $C_{Dp}$ , dans le sexe féminin, en crawl et dos et dans l'épreuve total, en papillon et crawl. Toutefois, lorsque les valeurs de  $C_{Da}$  et  $C_{Dp}$  sont comparées pour base au même  $S$ , le  $C_{Dp}$  se révèle inférieur à  $C_{Da}$ , en épreuve total, dans les quatre techniques de natation et pour le genre féminin, en crawl, papillon et brasse; (iii) le  $C_{Da}$  en technique de brasse et plat ventre est significativement supérieur aux autres techniques de

natation, dans le genre féminin et dans l'épreuve total ; (iv) le  $C_{Da}$  des différentes techniques n' établit pas de corrélation avec la performance de nage ; (v) le  $C_{Dp}$  établit une corrélation de forme positive avec la performance de nage pour la vitesse de dos , ne présentant pas, cependant, une corrélation avec la vitesse des autres techniques ; (vi) le  $C_{Da}$  établit une corrélation positive avec  $C_{Dp}$  en technique de crawl; (vii)  $Da$  et  $Dp$  se relationnent positivement dans les techniques de crawl et dos ; (viii)  $S$  se met en relation d'une façon négative avec  $C_{Dp}$  mais ne se met pas en relation avec  $Dp$ .

**Mots – Clés:** Natation, drague active, drague passive, techniques de natation.

**Abreviaturas**

Aceleração -  $a$

Aceleração da gravidade -  $g$

Área de secção máxima transversal à direcção da força -  $S$

Arrasto hidrodinâmico -  $D$

Arrasto hidrodinâmico do dispositivo adicional -  $D_{ch}$

Arrasto hidrodinâmico activo -  $Da$

Arrasto hidrodinâmico passivo -  $Dp$

Centímetros -  $cm$

Coefficiente de arrasto -  $C_D$

Coefficiente de arrasto activo -  $C_{Da}$

Coefficiente de arrasto passivo -  $C_{Dp}$

Coefficiente de viscosidade dinâmica -  $\mu$

Confrontar - conf.

Comprimento -  $\ell$

Graus Centígrados -  $^{\circ}C$

Género feminino - ♀

Género masculino - ♂

Kolmogorov-Smirnov - K-S

Massa específica -  $\rho$

Membros inferiores - MI

Membros superiores - MS

Metros –  $m$

Minutos –  $min$

Número de Reynolds -  $Re$

Pressão -  $p$

Quilograma –  $kg$

Segundos –  $s$

Velocidade -  $V$

Tempo –  $t$



## 1. Introdução

A natação desenvolve-se num meio físico com características mecânicas específicas, colocando ao nadador problemas igualmente específicos (Vilas-Boas, 2001). Como referem Toussaint *et al.* (2004) a performance da natação humana é inferior em relação às espécies cujo habitat é aquático. Neste contexto, a performance do nadador não depende apenas das suas habilidades propulsivas mas, também, das suas capacidades para reduzir, ao mínimo, as forças de arrasto hidrodinâmico durante o nado (Taïar *et al.*, 1999).

O arrasto hidrodinâmico ( $D$ ) é uma força externa que actua sobre o corpo do nadador, com a mesma direcção e com sentido oposto ao deslocamento, pelo que, quanto menor for a sua intensidade, maior será a velocidade de deslocamento se todas as outras condições se mantiverem constantes (Vilas-Boas, 1997a). 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 (Vilas-Boas *et al.*, 2001a).

Deste modo, em toda a parte da história de investigação em natação têm sido feitas tentativas para determinar  $D$  (Toussaint *et al.*, 2004) distinguindo-se, fundamentalmente duas categorias de arrasto: o arrasto passivo e o arrasto activo. A investigação em natação tem-se suportado cada vez mais sobre os métodos de determinação do arrasto activo, apesar de algumas convicções em favor da ainda actual utilidade do arrasto passivo (Chatard *et al.*, 1990a,b, Havriluk, 2004).

A pesquisa da magnitude do arrasto activo e a sua relação com o arrasto passivo tem sido discutida por muitos anos na literatura e ainda se mantém controversa (Kolmogorov *et al.*, 1997).

No que concerne ao arrasto activo, a maioria da investigação centrou-se na técnica de crawl e muito pouca teve em conta os coeficientes de arrasto que se têm manifestado excelentes indicadores de técnica de nado e performance;

tanto no arrasto activo (Kolmogorov e Duplischeva, 1992, Kolmogorov *et al.*, 1997, Takagi *et al.*, 2001) como no arrasto passivo (Havriluk, 2005). Neste contexto, o objectivo deste trabalho consiste numa análise hidrodinâmica aprofundada do arrasto passivo e activo, nas diferentes técnicas de nado.

Assim, primeiramente, realizaremos uma breve revisão da literatura onde pretendemos apurar o estado do conhecimento nesta área e, de seguida, apresentaremos o problema do nosso estudo, bem como a definição dos seus objectivos. Após a descrição do material e métodos utilizados, passaremos à apresentação e à discussão dos resultados obtidos, confrontando-os entre si e com os resultados da literatura. Por fim, serão sintetizadas as principais conclusões, sugerindo aspectos importantes a ter em conta em futuras investigações.

## **2. Revisão da Literatura**

### **2.1 Mecânica dos Fluidos**

Vilas-Boas (1997a) realça a importância do 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 hidrodinâmico. Passamos, assim, a realizar uma breve análise da mecânica dos fluidos associada à biomecânica externa da natação.

Em termos gerais, o objecto de estudo da mecânica dos fluidos são as leis do equilíbrio e do movimento dos fluidos e os fenómenos que decorrem da sua interacção com os sólidos (Fédiaevski *et al.*, 1979).

#### **2.1.1 Propriedades dos fluidos**

##### **2.1.1.1 Fluido, fluidez e fluxo**

Segundo, Novais-Barbosa (1985), 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 fluidez é a principal propriedade 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 constituem a substância em questão. Diz-se, portanto, que um fluido o é porque escoam quando sujeito a forças externas. Nesta circunstância, o fluido apresenta um determinado padrão de movimento, que se designa por fluxo (Vilas-Boas, 1997a).

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

### **2.1.1.2 Massa volúmica, peso volúmico e densidade**

A massa volúmica, ou massa específica, é a razão entre a massa de uma dada porção de substância e o volume por ela ocupado (Massey, 2002). O produto da massa volúmica pela aceleração da gravidade designa-se por peso volúmico da substância (Vilas-Boas, 1997a). 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 pelos 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 para comparação de massas volúmicas de líquidos é a água a 4°C, que assume o valor de  $1000\text{kg/m}^3$ . Deste modo, considera-se que a densidade relativa da água, nas condições enunciadas, assume o valor unitário.

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). Se a velocidade do fluxo de um fluido, em qualquer, ponto for constante em relação ao tempo, isto é, se todos os elementos infinitesimais do volume do líquido, que passam por determinado ponto, tiverem sempre a mesma velocidade  $V$ , o escoamento diz-se permanente ou estável. O escoamento será variado ou instável se, um elemento do volume, passando por um dado ponto, possuir, no

instante  $t$ , uma velocidade diferente de outro qualquer elemento do volume, passando no mesmo ponto, no instante subsequente.

### **2.1.1.3 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 (Vias-Boas, 1997a).

A viscosidade dos fluidos reais, apesar de ajudar na propulsão do nadador, também resulta na resistência que impede o movimento de avanço do corpo (Colwin, 1992), sendo a principal causa da resistência oferecida por um fluido ao deslocamento de um corpo no seu seio (Streeter e Wylie, 1982).

Quando um fluido real se escoar sobre uma superfície sólida, a velocidade do fluido é nula em relação à superfície e, as camadas de fluido mais próximas dessa superfície, desaceleram, relativamente às outras mais afastadas. (Massey, 2002). Este facto designa-se por condição de não deslocamento ou, condição de aderência do fluido (Fédiaevski *et al.*, 1979). Num escoamento de um fluido viscoso esta condição de não deslocamento tem sempre de ser satisfeita sobre as superfícies sólidas do contorno.

### **2.1.2 Escoamento Laminar, Turbulento e de Transição**

Costill (1992) afirma que o escoamento laminar se caracteriza por um fluxo das moléculas de fluido, sem interrupções.

Em geral, um fluido escoar-se laminarmente quando a sua velocidade média não é muito elevada e a superfície sobre a qual se escoar é lisa (Fédiaevski *et al.*, 1979).

O regime laminar corresponde a escoamentos onde o fluido de diferentes camadas se desloca sem haver misturas dessas mesmas camadas (Novais-Barbosa, 1985).

No entanto, se um fluido apresentar uma velocidade superior a um dado valor crítico, o fluido pode escoar-se de forma irregular, com a formação de esteiras, devido à mistura de camadas de fluido adjacentes com diferentes velocidades (Vilas-Boas, 1997a). Assim, o escoamento deixa de ser laminar e passa a ser considerado turbulento. Segundo Streeter e Wylie (1982), ao contrário do que se verifica num escoamento laminar, no escoamento turbulento as partículas do fluido apresentam um movimento errático, evidenciando grandes trocas transversais de quantidade de movimento.

A passagem de um escoamento laminar para turbulento foi evidenciada pelo engenheiro inglês Osborn Reynolds, sendo o primeiro a publicar sobre este tema, ainda que, Leonardo da Vinci já tivesse anteriormente estudado nesta área (Fédiaevski *et al.*, 1979). Para Reynolds, a transição de regime laminar para turbulento dá-se quando uma dada grandeza adimensional for superior a um dado valor crítico. Essa grandeza designa-se por número de Reynolds ( $Re$ ) que aumenta na razão directa do aumento da velocidade de fluido ( $V$ ), do comprimento da superfície sobre a qual se escoar ( $\ell$ ) e da massa específica do fluido ( $\rho$ ) e diminui com o aumento do coeficiente de viscosidade dinâmica do fluido ( $\mu$ ):

$$Re = V\ell\rho/\mu \quad (e1)$$

No entanto, a passagem de um escoamento laminar para turbulento não se processa de forma abrupta, existindo um intervalo de  $Re$  onde o escoamento se diz de transição (Vilas-Boas, 1997a). Neste intervalo, o escoamento pode-se assumir como laminar ou turbulento, aleatoriamente. Deste modo, pode-se considerar  $Re$  como uma grandeza adimensional indicadora da posição de um escoamento numa escala de turbulência (Streeter e Wylie, 1982).

Ungerechts (1983) analisou modelos de tubarões em situação laboratorial e evidenciou que  $Re$  poderá não descrever convenientemente o regime de escoamento em corpos que mudam continuamente de forma, como é o caso do nadador e contrariamente ao que se passa nos corpos rígidos, que constituem um objecto mais tradicional da mecânica dos fluidos.

### **2.1.3 Camada Limite**

O conceito de Camada Limite foi desenvolvido pelo matemático alemão Ludwig Prandtl, e constitui-se como um dos conceitos fundamentais para o estudo do escoamento de fluidos viscosos.

A maior parte de uma deformação viscosa fica limitada por esta camada limite, que se caracteriza por uma zona relativamente fina, imediatamente adjacente à superfície do corpo que se move num fluido (Colwin, 1992). Esta camada é, na realidade, composta por diversas camadas muito finas que apresentam um gradiente de velocidade; isto significa que, cada camada sucessiva se move a uma velocidade superior à anterior.

Crescendo a partir da superfície sólida para a periferia, em função da viscosidade do fluido, a velocidade de escoamento igualará a velocidade da corrente livre (velocidade de escoamento do fluido quando não perturbado pela presença física do objecto) a uma dada distância  $y$ , perpendicular à superfície do corpo (Vilas-Boas, 1997a).

Segundo Douglas *et al.* (1979), o uso deste conceito de camada limite permite tratar os problemas relativos a um escoamento externo de uma forma relativamente simplificada, uma vez que consiste em dois regimes distintos: (1) o regime adjacente à superfície do corpo, onde a viscosidade é predominante e onde as forças de fricção são produzidas (camada limite) e (2) o regime exterior à camada limite, onde se negligencia a viscosidade, e se faz uso da teoria dos fluidos ideais, considerando que as velocidades de escoamento e as

pressões do fluido são influenciadas pela presença física do objecto e da camada limite que lhe está associada.

## **2.2 Arrasto Hidrodinâmico**

Quando um nadador se desloca na água, o seu corpo sofre uma força frenadora devido à resistência que aquela proporciona (Toussaint *et al.*, 2000). A progressão na água depende da interacção de forças propulsivas e resistivas que actuam no corpo do nadador a uma dada velocidade (Sanders *et al.*, 2001).

Durante o nado, quando os nadadores não estão a criar forças propulsivas de intensidade suficiente, diminuem de velocidade. É frequente observar que, alguns nadadores, parecem “deslizar” através da água, necessitando de menor esforço do que outros. Alguns nadadores parecem nadar bem a baixas velocidades mas, quando tentam aumentar de velocidade, não melhoram tanto como outros. Uma das principais razões para estas diferenças é o aumento da resistência (arrasto hidrodinâmico) criado pelo nadador (Sanders *et al.*, 2001).

O arrasto hidrodinâmico ( $D$ ) caracteriza-se por uma força externa que actua sobre o corpo do nadador, com a mesma direcção mas, com sentido oposto ao seu vector deslocamento, pelo que, quanto menor for a sua intensidade, maior será a velocidade de deslocamento se todas as outras condições se mantiverem constantes (Vilas-Boas, 1997a). 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 (Vilas-Boas *et al.*, 2001a).

A intensidade de  $D$  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).

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

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2 \quad (e2)$$

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 1).

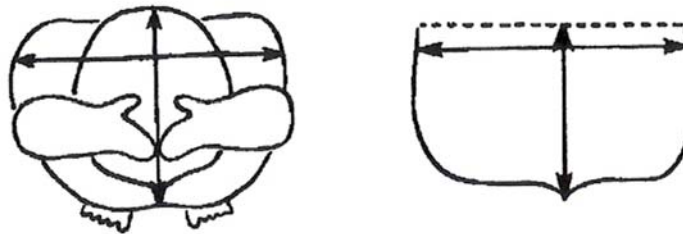


Figura 1: Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transversal em relação à direcção da aplicação de  $D$ , oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979)

A sua má interpretação originará, no caso do nadador, uma série de faltas técnicas decisivas para a sua prestação de nado, como sejam: (1) a acentuada obliquação do corpo em imersão com os membros inferiores (MI) em posição mais profunda que o tronco, pelo que se origina um desalinhamento no plano horizontal - poderá ser consequência de uma manutenção da cabeça em extensão nas técnicas ventrais, ou flexão na técnica de costas; (2) uma entrada com o cruzamento dos membros superiores (MS) na água após a realização da recuperação, assumindo um desalinhamento lateral (Vilas-Boas, 1997).

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 –  $\rho$ , velocidade –  $V$ , secção transversal máxima –  $S$ ), sendo por sua vez função do comprimento do corpo ( $\ell$ ), de ( $\rho$ ), de ( $V$ ), da pressão ( $p$ ), da aceleração da gravidade ( $g$ ), do coeficiente de viscosidade do fluido ( $\mu$ ) da forma e orientação do corpo relativamente às direcções de deslocamento (Fédiaevski *et al.*, 1979).

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

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

#### **2.2.1.1 Arrasto de pressão**

De acordo com Sanders *et al.* (2001), um fluído 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, 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 área de secção transversal do nadador. O arrasto de pressão de um corpo é proporcional ao quadrado da velocidade do fluído, tornando-se cada vez mais importante à medida que a velocidade de nado aumenta. Para minimizar este tipo de arrasto o nadador deverá manter uma

posição corporal o 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. O que pode ser traduzido como nadar o mais alinhado possível.

Kolmogorov e Duplishcheva (1992) 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 pressão decorrentes de alterações súbitas de forma: cintura escapular, região glútea etc.

### **2.2.1.2 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 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).

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 crawl. Qualquer acção que produza uma força não orientada no eixo longitudinal do corpo, na direcção de nado, irá provocar movimentos laterais (rotacionais) 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. Quando os movimentos verticais e laterais são maiores do que o necessário, a performance é limitada por um excessivo arrasto de onda (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 velocidade de nado. Verificaram ainda que, a altura da onda produzida por um nadador, nadando a 1,5 m/s em cada técnica, decresce de crawl 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 velocidade 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 otimizada 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 3). À superfície, o arrasto total aumenta consideravelmente devido ao arrasto de onda.

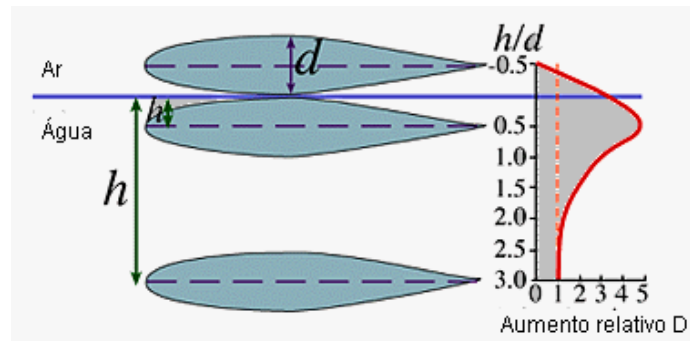


Figura 2. Efeito da profundidade no arrasto total (adaptado de Toussaint, 2002)

### 2.2.1.3 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 velocidade 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 velocidade 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 m/s 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 arrasto 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  $-D = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2$  - à determinação do arrasto 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 arrasto hidrodinâmico 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 arrasto total, a que se sujeita um nadador, torna-se sempre justificável garantir a sua minimização.

## 2.3 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 arrasto (Alley, 1952).

A determinação de  $D$  tornou-se cada vez mais importante em natação, 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 arrasto, 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).

### 2.3.1 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).

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 and 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  $Dp$  foi mais estudado. Em contrapartida  $Dp$  em decúbito dorsal foi menos estudado. Os valores de  $Dp$  em decúbito ventral revelaram-se inferiores aos obtidos em decúbito dorsal (Clarys, 1979).

O arrasto passivo poderá, assim, ser determinado, calculando a força necessária para rebocar um nadador a uma dada velocidade 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 velocidade instantânea, quando o sujeito desacelera passivamente desde a velocidade máxima inicial (Mollendorf *et al.*, 2004). No nosso estudo utilizamos este método para determinação de  $Dp$ .

### 2.3.2 Arrasto Activo

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

De acordo com a literatura, as tentativas de determinação de  $Da$  podem-se classificar em duas categorias: (i) métodos indirectos, onde se destacam as metodologias propostas por Di Prampero *et al.* (1974), Rennie *et al.* (1973, 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 Shleihauf (1984), Hollander *et al.* (1986),

bem como Kolmogorov e Duplischeva (1992) e Ungerechts e Niklas (1994) este último adaptado do método de Di Prampero et al. (1974).

### 2.3.2.1 Métodos Indirectos

O modelo de Di Prampero et al. (1974), teve o mérito de proporcionar o desenvolvimento do primeiro método de avaliação do arrasto 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 consumo energético líquido zero obtém-se a intensidade de  $D$  à velocidade 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.

### 2.3.2.2 Métodos Directos

Schleihauf (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, 1986).

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

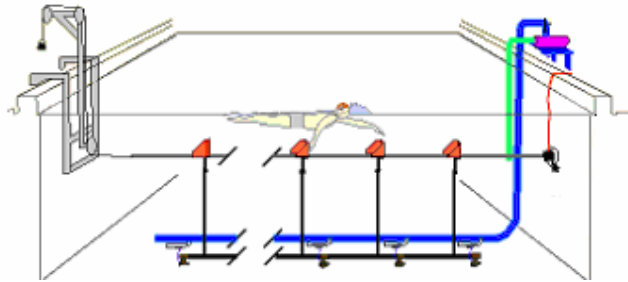


Figura 3. MAD-System (System to measure active drag). Método de determinação do arrasto activo proposto por Hollander *et al.* (1985, 1986).

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

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 arrasto conhecido, sendo comparadas as situações de velocidade máxima 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 arrasto activo, ou seja, variando ao longo da 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 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.

## **2.4 Arrasto activo vs arrasto passivo**

A controvérsia do arrasto passivo e activo 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 consumo de oxigénio, com arrasto adicional exercido sobre o nadador, revelavam que o arrasto activo era cerca de duas ou três vezes superior ao arrasto passivo (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 arrasto. Deste modo, um arrasto activo reduzido ou elevado é maioritariamente determinado por uma correcta ou incorrecta técnica de nado.

Toussaint *et al.* (1988) encontraram, num campeão olímpico, um arrasto activo mais baixo do que num nadador de nível médio, num conjunto de velocidades diferentes.

Kolmogorov e Duplishcheva (1992) caracterizam como paradoxais os resultados obtidos no seu estudo, uma vez que o arrasto activo se mostrou inferior ao arrasto passivo, nas diferentes técnicas de nado, excepto em braços.

Kolmogorov *et al.* (1997) afirmam que, na literatura, se tem vindo a especular que a mulher tem um baixo valor de arrasto activo 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  $Da$  do que a composição corporal.

Todavia, Vilas-Boas *et al.* (2001) obtiveram um  $Da$  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 arrasto passivo, Havriluk (2004) não encontrou, igualmente, diferenças entre géneros relativamente aos valores de coeficiente de arrasto passivo, apesar dos nadadores serem mais volumosos do que as nadadoras.

O mesmo autor refere que os nadadores de elevada performance, apresentam coeficientes de arrasto passivo inferiores comparativamente com nadadores de nível médio e inferior.

Takagi *et al.* (2001), ao compararem os coeficientes de arrasto passivo e activo, na técnica de crawl, 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 Duplishcheva (1992), ao analisarem os coeficientes de arrasto passivo e activo 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.Objectivos e Hipóteses

O objectivo deste estudo consiste em comparar e relacionar  $Dp$  e  $Da$  e respectivos  $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$  nas diferentes técnicas de nado. Os objectivos específicos ou intermédios são:

- comparar o  $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$ , nas diferentes técnicas de nado, entre e intra géneros
- correlacionar o  $C_{Dp}$  com  $C_{Da}$ , nas diferentes técnicas de nado;
- correlacionar os  $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$ , com a performance de nado;
- correlacionar  $Dp$  com  $Da$ , nas diferentes técnicas de nado e, no seu conjunto
- correlacionar  $S$  com  $Dp$  e  $C_{Dp}$

Pretendemos verificar as seguintes hipóteses

- $Da$  e respectivo  $C_{Da}$  diferem de  $Dp$ , e respectivo  $C_{Dp}$ , nas diferentes técnicas de nado e, no seu conjunto
- $C_{Dp}$  difere de  $C_{Da}$ , entre géneros, mas não intra géneros, nas diferentes técnicas de nado;
- $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$  não se correlacionam
- $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$  correlacionam-se de forma negativa com a performance;
- $Dp$  e  $Da$  correlacionam-se de forma positiva
- $S$  correlaciona-se de forma positiva com  $Dp$  e de forma negativa com

$C_{Dp}$

## 4. Metodologia

### 4.1 Caracterização da amostra

A amostra foi constituída por um total de 10 nadadores (4 do género masculino e 6 do género feminino) praticantes de natação pura desportiva pertencentes aos escalões Juvenil, Júnior e Sénior (Quadro 1).

Quadro 1. Principais características da amostra

|              | Nadador      | Idade | Peso (Kg) | Altura (cm) | S ( $cm^2$ ) |
|--------------|--------------|-------|-----------|-------------|--------------|
| ♂            | 1            | 18    | 79        | 194         | 971,13       |
|              | 2            | 14    | 60        | 173         | 719,73       |
|              | 3            | 15    | 52        | 171         | 641,70       |
|              | 4            | 14    | 52        | 177         | 689,17       |
|              | <b>Média</b> | 15,25 | 60,75     | 178,75      | 755,43       |
|              | <b>S.D.</b>  | 1,89  | 12,73     | 10,46       | 147,33       |
| ♀            | 5            | 21    | 61        | 163         | 817,98       |
|              | 6            | 19    | 64        | 170         | 775,91       |
|              | 7            | 14    | 56        | 170         | 723,30       |
|              | 8            | 14    | 60        | 166         | 658,72       |
|              | 9            | 19    | 56        | 160         | 733,14       |
|              | 10           | 14    | 50        | 166         | 590,90       |
|              | <b>Média</b> | 16,83 | 57,83     | 165,83      | 716,65       |
| <b>S.D.</b>  | 3,18         | 4,91  | 3,92      | 81,56       |              |
| <b>Total</b> | <b>Média</b> | 16,20 |           |             |              |
|              | <b>S.D.</b>  | 2,74  |           |             |              |

### 4.2 Instrumentos e procedimentos

A recolha dos dados para o nosso estudo foi realizada em duas etapas: numa primeira etapa procedemos às recolhas referentes à determinação do arrasto passivo e, numa segunda etapa, às recolhas referentes ao arrasto activo.

#### 4.2.1 Determinação do arrasto passivo

O instrumento utilizado no nosso estudo para determinação do arrasto passivo foi o velocímetro (Swimsensor), desenvolvido por Lima *et al.* (2006). Este instrumento consiste numa caixa rectangular, com 27.5cm de largura, 19.5cm de comprimento e 8cm de altura (Figura 4).



Figura 4. Velocímetro (Swimsensor)

No seu interior, encontra-se um carroto para enrolamento do fio, e outro, que tem um diâmetro útil fixo de 25mm, por onde o fio passa ao ser desenrolado. O primeiro está conectado a um motor de freio que garante a insignificância da inércia de todo o sistema e a manutenção do fio em tensão permanente. É também este motor que permite o enrolamento do cabo, após a finalização do nado.

O segundo carroto está ligado a um codificador incremental (ou sensor incremental rotativo), que gera um número de impulsos constante (500 pontos por volta) a cada volta do carroto, ou de desenrolamento do fio. Os impulsos gerados pelo codificador são processados por um microcontrolador, o qual comporta uma unidade de microprocessamento que os traduz em valores de velocidade.

O fio utilizado é uma linha de nylon do tipo fireline, sem elasticidade, fixada ao nadador por meio de um pequeno prendedor à altura da anca (cintura pélvica), que se desenrola à medida que este se desloca.

O microcontrolador do velocímetro comunica com o computador, enviando informação, através de um cabo USB. A informação recebida no computador é processada num programa que foi desenvolvido por Lima et al. (2006), em *Labview*.

O software verifica os valores de velocidade calculados pelo microcontrolador a cada 20 m/s, realizando o respectivo traçado da relação  $v(t)$ (m/s). Além da curva  $v(t)$ , o software estima ainda os valores máximo, médio (e respectivo desvio padrão) e mínimo da velocidade, a distância percorrida e o tempo de duração do ensaio.

Na sequência de cada ensaio são produzidos três ficheiros de *output*. É gerado um ficheiro *Word* com um relatório tabular contendo os dados do nadador e do ensaio, os valores estimados da velocidade, tempo do ensaio e distância percorrida, bem como o gráfico típico da variação  $v(t)$  (registo da velocidade instantânea) com a curva da velocidade média acoplada. Simultaneamente, os dados são exportados para um ficheiro em formato CSV (*Excel*), ficheiro a partir do qual se podem aceder a todas as coordenadas do gráfico  $v(t)$ . É ainda produzido um ficheiro de imagem, em formato *jpeg*, contendo apenas o gráfico isolado da variação  $v(t)$  e respectiva curva média.

#### **4.2.1.1 Situação teste**

Cada nadador realizou um deslize precedido de impulso na parede, em decúbito ventral, na posição hidrodinâmica. O nadador mantinha esta posição até alcançar a velocidade zero.

O tratamento dos dados foi realizado utilizando o ficheiro em formato CSV (*Excel*).

Primeiramente procedemos à filtragem da curva  $v(t)$  utilizando uma média móvel de 20 pontos (Figura 5).

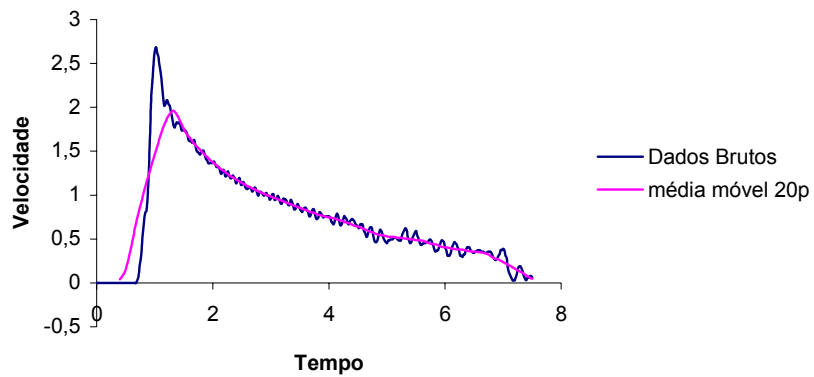


Figura 5. Curva  $v(t)$  com os dados em bruto e filtrada utilizando uma média móvel de 20 pontos.

De seguida calculamos a aceleração a partir da velocidade filtrada através da equação:  $a = \Delta V / \Delta T$ . Após obtermos a aceleração, procedemos a uma nova filtragem desta distribuição utilizando uma média móvel de 30 pontos (Figura 6).

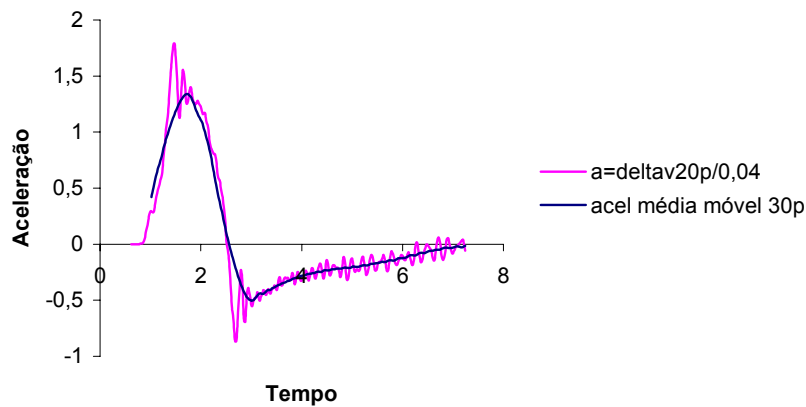


Figura 6. Curva de aceleração da velocidade filtrada e aceleração filtrada utilizando uma média móvel de 30 pontos.

A força de arrasto passivo foi calculada utilizando a expressão:  $F = m \times a$ , onde ( $m$ ) representa a massa do nadador e ( $a$ ) a aceleração filtrada de média móvel 30 pontos (Figura 7).

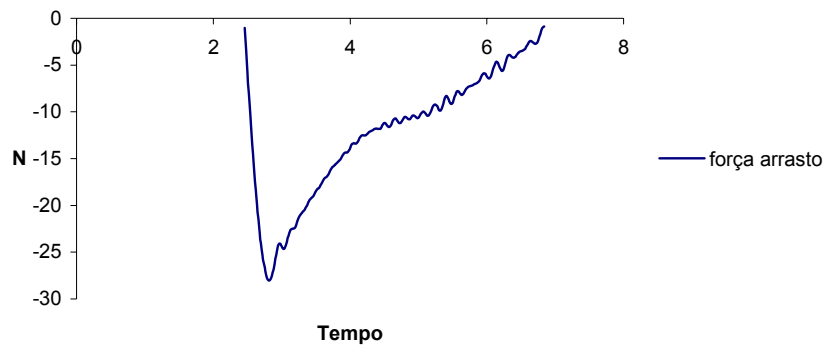


Figura 7. Curva da força de arrasto hidrodinâmico em função do tempo:  $f(t)$

A área de secção transversal ( $S$ ) foi determinada por planimetria, utilizando fotografias com escala, tal como descreveu Clarys (1979).

Em pé, os nadadores adoptavam uma posição o mais hidrodinâmica possível com o corpo em total extensão, MI juntos e em extensão, com a cabeça entre os MS e olhar dirigido para a frente. Os MS deveriam estar juntos e em extensão procurando colocar uma mão sobre a outra. Após os nadadores adoptarem esta posição eram fotografados de um plano superior, a cerca de 3m do solo.

Em cada fotografia foi colocada uma régua, graduada em centímetros, à altura da cabeça do nadador, para posterior calibração, das dimensões da imagem. Utilizando uma rotina desenvolvida no programa Matlab versão 7.0 delimitamos o perímetro da área a calcular em cada fotografia e, através da decomposição desta num sistema de triângulos, calculamos a respectiva área (Figura 8).

Depois de conhecido  $S$ , o valor do coeficiente de arrasto passivo foi calculado utilizando a equação:  $C_D = 2D / \rho S V^2$

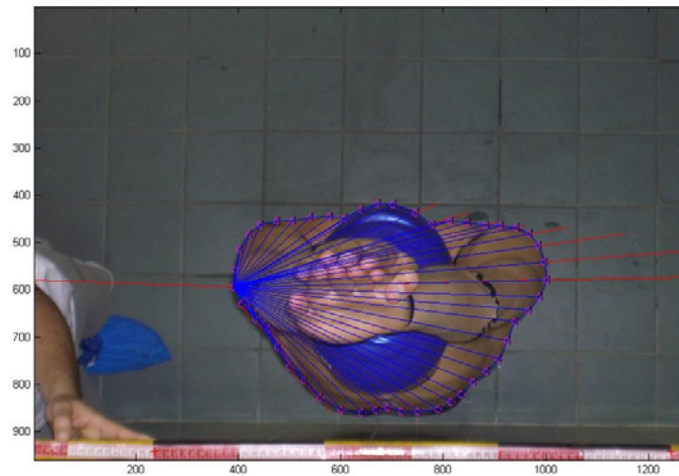


Figura 8. Cálculo da área de secção transversal através da decomposição da área da imagem num sistema de triângulos.

#### 4.2.2 Método de determinação do arrasto activo

Para determinação do arrasto activo foi utilizado o método anteriormente descrito por Kolmogorov e Duplishcheva (1992), que se baseia no princípio da conservação da potência mecânica propulsiva máxima ( $P$ ) do nadador.

O arrasto foi determinado através da acoplagem ao nadador de um corpo hidrodinâmico adicional, de arrasto conhecido (Figura 9) (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992).

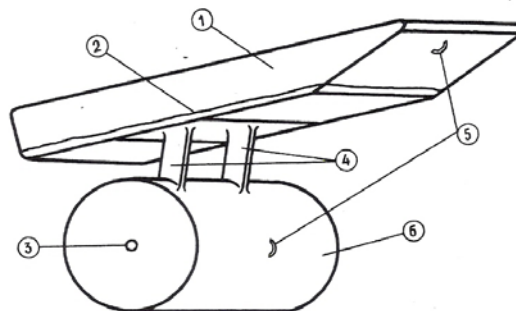


Figura 9. Representação esquemática do corpo hidrodinâmico utilizado no nosso estudo (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992). 1 – porção flutuante; 2 – linha de água; 3 – orifício de enchimento; 4 – suportes do cilindro; 5 – locais de ancoragem do cabo; 6 – cilindro hidrodinâmico.

O nosso trabalho consistiu na avaliação de duas situações de nado distintas, em cada técnica, sempre à máxima velocidade de deslocamento: nado livre ( $P_1$ ) e nado rebocando o dispositivo de arrasto adicional conhecido ( $P_2$ ).

$$P_1 = P_2 \quad (\text{e3})$$

Assumindo a velocidade de nado como constante,  $P_1$  pode ser descrita como:

$$P_1 = D_1 * V_1 \quad (\text{e4})$$

e  $P_2$  como:

$$P_2 = D_2 * V_2 \quad (\text{e5})$$

Onde  $D_1$  corresponde ao arrasto activo na situação 1 e  $D_2$  corresponde ao arrasto activo total na situação 2; ou seja,  $D_1$  adicionado ao arrasto conhecido do corpo hidrodinâmico.

Utilizando as equações newtonianas que descrevem  $D_1$  e  $D_2$  obtemos:

$$D_1 = 1/2\rho C_D S V_1^2 \quad (\text{e6})$$

e

$$D_2 = 1/2\rho C_D S V_2^2 + D_{ch} \quad (\text{e7})$$

Combinando as expressões (e5) a (e7), obtém-se uma nova descrição da igualdade:

$$1/2\rho C_D S V_1^3 = 1/2\rho C_D S V_2^3 + D_{ch} V_2 \quad (\text{e8})$$

Desenvolvendo em ordem ao coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) obtém-se:

$$C_D = (D_{ch} * V_2) / [1/2\rho * S * (V_1^3 - V_2^3)] \quad (e9)$$

Substituindo  $C_D$  na expressão (e6) vem:

$$D_1 = (D_{ch} * V_2 * V_1^2) / (V_1^3 - V_2^3) \quad (e10)$$

Equação que nos proporciona a medida de arrasto activo ( $D$ ) na situação 1: natação livre à máxima velocidade.

Para além do cálculo de ( $D$ ), o raciocínio desenvolvido anteriormente, permite ainda calcular a potência mecânica propulsiva máxima, bem como determinar ( $C_D$ ) uma vez conhecida a secção transversal máxima ( $S$ ).  $S$  foi estimado de acordo com Kolmogorov e Duplishcheva (1992), através da potência 2/3 do volume corporal, por sua vez inferido do peso e altura do nadador.

Dos resultados destacam-se os valores de ( $D$ ) e ( $P$ ), determinados com um erro potencial na ordem dos 6 a 8% (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992).

#### 4.2.2.1 Situação de Teste

Cada nadador realizou oito percursos de 50m (dois percursos na técnica de crawl, dois na técnica de costas, dois na técnica de mariposa e dois na técnica de bruços) com partida dentro de água. Os oito percursos foram distribuídos por dois dias: no primeiro dia cada nadador realizou os quatro percursos correspondentes às técnicas alternadas crawl e costas e, no segundo dia, os outros quatro percursos correspondentes às técnicas simultâneas mariposa e bruços.

Esta situação foi cumprida numa piscina de 50m coberta e aquecida (temperatura da água de 27° C) num plano de água estacionário. Cada nadador devia acelerar gradualmente até aos 14 metros, altura na qual deveria estar animado da sua velocidade máxima, a qual deveria manter até à parede testa oposta. Cada repetição foi precedida de um descanso passivo nunca

inferior a 20 minutos. Em cada percurso foram cronometrados 30m de nado puro, sem qualquer influência do impulso da parede, bem como da chegada. A velocidade média máxima alcançada por cada nadador, nestes 30m, foi adoptada como critério de performance. A marcação destas distâncias procedeu-se através de referências externas, tendo o seu início aos 15m e o seu término aos 45m (Figura 10)

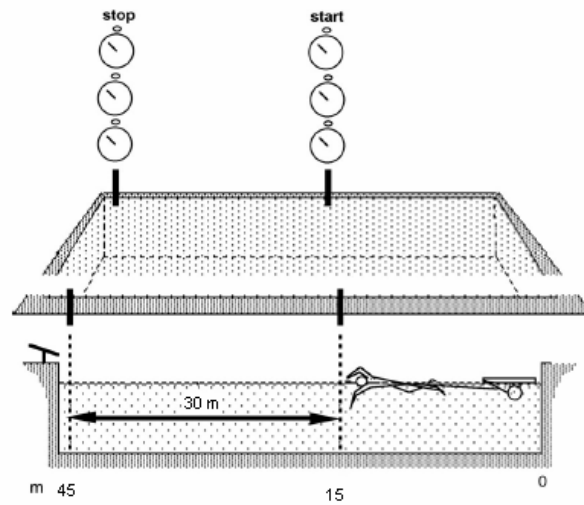


Figura 10. Representação esquemática da situação de teste utilizada para a avaliação do arrasto activo (adaptado de Vilas-Boas *et al.*, 2001)

As cronometragens foram realizadas através de cronómetros digitais com aproximação às centésimas de segundo. O erro associado à cronometragem manual descrita está estimado em 0,8% (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992).

Para cada técnica de nado, a primeira repetição implicava uma situação de nado livre. Na segunda repetição, cada nadador rebocava o corpo de propriedades hidrodinâmicas conhecidas, ligado à cintura do nadador por um cabo de reduzida elasticidade. A ligação foi efectuada através do recurso de um cinto convencional. O corpo seguia distanciado cerca de 10 metros do nadador, minimizando os efeitos de esteira provocados por este.

### 4.2.3. Tratamento estatístico

Para efectuarmos o tratamento estatístico recorreremos aos programas SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), versão 14.0 para Windows e Microsoft EXCEL versão XP, para Windows

Para todas as variáveis, testámos a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S), onde verificámos que a distribuição não foi normal em nenhuma das variáveis em análise. Verificámos ainda o comportamento das variáveis, identificando a sua distribuição com e sem outliers.

Em termos de estatística descritiva foram calculadas os mínimos, máximos, médias e respectivos desvios padrão, das variáveis relevantes para o estudo.

Ao nível da estatística inferencial, visto que a amostra é reduzida, comparamos as médias provenientes de dois grupos independentes (masculino com feminino) através da aplicação do teste de Mann-Whitney, que se constitui como a alternativa não paramétrica, mais comum, aos testes t para amostras independentes. Para comparamos a diferença de médias entre duas condições, no mesmo grupo de sujeitos, optámos pela aplicação do teste Wilcoxon que surge como alternativa não paramétrica ao teste t para medidas emparelhadas.

As diferenças entre os valores, em ambos os testes, foram consideradas significativas para um  $p \leq 0,05$ .

Foram ainda calculados os coeficientes de correlação de Spearman (alternativa não paramétrica) entre  $C_{da}$  e  $C_{Dp}$  e respectiva velocidade média máxima, alcançada em cada técnica de nado; entre a velocidade média e  $C_{da}$  médio e  $C_{Dp}$ ; entre  $C_{da}$  da totalidade da amostra e velocidade; entre  $Da$  de cada técnica e  $Dp$  e, finalmente, entre  $S$  e  $Dp$  e  $C_{Dp}$ .

O nível de significância foi estabelecido em  $p \leq 0,05$

## 5. Apresentação dos resultados

Primeiro apresentamos os resultados obtidos através da estatística descritiva, nomeadamente médias, desvios padrão, valores máximos e mínimos de todas as variáveis do nosso estudo.

No que concerne aos coeficientes de arrasto hidrodinâmico ( $C_D$ ), os seus valores são apresentados quer para a sua componente activa, quer para a passiva. Os coeficientes de arrasto hidrodinâmico activo ( $C_{Da}$ ) são apresentados nas quatro técnicas de nado, subdivididos em técnicas alternadas (crol e costas) e simultâneas (mariposa e bruços) e ainda de uma forma total, ou seja, englobando simultaneamente as quatro técnicas de nado.

Assim, no que concerne ao  $C_D$  masculino, os seus valores estão expostos no Quadro 2. Neste grupo, parece-nos importante referir a maior variabilidade dos resultados, encontrada ao nível de  $C_{Da}$ , (mais marcada nas técnicas de costas e bruços) em oposição à baixa variabilidade que se faz sentir ao nível de  $C_{Dp}$ . Este facto é corroborado pela comparação dos valores máximos e mínimos, e respectivos desvios padrão (conf. Quadro 2)

Quadro 2. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média e desvio padrão (SD) dos coeficientes de arrasto hidrodinâmico passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) obtidos para o sexo masculino nas diferentes técnicas de nado.

|       | $C_{Da}$ |        |          |        |         |          |       | $C_{Dp}$ |
|-------|----------|--------|----------|--------|---------|----------|-------|----------|
|       | Crol     | Costas | Mariposa | Bruços | Crol/Ct | Marip/Br | Total |          |
| Min   | 0,30     | 0,39   | 0,20     | 0,55   | 0,30    | 0,20     | 0,20  | 0,40     |
| Max   | 0,43     | 0,66   | 0,36     | 0,89   | 0,66    | 0,89     | 0,89  | 0,45     |
| Média | 0,356    | 0,478  | 0,315    | 0,697  | 0,417   | 0,506    | 0,461 | 0,429    |
| SD    | 0,053    | 0,122  | 0,07     | 0,142  | 0,108   | 0,230    | 0,180 | 0,02     |

No Quadro 3 apresentamos os valores referentes aos coeficientes de arrasto hidrodinâmico obtidos para o sexo feminino.

Importa aqui referir que, em geral, a variabilidade do  $C_{Da}$  neste grupo é menor comparativamente à observada no género masculino.

Porém, a variabilidade de  $C_{Dp}$  manifestou-se superior comparativamente ao mesmo grupo.

Quadro 3. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média e desvio padrão (SD) dos coeficientes de arrasto hidrodinâmico passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) obtidos para o sexo feminino nas diferentes técnicas de nado.

|       | $C_{Da}$ |        |          |        |         |          |       | $C_{Dp}$ |
|-------|----------|--------|----------|--------|---------|----------|-------|----------|
|       | Crol     | Costas | Mariposa | Bruços | Crol/Ct | Marip/Br | Total |          |
| Min   | 0,17     | 0,25   | 0,22     | 0,50   | 0,17    | 0,22     | 0,17  | 0,31     |
| Max   | 0,32     | 0,39   | 0,41     | 0,89   | 0,39    | 0,89     | 0,89  | 0,56     |
| Média | 0,254    | 0,305  | 0,328    | 0,739  | 0,280   | 0,533    | 0,407 | 0,402    |
| SD    | 0,06     | 0,04   | 0,06     | 0,13   | 0,060   | 0,238    | 0,213 | 0,089    |

Por último apresentamos os resultados referentes aos valores de  $C_D$  total da amostra, isto é, isentos da subdivisão por géneros.

Quadro 4. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média e desvio padrão (SD) dos coeficientes de arrasto hidrodinâmico total amostral passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) nas diferentes técnicas de nado.

|       | $C_{Da}$ |        |          |        |         |          |       | $C_{Dp}$ |
|-------|----------|--------|----------|--------|---------|----------|-------|----------|
|       | Crol     | Costas | Mariposa | Bruços | Crol/Ct | Marip/Br | Total |          |
| Min   | 0,17     | 0,25   | 0,20     | 0,50   | 0,17    | 0,20     | 0,17  | 0,31     |
| Max   | 0,43     | 0,66   | 0,41     | 0,89   | 0,66    | 0,89     | 0,89  | 0,56     |
| Média | 0,295    | 0,374  | 0,323    | 0,722  | 0,335   | 0,522    | 0,429 | 0,413    |
| SD    | 0,078    | 0,118  | 0,069    | 0,133  | 0,105   | 0,229    | 0,200 | 0,070    |

Para compararmos os valores de  $Da$  com  $Dp$ , determinamos o valor destes através da respectiva velocidade máxima alcançada em cada técnica de nado, para cada nadador (Quadro 5).

Quadro 5. Valores máximo (Max) e mínimo (Min), média (Méd) e desvio padrão (SD) do arrasto activo ( $Da$ ), passivo ( $Dp$ ), totais e da velocidade ( $V$ ) máxima alcançada em 30m de nado puro, para cada técnica de nado.

| Crol          |       |       |       |       | Costas        |       |        |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------|-------|-------|
|               | Méd   | SD    | Min   | Max   |               | Méd   | SD     | Min   | Max   |
| <b>Da(N)</b>  | 53,23 | 14,01 | 31,33 | 71,40 | <b>Da(N)</b>  | 44,18 | ±11,49 | 31,16 | 58,14 |
| <b>V(m/s)</b> | 1,60  | 0,08  | 1,49  | 1,73  | <b>V(m/s)</b> | 1,31  | 0,10   | 1,20  | 1,47  |
| <b>Dp(N)</b>  | 35,99 | 6,37  | 24,43 | 45,20 | <b>Dp(N)</b>  | 25,73 | 5,81   | 18,76 | 33,95 |
| Mariposa      |       |       |       |       | Bruços        |       |        |       |       |
|               | Méd   | SD    | Min   | Max   |               | Méd   | SD     | Min   | Max   |
| <b>Da(N)</b>  | 46,95 | 11,33 | 22,49 | 57,34 | <b>Da(N)</b>  | 61,39 | 10,80  | 45,76 | 77,38 |
| <b>V(m/s)</b> | 1,40  | 0,05  | 1,34  | 1,49  | <b>V(m/s)</b> | 1,09  | 0,10   | 0,97  | 1,34  |
| <b>Dp(N)</b>  | 28,64 | 4,18  | 22,49 | 33,95 | <b>Dp(N)</b>  | 17,95 | 4,37   | 13,48 | 27,88 |
| Total         |       |       |       |       |               |       |        |       |       |
| <b>Da</b>     | 51,44 | 13,27 | 26,96 | 77,38 | <b>Dp</b>     | 27,08 | 8,26   | 13,48 | 45,20 |

Verifica-se que a técnica de crol é aquela que apresenta uma velocidade mais elevada, seguida da técnica de mariposa, costas e, por fim, bruços.

Através da análise inferencial procedemos à comparação das médias das diferentes variáveis em estudo.

O Quadro 6 evidencia a existência de diferenças estatisticamente significativas no  $C_{da}$  entre o género masculino e feminino e entre  $C_{da}$  e  $C_{Dp}$  para cada subgrupo e para cada técnica de nado.

Quadro 6. Valor de prova do teste Mann-Whitney para as diferenças intersexuais de  $C_{Da}$  e valor de prova do teste de Wilcoxon para as diferenças intrasexuais de  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$ , em cada técnica de nado.

| Crol     |        |       |       |       |        |       |
|----------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
|          | Cda M  | Cda F | Cda M | Cdp M | Cda F  | Cdp F |
| p        | 0,038* |       | 0,144 |       | 0,028* |       |
| Costas   |        |       |       |       |        |       |
|          | Cda M  | Cda F | Cda M | Cdp M | Cda F  | Cdp F |
| p        | 0,019* |       | 0,715 |       | 0,046* |       |
| Mariposa |        |       |       |       |        |       |
|          | Cda M  | Cda F | Cda M | Cdp M | Cda F  | Cdp F |
| p        | 0,114  |       | 0,068 |       | 0,173  |       |
| Bruços   |        |       |       |       |        |       |
|          | Cda M  | Cda F | Cda M | Cdp M | Cda F  | Cdp F |
| p        | 0,610  |       | 0,068 |       | 0,028* |       |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Em comparação com o género feminino, o  $C_{Da}$  masculino revelou-se significativamente superior nas técnicas de crol e costas. O género feminino apresenta um  $C_{Da}$  significativamente inferior comparativamente a  $C_{Dp}$  nas técnicas de crol e costas. No entanto, na técnica de bruços verifica-se o inverso de forma estatisticamente significativa (Figura 11).

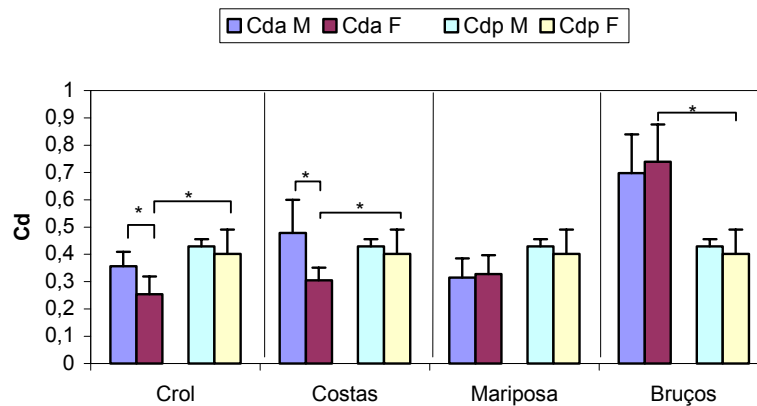


Figura 11. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão do  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  em cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças intersexuais de médias de  $C_{Da}$  e intrasexuais de  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$  ( $*=p \leq 0,05$ )

O Quadro 7 mostra que, a um nível geral, quando comparamos  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$ , estes se distinguem de forma estatisticamente significativa, em todas as técnicas de nado, excluindo costas.

Quadro 7. Valor de prova do teste de Wilcoxon de  $C_{Da}$  total com  $C_{Dp}$  total para as diferentes técnicas de nado.

|   | Crol   |       | Costas |       | Mariposa |       | Braços |       |
|---|--------|-------|--------|-------|----------|-------|--------|-------|
|   | Cda T  | Cdp T | Cda T  | Cdp T | Cda T    | Cdp T | Cda T  | Cdp T |
| p | 0,007* |       | 0,203  |       | 0,037*   |       | 0,005* |       |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Tal como a Figura 12 traduz, apenas na técnica de braços se verifica um  $C_{Da}$  superior a  $C_{Dp}$ . Nas restantes técnicas,  $C_{Da}$  é inferior a  $C_{Dp}$ , sendo essa diferença significativa em crol e mariposa.

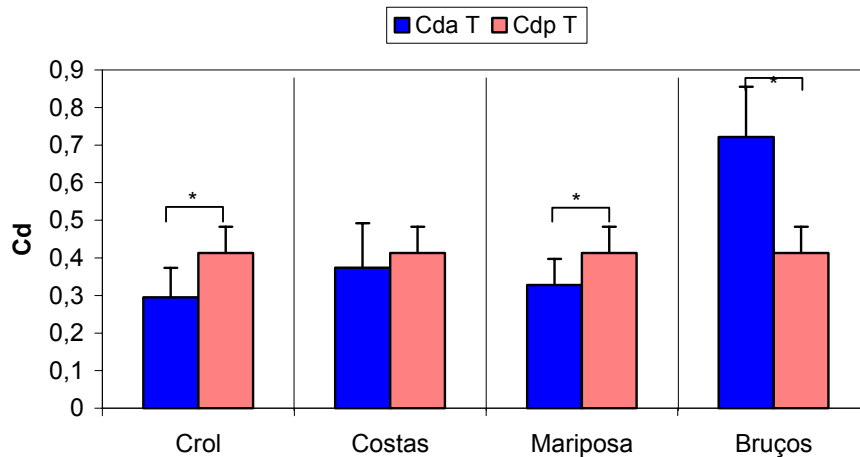


Figura 12. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  totais, entre cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias (\*= $p \leq 0,05$ ).

Quando comparamos as médias dos valores dos coeficientes de arrasto subdivididas por técnicas alternadas e simultâneas, verificamos que, apenas se apresentam diferenças estatisticamente significativas, num conjunto de variáveis nas técnicas alternadas. (Quadro 8)

Quadro 8. Valor de prova do teste de Mann-Whitney para as diferenças intersexuais de  $C_{Da}$  e valor de prova do teste Wilcoxon para as diferenças intrasexuais de  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$  total com  $C_{Dp}$  total nas técnicas alternadas (crol e costas) e simultâneas (bruços e mariposa).

| Crol e Costas |        |       |       |       |        |       |        |       |
|---------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
|               | Cda M  | Cda F | Cda M | Cdp M | Cda F  | Cdp F | Cda T  | Cdp T |
| p             | 0,002* |       | 0,144 |       | 0,028* |       | 0,007* |       |

| Mariposa e Bruços |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | Cda M | Cda F | Cda M | Cdp M | Cda F | Cdp F | Cda T | Cdp T |
| p                 | 0,758 |       | 0,068 |       | 0,073 |       | 0,445 |       |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Em conformidade com o verificado anteriormente, de forma detalhada para cada técnica, o  $C_{Da}$  das técnicas alternadas revela-se superior no género masculino comparativamente com o feminino.

O  $C_{Dp}$  feminino é significativamente superior ao respectivo  $C_{Da}$ , nas técnicas alternadas mas, nas técnicas simultâneas, tal não se verifica.

Assim, o  $C_{Da}$  conjunto total de crol e costas é inferior ao  $C_{Dp}$  total, de forma estatisticamente significativa (Figura 13).

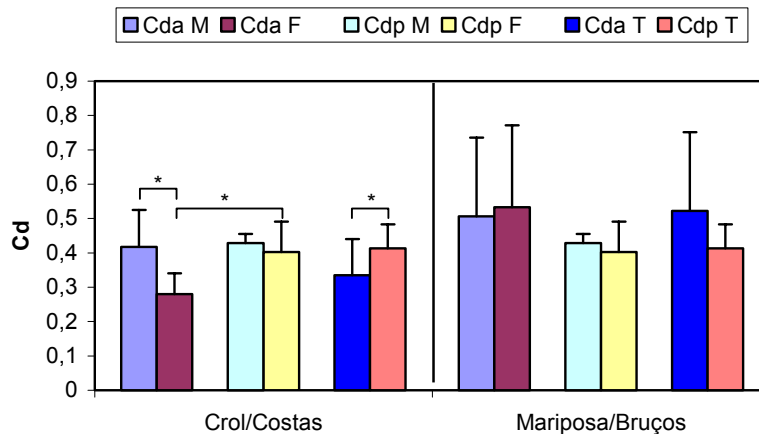


Figura 13. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  no conjunto de técnicas alternadas (crol e costas) e simultâneas (mariposa e bruços) É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias entre  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  totais, intersexuais de  $C_{Da}$  e intrasexuais de  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$  (\*= $p \leq 0,05$ ).

Comparando os valores médios de  $C_{Da}$  em cada técnica, de uma forma geral e subdivididos por géneros, verificámos que aqueles apresentam diferenças entre eles que, generalizadamente, se manifestam mais entre bruços e as restantes técnicas.

Tal como se verifica no Quadro 9, a técnica de bruços apresenta valores diferentes, e estatisticamente significativos, comparativamente às restantes técnicas, a um nível geral e, discriminadamente, no género feminino.

Quadro 9. Valor de prova do teste Wilcoxon das diferenças intrasexuais de  $C_{Da}$  e de  $C_{Da}$  total nas quatro técnicas de nado.

| <b>Masculino</b> |       |    |       |    |        |    |       |    |        |    |        |    |
|------------------|-------|----|-------|----|--------|----|-------|----|--------|----|--------|----|
|                  | Cr    | Ct | Cr    | Mp | Cr     | Br | Ct    | Mp | Ct     | Br | Mp     | Br |
| p                | 0,070 |    | 0,285 |    | 0,068  |    | 0,079 |    | 0,068  |    | 0,068  |    |
| <b>Feminino</b>  |       |    |       |    |        |    |       |    |        |    |        |    |
|                  | Cr    | Ct | Cr    | Mp | Cr     | Br | Ct    | Mp | Ct     | Br | Mp     | Br |
| p                | 0,116 |    | 0,293 |    | 0,028* |    | 0,600 |    | 0,028* |    | 0,028* |    |
| <b>Total</b>     |       |    |       |    |        |    |       |    |        |    |        |    |
|                  | Cr    | Ct | Cr    | Mp | Cr     | Br | Ct    | Mp | Ct     | Br | Mp     | Br |
| p                | 0,130 |    | 0,635 |    | 0,005* |    | 0,333 |    | 0,005* |    | 0,005* |    |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

No género masculino, ainda que não se verifiquem diferenças significativas, os valores médios do  $C_{Da}$  das diferentes técnicas poderão ser ordenados de forma crescente do seguinte modo:  $C_{Da}$  mariposa,  $C_{Da}$  crol,  $C_{Da}$  costas e, por fim  $C_{Da}$  de bruços.

No género feminino os valores de  $C_{Da}$  das técnicas alternadas são inferiores aos das técnicas simultâneas. Assim, ordenando de forma crescente obtemos:  $C_{Da}$  crol,  $C_{Da}$  costas,  $C_{Da}$  mariposa e  $C_{Da}$  bruços.

Sem fazer a distinção por géneros acabamos por encontrar um outro ordenamento crescente dos valores médios de cada técnica:  $C_{Da}$  crol,  $C_{Da}$  mariposa,  $C_{Da}$  costas e, finalmente,  $C_{Da}$  bruços.

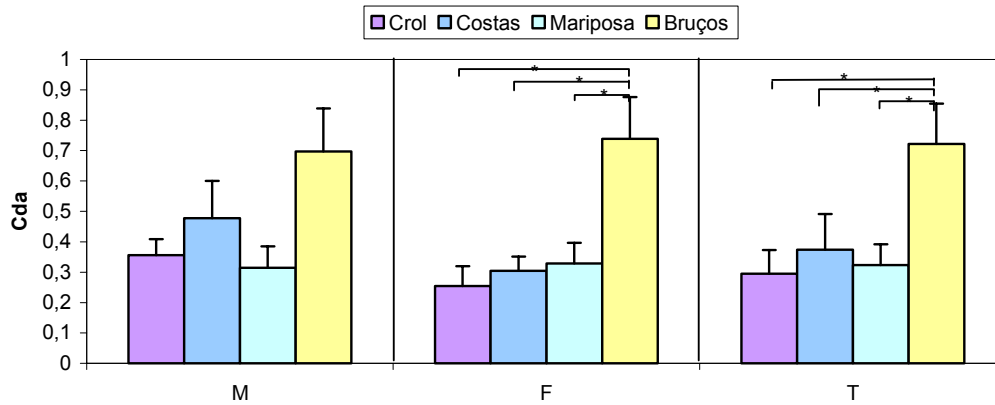


Figura 14. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de  $C_{Da}$  entre técnicas de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias de  $C_{Da}$  intrasexuais e totais (\*= $p \leq 0,05$ ).

Comparando o conjunto do  $C_{Da}$  de todas as técnicas com o  $C_{Dp}$  no género masculino, feminino e total, verificámos que não existem diferenças estatisticamente significativas para nenhum dos casos. O mesmo acontece quando comparamos  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$ , entre géneros (Quadro 10).

Quadro 10. Valor de prova do teste Mann-Whitney das diferenças intersexuais de  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  totais e valor de prova do teste Wilcoxon para as diferenças intrasexuais de  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$  e totais de  $C_{Da}$  com  $C_{Dp}$ .

| Total |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
|       | CdaMT | CdaFT | CdaMT | CdpMT | CdaFT | CdpFT | CdaT  | CdpT | CdpM  | CdpF |
| p     | 0,087 |       | 0,144 |       | 0,320 |       | 0,799 |      | 0,394 |      |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Na Figura 15 podemos verificar que, apesar de não serem diferenças significativas, o  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  médio para os sujeitos masculinos se revelaram ligeiramente superiores, comparativamente aos femininos.

A média dos valores de  $C_{Da}$  masculino, feminino e total é superior à respectiva média dos valores de  $C_{Dp}$ , para qualquer um dos casos.

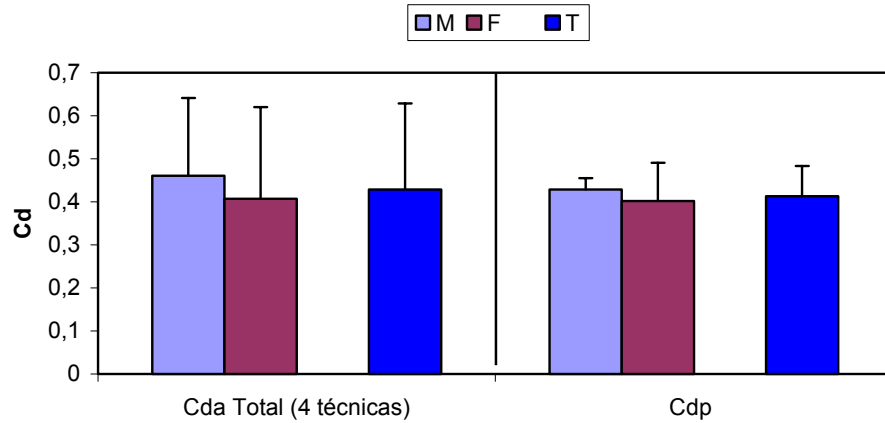


Figura 15. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de  $C_{Da}$  total das 4 técnicas e  $C_{Dp}$ .

Nos valores referentes à força de arrasto hidrodinâmico detectamos a presença de um outlier, uma vez que este apresentava velocidades muito superiores aos restantes elementos da amostra, repercutindo-se, deste modo, em elevados valores de  $D$ . Assim, optámos pela sua exclusão para análise estatística dos dados referentes a  $Da$  e  $Dp$

No Quadro 11 verifica-se que  $Da$  é significativamente superior relativamente a  $Dp$  para todas as técnicas de nado, bem como para as técnicas no seu conjunto.

Quadro 11. Valor de prova do teste Wilcoxon da diferença de  $Da$  de cada técnica de nado com respectivo  $Dp$ .

|   | $Da$ Cr | $Dp$ Cr | $Da$ Ct | $Dp$ Ct | $Da$ Mp | $Dp$ Mp | $Da$ Br | $Dp$ Br | $Da$ T | $Dp$ T |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| p |         | 0,015*  |         | 0,009*  |         | 0,011*  |         | 0,008*  |        | 0,000* |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

A técnica de braços é aquela onde se verifica uma maior diferença entre  $Da$  e  $Dp$ . Em contrapartida, é na técnica de crol que essa diferença é menos acentuada.

$Da$  de crol é 1,5 vezes superior a  $Dp$ , o  $Da$  de costas e mariposa é aproximadamente 2 vezes superior a  $Dp$  e, o  $Da$  de braços é 3,5 vezes superior a  $Dp$ .

Deste modo, podemos afirmar que, em média,  $Da$  é duas vezes superior a  $Dp$ .

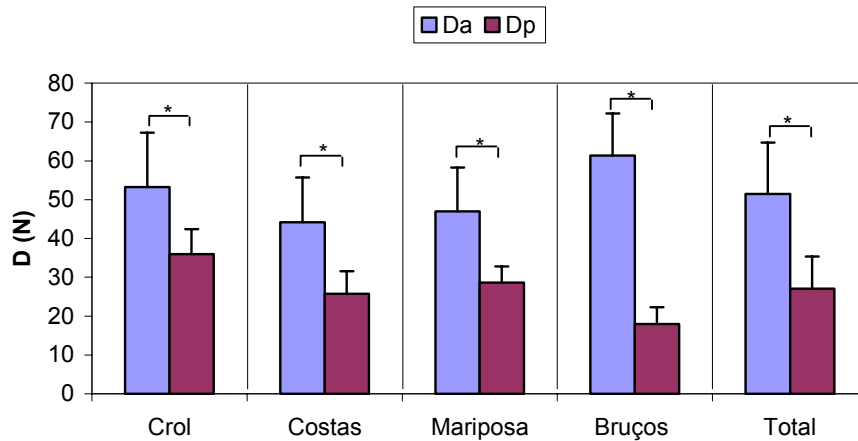


Figura 16. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de  $Da$  e  $Dp$  em cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias entre  $Da$  e  $Dp$  em cada técnica (\*= $p \leq 0,05$ )

No que concerne à apresentação das correlações entre as diferentes variáveis, importa referir que estas foram efectuadas sem a presença do outlier, pela razão acima referida, uma vez que englobam  $D$  e velocidade máxima.

Como já foi referido anteriormente, a performance de nado foi assumida como sendo traduzida pela média da velocidade de nado, calculada para cada nadador, em 30 metros de nado puro para cada técnica executada à máxima velocidade.

No Quadro 12 observamos que, em nenhuma das técnicas, o  $C_{Da}$  se correlaciona com a respectiva velocidade máxima alcançada. O mesmo se

verifica na correlação de  $C_{Da}$  médio (resultado da média dos quatro  $C_{da}$  das respectivas técnicas, em cada nadador) com a velocidade média (resultado da média das quatro velocidades das respectivas técnicas, em cada nadador).

Quadro 12. Correlações entre os coeficientes de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e activo ( $C_{Da}$ ) nas diferentes técnicas de nado com a respectiva velocidade média máxima alcançada em cada técnica.

|             | Cda Cr | Cda Ct | Cda Mp | Cda Br | Cda.Med | Cda T  |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|             | X      | X      | X      | X      | X       | X      |
|             | V Cr   | V Ct   | V Mp   | V Br   | V Méd   | V T    |
| R.spearman. | 0,527  | 0,583  | -0,17  | -0,583 | 0,192   | -0,600 |
| p           | 0,145  | 0,099  | 0,966  | 0,099  | 0,620   | 0,000* |
|             | Cdp    | Cdp    | Cdp    | Cdp    | Cdp     |        |
|             | X      | X      | X      | X      | X       |        |
|             | V Cr   | V Ct   | V Mp   | V Br   | V Méd   |        |
| R spearman  | 0,611  | 0,817  | 0,471  | 0,426  | 0,619   |        |
| p           | 0,081  | 0,007* | 0,201  | 0,252  | 0,075   |        |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Observa-se, no entanto, que o  $C_{Da}$  total da amostra se correlaciona de forma negativa e estatisticamente significativa com a velocidade de nado, apresentando uma relação moderada (Figura 17).

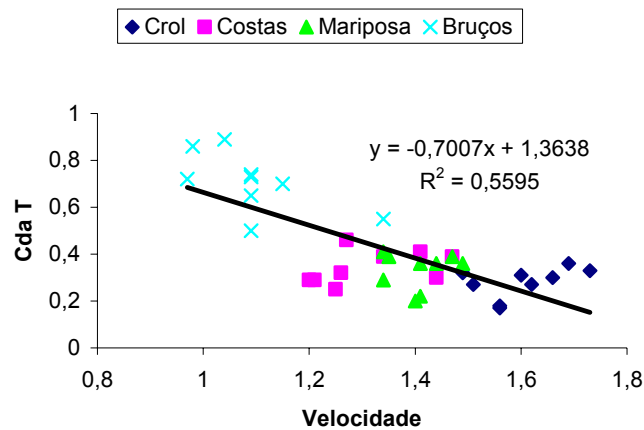


Figura 17. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto activo ( $C_{Da}$ ) total e a velocidade.

Relativamente ao  $C_{Dp}$  podemos verificar que este apenas se correlaciona de forma positiva e estatisticamente significativa com a velocidade alcançada na técnica de costas. A relação destas duas variáveis apresenta-se como uma relação forte (figura 18)

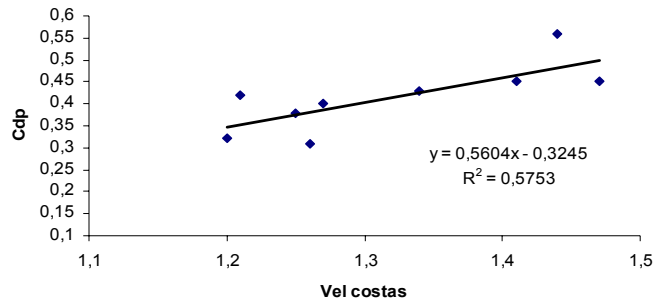


Figura 18. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e velocidade de costas.

No que concerne às correlações do  $C_{Da}$  com o  $C_{Dp}$ , o Quadro 13 mostra-nos que este apenas se correlaciona de forma significativa com  $C_{Da}$ , na técnica de crol (Figura 19).

Quadro 13. Correlações entre os coeficientes de arrasto activo ( $C_{Da}$ ) das diferentes técnicas de nado com o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ).

|             | Cda Cr | Cda Ct | Cda Mp | Cda Br | Cda.Méd |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|
|             | X      | X      | X      | X      | X       |
|             | Cdp    | Cdp    | Cdp    | Cdp    | Cdp     |
| R.spearman. | 0,767  | 0,333  | -0,300 | 0,083  | 0,400   |
| p           | 0,016* | 0,381  | 0,433  | 0,831  | 0,286   |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Nas restantes técnicas, bem como no  $C_{Da}$  médio, não se verifica um R de spearman estatisticamente significativo.

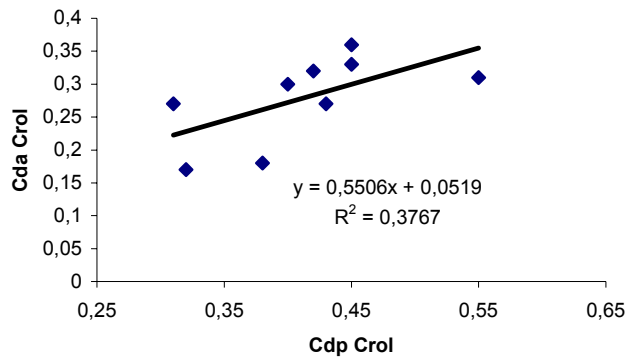


Figura 19. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto activo ( $C_{Da}$ ) e o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) na técnica de crol.

Em continuação, passamos agora à apresentação das correlações entre  $Da$  e  $Dp$ . Através da visualização do Quadro 14 podemos apurar que, a um nível total,  $Da$  não se correlaciona com  $Dp$ .

Quadro 14. Correlações entre arrasto activo ( $Da$ ) e passivo ( $Dp$ ) nas diferentes técnicas de nado.

|            | Da Cr  | Da Ct  | Da Mp | Da Br | Da T  |
|------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|            | X      | X      | X     | X     | X     |
|            | Dp     | Dp     | Dp    | Dp    | Dp T  |
| R spearman | 0,733  | 0,667  | 0,050 | 0,383 | 0,023 |
| p          | 0,025* | 0,050* | 0,898 | 0,308 | 0,893 |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Analisando discriminadamente as quatro técnicas de nado, verificamos que  $Da$  apenas se correlaciona com  $Dp$  de forma positiva e significativa, nas técnicas alternadas (crol e costas), sendo essas relações moderadas (Figuras 20 e 21).

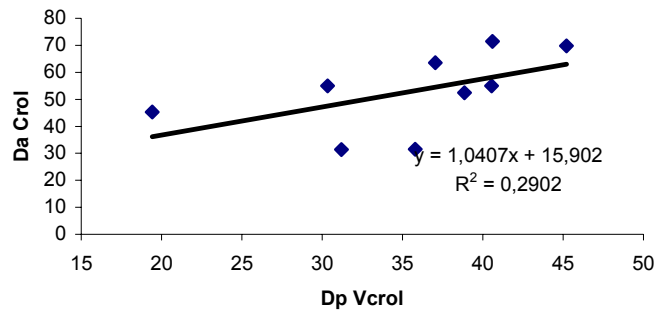


Figura 20. Regressão Linear entre o arrasto activo ( $Da$ ) de crol e arrasto passivo ( $Dp$ ), para a mesma velocidade.

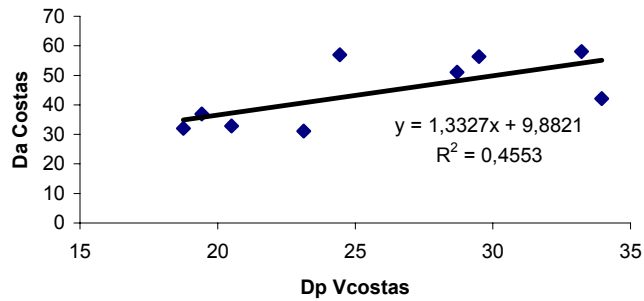


Figura 21. Regressão Linear entre o arrasto activo ( $Da$ ) de costas e arrasto passivo ( $Dp$ ), para a mesma velocidade.

Ao correlacionarmos  $S$  com  $Dp$  médio (calculado através da velocidade média total), verificamos que não existe uma correlação estatisticamente significativa (Quadro 15)

Quadro 15. Correlações entre a área de secção transversal ( $S$ ) com arrasto passivo ( $Dp$ ) médio e coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ).

|            | Dp médio | Cdp    |
|------------|----------|--------|
|            | X        | X      |
|            | S        | S      |
| R spearman | -0,400   | -0,750 |
| p          | 0,286    | 0,020* |

\*Diferença estatisticamente significativa para  $p \leq 0,05$

Por outro lado,  $C_{Dp}$  correlaciona-se de forma negativa e estatisticamente significativa com S apresentando uma relação moderada a forte (Figura 22).

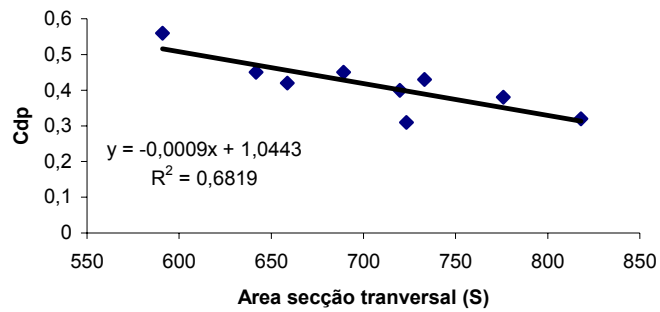


Figura 22. Regressão Linear entre o coeficiente de arrasto passivo ( $C_{Dp}$ ) e a área de secção transversal máxima (S).

## Discussão dos Resultados

Analisando as diferenças intersexuais nos valores do  $C_{Da}$ , das diferentes técnicas, constatamos que estes apenas diferem, de modo significativo, em crol e costas, sendo superiores no género masculino comparativamente ao género feminino. As diferenças obtidas para a técnica de crol estão de acordo com os estudos apresentados na literatura por Toussaint *et al.* (1988) e Vilas-Boas *et al.* (2001). No entanto, Kolmogorov *et al.* (1997) não encontraram diferenças significativas, entre géneros, para os valores de  $C_{Da}$  das quatro técnicas.

Analisando os subgrupos de técnicas alternadas e simultâneas verificámos que, tal como seria de esperar tendo em conta os resultados acima referidos, o  $C_{Da}$  médio das técnicas alternadas do género masculino é superior ao do género feminino.

Estes resultados poderão ser explicados pelo facto de os homens apresentarem uma posição horizontal de nado inferior às mulheres (Pendergast *et al.*, 1977) visto que estas apresentam uma maior flutuabilidade (Rennie *et al.*, 1975) devido às diferenças de composição corporal. Assim, durante o nado, os homens apresentarão uma área de secção transversal relativamente superior, alcançando, deste modo, valores superiores de arrasto (Toussaint *et al.*, 1988). Este efeito pode artificialmente aumentar as diferenças significativas observadas no  $C_{Da}$  entre os dois grupos.

Jurina (1972) afirmou ainda que a mulher poderá apresentar uma forma corporal especialmente mais hidrodinâmica do que a do homem. A autora fundamenta esta hipótese com base no facto de os peixes mais rápidos apresentarem o diâmetro máximo do corpo na parte posterior, próximo da cauda, o que poderá permitir que uma maior área corporal esteja rodeada de corrente em regime laminar, em detrimento da corrente em regime turbulento. A circunferência glútea das nadadoras é superior à torácica mas, nos

nadadores, verifica-se o contrário. Deste modo, o diâmetro máximo do corpo feminino situa-se numa região mais posterior comparativamente ao do homem o que poderá indicar que, em condições semelhantes, o corpo feminino pode criar menor arrasto em comparação com o corpo masculino.

Analisando os valores de  $C_{Dp}$  entre géneros, verificámos que não existem diferenças significativas, o que poderá indicar que as desigualdades intersexuais observadas ao nível do  $C_{Da}$  de crol e costas poderão não ser apenas resultado de possíveis diferenças nas composições corporais mas, também, de distintos níveis e habilidades técnicas de nado, dos nadadores.

Comparando os valores do  $C_{da}$  com  $C_{Dp}$  observamos que estes últimos se mostraram significativamente superiores, no sexo feminino para as técnicas de crol e costas e, na amostra, para crol e mariposa.

Estes resultados são inexistentes na literatura, uma vez que, em vários estudos, os valores de  $C_{Da}$  são sempre superiores a  $C_{Dp}$  (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992, Kolmogorov *et al.*, 1997 e Takagi *et al.*, 2001). O facto de, em alguns casos,  $C_{Da}$  se manifestar inferior a  $C_{Dp}$  poderá ser justificado pela perspectiva do nadador poder alterar periodicamente, durante o nado, os pontos de pressão hidrodinâmicos e, assim, retardar o desenvolvimento de turbulência pela alteração das condições de pressão (Ungerechts, 1983), que se poderá traduzir numa diminuição de  $C_{Da}$ .

Um outro fundamento prende-se com o facto de, durante o nado, existir uma menor superfície corporal que está exposta ao fluxo de água, comparativamente à situação passiva na determinação de  $Dp$ , especialmente durante os movimentos de recuperação dos braços (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992). Este facto pode artificialmente diminuir os valores de  $C_{Da}$  comparativamente a  $C_{Dp}$ , tal como é referido por Vogal (1996) ao afirmar que,

determinadas espécies, conseguem reduzir os valores de  $C_D$  através de uma recuperação eficiente dos seus membros propulsores.

Face à singularidade dos nossos resultados, decidimos recalculamos os valores de  $C_{Dp}$  utilizando o mesmo valor de referência de S, estimado através da potência 2/3 do volume corporal (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992), usado para a determinação de  $C_{Da}$

A comparação dos valores está expressa na Figura 23.

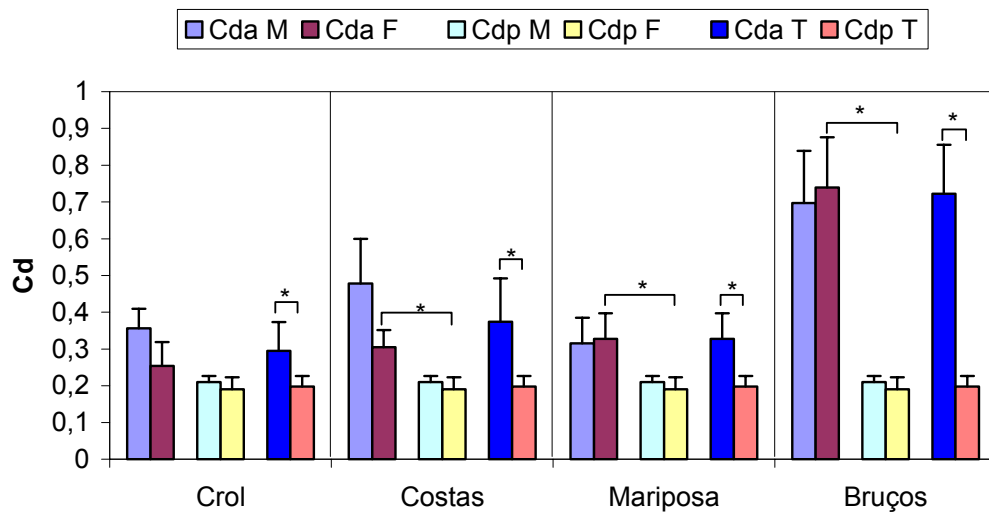


Figura 23. Variação dos valores médios e respectivos desvios-padrão de  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  (recalculado utilizando o valor de referência de S, estimado através da potência 2/3 do volume corporal) totais e intrasexuais, entre cada técnica de nado. É também apresentado o significado estatístico das diferenças de médias (\*= $p \leq 0,05$ )

Os resultados agora obtidos mostram-nos que o  $C_{Dp}$  é significativamente inferior a  $C_{Da}$  para o género feminino em costas, mariposa e bruços e, para a amostra total, nas quatro técnicas. Estes dados vão de encontro aos resultados obtidos por Kolmogorov e Duplishcheva (1992) e Kolmogorov *et al.* (1997).

Como podemos verificar, a estimativa de  $C_D$  é fortemente influenciada pelo valor referência de S; contudo, o seu valor incluído em muitos estudos, foi obtido de diferentes modos sendo alvo de alguma controvérsia. Takagi *et al.*

(2001) defendem que a área frontal do corpo perpendicular ao movimento (XA) parece ser mais elevada quando um objecto estático se desloca na água (caso do corpo do nadador em posição hidrodinâmica), mas a área total de superfície corporal (SA) parece ser mais razoável para análise dimensional quando um corpo está a mudar de forma, tal como o nadador quando nada. O autor afirma que, durante o nado, XA poderá ser alterada mas SA mantém-se estável independentemente dos movimentos que o nadador executa para se propulsionar.

Comparando os valores de  $C_{Da}$  entre as diferentes técnicas, verificamos que estes apresentam valores diferentes consoante a técnica de nado; no entanto, as diferenças significativas apenas surgem entre bruços e as restantes técnicas, no género feminino e na amostra total. Kolmogorov *et al.* (1997) não encontraram diferenças significativas entre costas e mariposa para ambos os géneros, apesar de encontrarem entre as restantes técnicas.

Na técnica de bruços o arrasto é maior quando os nadadores recuperam os MI do que, em qualquer outra fase do ciclo de nado (Costill, 1992). O facto de estes assumirem posturas pouco hidrodinâmicas durante o nado poderá justificar o elevado  $C_{Da}$  desta técnica comparativamente às restantes.

No que concerne à correlação do  $C_{Da}$  das diferentes técnicas com a performance de nado, Takagi *et al.* (2001) encontraram uma correlação negativa e significativa entre aquela e o  $C_{Da}$  da técnica de crol, levando os autores a concluir que um baixo valor de  $C_{Da}$  significa uma maior habilidade para reduzir o arrasto activo e produzir uma melhor performance. No entanto, no nosso estudo, não obtivemos uma correlação estatisticamente significativa entre a performance e o  $C_{Da}$  das diferentes técnicas. Toussaint *et al.* (1988) e Kolmogorov *et al.* (1997) discutiram esta correlação, mas os seus estudos não indicam uma relação evidente.

Este facto poderá indicar que, um nadador com uma forma corporal ou técnica de nado favoráveis não terá, necessariamente, que nadar mais rápido do que um nadador que não possua estas características, uma vez que este poderá ser capaz de produzir forças propulsivas mais elevadas, ou possuir grandes superfícies palmares (Zaciorskij e Safarjan, 1972). Deste modo, o facto de não existir uma correlação, indica que o  $C_{Da}$  não é, por si só, um factor decisivo da velocidade máxima de nado.

A mesma linha de pensamento poderá justificar o facto de  $C_{Dp}$  não se correlacionar com a performance de crol, mariposa e bruços. A correlação positiva de  $C_{Dp}$  com a velocidade de costas pode dever-se ao facto de os nadadores mais corpulentos e robustos, com valores elevados de  $C_{Dp}$ , serem efectivamente aqueles que conseguem alcançar maiores velocidades, fruto de uma maior capacidade propulsiva, e não de uma forma corporal mais hidrodinâmica.

Verificamos uma correlação negativa e significativa do  $C_{Da}$  Total com a performance. Porém, este facto já era por nós esperado, uma vez que se trata de correlação “artificial” imposta pelos baixos valores do  $C_{Da}$  de crol (velocidades mais elevadas), contrariamente aos valores mais elevados do  $C_{Da}$  de bruços (velocidades mais baixas).

No que concerne à correlação de  $Da$  com  $Dp$ , estes apenas se correlacionam de forma significativa nas técnicas de crol e costas, tendo Chatard (1990) obtido igualmente uma correlação de  $Da$  com  $Dp$  para a técnica de crol. Segundo o autor esta correlação poderá indicar que  $Dp$  também possa depender do nível de nado. Afirma ainda a possibilidade  $Dp$  e  $Da$  não medirem o mesmo arrasto, estando  $Da$  mais relacionado com a alteração da posição corporal e  $Dp$  com a fase de deslize durante o nado.

As técnicas de crol e costas permitem um maior alinhamento horizontal comparativamente a mariposa e bruços (Costill, 1992) e este facto poderá

justificar a correlação de  $D_a$  daquelas técnicas com  $D_p$ , bem como a correlação de  $C_{D_a}$  de Crol com  $C_{D_p}$ .

No nosso estudo não obtivemos uma correlação entre  $D_p$  e  $S$ . Esta relação é algo controversa, uma vez que Karpovich (1933) e Tilborgh *et al.* (1983) demonstraram que  $D_p$  está relacionado com  $S$  enquanto que, Miyashita e Tsunoda (1978) e Clarys (1979) não encontraram qualquer relação. No presente trabalho, o facto de  $D_p$  não se relacionar com  $S$  poderá estar relacionado com a dispersão do nível dos nadadores da amostra (Miyashita e Tsunoda, 1978).

Todavia  $C_{D_p}$  correlaciona-se negativamente e de forma significativa com  $S$  obedecendo à relação inversa expressa na equação que nos indica que um grande  $S$  poderá ser contrabalançado por um pequeno  $C_D$ .

## Conclusões

De acordo com os objectivos formulados para o presente estudo concluímos que:

- O  $C_{Da}$  masculino é significativamente superior ao  $C_{Da}$  feminino nas técnicas de crol e costas, no entanto, não se verificaram diferenças significativas entre géneros relativamente a  $C_{Dp}$ .

- O  $C_{Da}$  é inferior a  $C_{Dp}$ , no sexo feminino, em crol e costas e, na amostra total, em mariposa e crol. Porém, quando os valores de  $C_{Da}$  e  $C_{Dp}$  são comparados com base no mesmo S, o  $C_{Dp}$  revela-se inferior a  $C_{Da}$  para a amostra total, nas quatro técnicas de nado e para o género feminino, em costas, mariposa e bruços.

- O  $C_{Da}$  na técnica de bruços é significativamente superior às restantes técnicas de nado, no género feminino e na amostra total.

- O  $C_{Da}$  das diferentes técnicas não se correlaciona com a performance de nado.

- $C_{Dp}$  correlaciona-se de forma positiva com a performance de nado para a velocidade de costas, não apresentando, no entanto, correlação com a velocidade nas restantes técnicas.

- O  $C_{Da}$  correlaciona-se de forma positiva com  $C_{Dp}$  na técnica de crol

- $Da$  e  $Dp$  correlacionam-se de forma positiva nas técnicas de crol e costas.

- S correlaciona-se de forma negativa com  $C_{Dp}$  mas não se correlaciona com  $Dp$ .

## 8. Referências Bibliográficas

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

Chatard, J.C. ; Lavoie, J. M. ; Bourgoin, B. And Lacour, J. R. (1990a). The contribution of Passive Drag as a Determinant of Swimming Performance. *International Journal Sports Medicine*. 11(2): 367-372

Chatard, J. C. ; Collomp, C. ; Maglisho, E. e Maglisco, C. (1990b). Swimming Skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Journal Sports Medicine*. 11(2): 116-161.

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.

Clarys, J. (1979). Human Morfology and Hidrodinamics. In: J. Terauds (Eds), *Swimming science III* , 3-41. University Park Press Baltimore.

Colwin, C. (1992). *Swimming into the 21<sup>st</sup> century*. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, USA.

Costill, D.; Maglisco, E.; Richardson, A. (1992). *Swimming*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, England.

Di Prampero, P. E. ; Pendergast, D. R. ; Wilson, D. W. e Rennie, D. W. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of Applied Physiology*, 37: 1-5.

Douglas, P. F. ; Gasiorek, J. M. e Swaffienl, J. A. (1979). *Fluid mechanics*. Pitman, Londres.\*

Dubois-Reymond, R. (1905). Zum physiologie des schwimmens. *Archive für anatomie und physiologie (abteilung physiologie)*, XXIX: 252-274.\*

Fédiaevski, C. ; Voitkounski, I. e Faddéev, Y. (1979). *Mecânica dos fluidos*. Lopes da Silva, Porto.

Havriluk, R. (2005). Performance Level Differences in Swimming: A Meta – Analysis of Passive Drag. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 76(2): 112-118

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. (1974). Physiology of swimming san. *Acta Physiol. Scand.*, (supl 407).

Holmer, I. (1975). Efficiency of breaststroke and freestyle swimming. In: J. P. Clarys e Lewillie (eds.), *Swimming II*, pp. 130-136. University Park Press. Baltimore.

Jurina, K. (1972). Estudio comparativo del nadar del pez y el del hombre. *Novedades em natacion*. 1: 19-28.

Karpovich, P. V. (1933). Water resistance in swimming. *Res. Quart.*, 4: 21-28.

Kemper HCG, Verschuur R, Clarys JP, Jiskoot J, Rijken H (1976). Efficiency of swimming the front crawl. In: Komi PV (eds.), *Biomechanics VB*, pp.243-249. University Park Press. Baltimore.

Kemper HCG, Verschuur R, Clarys JP, Jiskoot J (1983). Total efficiency and swimming drag in swimming the front crawl. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot G (eds.), *Biomechanics and medicine in swimming*, pp. 199-206. Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.

Kolmogorov, S. & Duplishcheva, O. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hidrodinamics force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*. 25(3): 311-318

Kolmogorov, S. ; Rumyantseva, O. ; Gordon, B. And 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.

Liljestrand G. e Stenström, N. (1919). Studiën uber die physiologie des chwimmers. *Scand. Arch. Physiol*. 39: 1-63.\*

Lima, A. (2006). *Conhecimento de resultados e eficiência no treino da técnica em natação: concepção, desenvolvimento e avaliação de um sistema de biofeedbacks para o treino da técnica em nadadores*. Dissertação de Doutoramento no ramo das Ciências do Desporto. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

Massey, B. S. (2002). *Mecânica dos Fluidos*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

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. and Pendergast, D. R. (2004). Effect os Swim Suit Design on Passive Drag. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36(6): 1029-1035.

Novais-Barbosa, J. (1985). *Mecânica dos fluidos e hidráulica geral* (volume 1). Porto Editora, Porto.

Ohmichi, H. ; Takamoto, M. and 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. R. ; Di Prampero, P. E. ; Craig, Junior A. B. ; Wilson, D. W. e Rennie, D. W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 43: 475-479.

Pendergast, D. R. ; Di Prampero, P. E. ; Craig, Junior A. B. e Rennie, D. W. (1978). The influence of some selected biomechanical factors on the energy of swimming. In: B. Eriksson e B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*, pp. 367-378. University Park Press. Baltimore.

Rennie, D. W. Di Prampero, P. E. Wilson, D. W. e Pendergast D. R. (1973). Energetic of swimming the front crawl. *Fed. Proc.*, 32 (abst):1125.

Rennie, D. W. ; Pendergast, D. R. e Di Prampero, P. E. (1975). Energetics of swimmng in man : J. P. Clarys e L. Lewillie (eds.), *Swimming II*, pp. 97-104. University Park Press. Baltimore.

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)

Schleihauf, R. E. (1974). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: J. Terauds e E. W. b Edingfield (eds.), *Swimming III*. Pp. 70-117. University Park Press. Baltimore.

Streeter, V. L. e Wylie, E. B. (1982). *Mecânica dos fluidos*. McGraw Hill do Brasil. São Paulo.

Taiar, R. ; Sagnes, P. ; Henry, C. ; Dufour, A. and Rouar, A. (1999). Hydrodynamics optimization in butterfly swimming position, drag coefficient and performance. *Journal of Biomechanics*. 32: 803-810

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

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 IXB*. Pp. 486-491. Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.

Tilborg, L. ; Daly, D. and Persyn, V. (1983). The influence of some somatic factors on passive drag, gravity and buoyancy forces in competitive swimming. In: A. P. Hollander; P. A. Huijing e G. De Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 207-214. Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.

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. ; Looze, M. ; Rossem, B. ; Leijdekkers, M. and Dignum, H. (1990). The effect of Growth on Drag in Young Swimmers. *International Journal of Sport Biomechanics*. 6: 18-28.

Toussaint, H. And Berg, V. (2000). Comments on: Hydrodynamics optimization in butterfly swimming position, drag coefficient and performance. *Journal of Biomechanics*. 33: 507-508

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 and 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. ; Roos, P. E. e Kolmogorov, S. (2004). The determination of drag in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*. 37:1655-1663.

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.

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. (2000). Aproximação biofísica ao desempenho e ao treino de nadadores. *Rev. paul. Educ. Fís., São Paulo*, (2): 107-117.

Vilas-Boas, JP. ; Fernandes, R. and Kolmogorov, S. (2001a). Arrasto hidrodinâmico activo e potência mecânica máxima em nadadores pré – juniores de Portugal. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 1(3): 14-21

Vilas-Boas, JP. (2001b). A importância da depilação no rendimento desportivo em natação. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 1(2): 65-72

Vogal, S. (1996). *Life in moving fluids: The physical biology of flow*. Princeton University Press, New Jersey.

Zaciorskij, V. M. and Safarian, F. G. (1972). Untersuchung von Faktoren zur Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit im Freistilschwimmen. *Theorie und Praxis der Körperkultur*. 21: 695-709\*

\*- Referências indirectas