

COMPARAÇÃO DO COEFICIENTE DO ARRASTO ACTIVE ATRAVÉS DE TRÊS TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DA AREA DE SECÇÃO TRANSVERSA DO TRONCO

INTRODUÇÃO

O arrasto hidrodinâmico é tido como a força que um nadador tem de vencer de forma a manter o seu deslocamento no meio aquático, e depende da velocidade, forma, tamanho e área de superfície frontal (Kjendlie e Stallman, 2008). Numericamente o arrasto expressa-se pela equação newtoniana:

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

Em que D corresponde ao arrasto em [N], ρ corresponde à densidade da água em [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], v corresponde à velocidade em [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], S corresponde à área de secção transversa em [cm^2] e C_d corresponde ao coeficiente de arrasto [adimensional]. O arrasto pode ser passivo (i.e. resistência da água durante o deslocamento de um corpo rebocado, sem movimento relativo dos segmentos corporais; Pendergast et al., 2006) ou activo (i.e. resistência da água quando associado a um movimento de nado; Kolmogorov et al., 1997). Pode ser calculado através de métodos experimentais, como seja o Método de Perturbação de Velocidade (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992) ou através de métodos numéricos, como seja a Dinâmica Computacional de Fluidos (Marinho et al., 2009). Em ambos casos é necessária a inclusão da variável área de secção transversa do tronco (ASTT). A ASTT pode ser medida directamente, por exemplo a partir de fotogrametria digital (Caspersen et al., 2010) ou pode ser estimada a partir de equações preditivas (Clarys, 1979; Morais et al., 2011). Clarys (1979) sugere a estimação da ASTT a partir da equação:

$$ASTT = 6,9256 \cdot \text{massa corporal} + 3,5043 \cdot \text{estatura} - 377,156 \quad (2)$$

Em que ASTT corresponde à área de secção transversa do tronco em [cm^2], a massa corporal em [kg] e a estatura em [cm].

Morais et al. (2011) sugerem a estimação da ASTT, para os sexos masculino e feminino respectivamente, a partir das equações:

$$ASTT = 7,002 \cdot PP + 15,382 \cdot DTS - 255,70 \quad (3)$$

$$ASTT = 6,662 \cdot PP + 17,019 \cdot DTS - 210,708 \quad (4)$$

Em que ASTT corresponde à área de secção transversa do tronco em [cm^2], PP ao perímetro peitoral em [cm] e DTS ao diâmetro tóraco-sagital em [cm].

Foi objectivo deste estudo comparar o coeficiente de arrasto activo, calculado com recurso a três formas distintas de medição da ASTT.

MÉTODOS

A amostra foi composta por 23 sujeitos (12 do sexo masculino e 11 do sexo feminino) com participação regular em competições de nível regional e nacional, com uma média de idades de $13,61 \pm 0,83$ anos de idade.

Recolha de ASTT

A ASTT foi avaliada directamente através de fotogrametria digital (Caspersen et al., 2010). Os sujeitos foram fotografados no plano transversal superior com uma máquina digital (Sony DSC-T7, Tóquio, Japão) de 5.1 mega pixels, junto a um objecto de calibração com 0,945 [m] de largura que se encontrava ao nível do apêndice xifóide. Posteriormente, as imagens foram editadas no software específico para medição de áreas (Universal Desktop Ruler, v3.3.3268, AVPSOFT, E.U.A.). Os procedimentos a efectuar foram: (i) calibração da escala de medição; (ii) delimitação, através de digitalização manual com recurso a um cursor, do maior perímetro do sujeito, ao nível do apêndice xifóide, observável na fotografia; (iii) cálculo e registo da ASTT (Fig 1).

Para a estimação da ASTT a partir das equações preditivas 2, 3 e 4 foram avaliadas as variáveis: (i) massa corporal com recurso a uma balança digital (SECA, 884, Hamburgo, Alemanha); (ii) a estatura com um estadiómetro digital (SECA, 242, Hamburgo, Alemanha); (iii) o diâmetro tóraco-sagital com um clip de medição (Campbell, 20, Ross-Craft, Canadá) e; (iv) o perímetro peitoral com uma fita de medição (RossCraft, Cana-

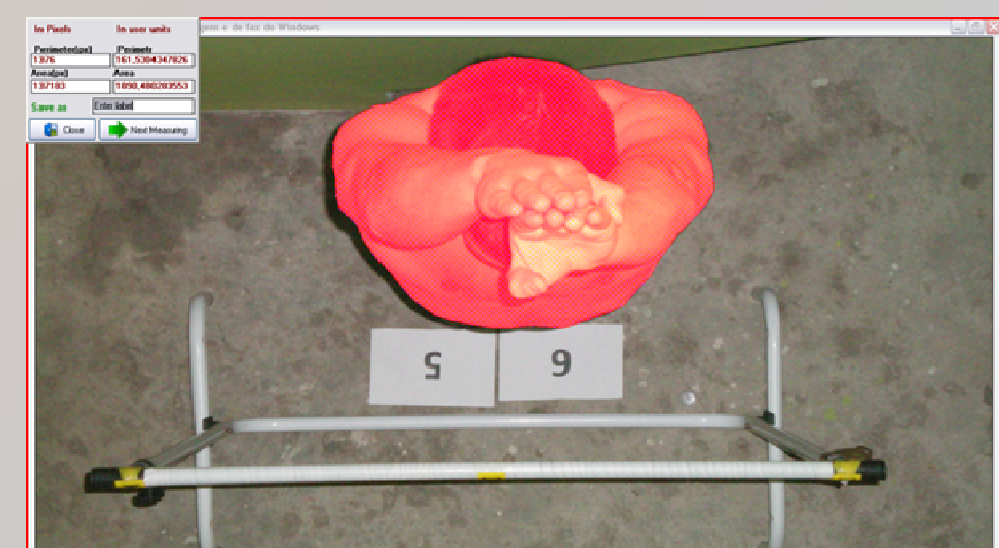


Figura 1 Delineamento e cálculo da ASTT.

dá).

Recolha de arrasto activo e coeficiente de arrasto activo

O arrasto activo e coeficiente de arrasto activo (C_{Da}) foram calculados através do Método de Perturbação de Velocidade (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992). Os sujeitos realizaram dois percursos de 25 [m] à velocidade máxima, o primeiro em estilo Livre e o segundo também em estilo Livre mas com um corpo hidrodinâmico acoplado (Fig 2). Os sujeitos realizaram os percursos individualmente, com partida dentro de água. A velocidade foi medida entre os 11 [m] e os [24] Marinho et al. (2010) com um cronómetro (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal). O arrasto activo e C_{Da} foram calculados, respectivamente, através das equações (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992):

$$D_a = \frac{D_b \cdot v_b \cdot v^2}{v^3 - v_b^3} \quad (5)$$

Em que D_a corresponde ao arrasto activo em [N], D_b corresponde à resistência do corpo hidrodinâmico em [N] e v_b e v correspondem às velocidades de nado com e sem o corpo hidrodinâmico acoplado em [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], respectivamente.

MÉTODOS

$$C_{Da} = \frac{2D}{\rho_{ASTT} v^2} \quad (6)$$

Em que C_{Da} corresponde ao coeficiente de arrasto em [N], D corresponde ao arrasto activo em [N], ρ corresponde à densidade da água em [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], ASTT corresponde à área de secção transversa do tronco em [cm^2] e v corresponde à velocidade de nado em [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

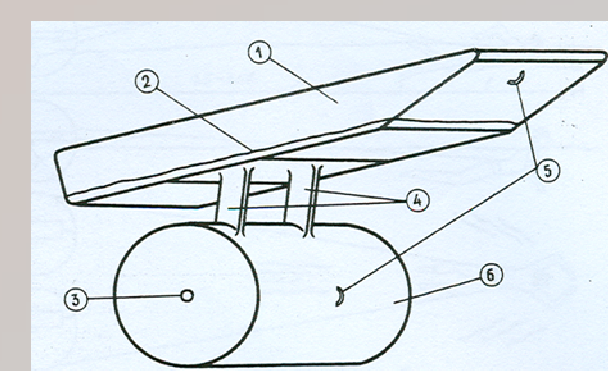


Figura 2 Representação do corpo hidrodinâmico concebido por Kolmogorov e Duplishcheva (1992).

A comparação dos valores de coeficiente de arrasto activo, calculados com base em três métodos de avaliação da ASTT, foi realizada através de três procedimentos: (i) comparação de valores médios com o TEST-T Student; (ii) regressão linear simples e; (iii) plot de Bland e Altman (1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os pares estudados apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) na comparação de valores médios.

A análise de regressão linear simples entre os pares estudados registou correlações significativas ($p < 0,001$). Entre o C_{Da} avaliado com a inclusão da ASTT medida e estimada a partir da equação 2, e a partir das equações 3 e 4 apresentou um coeficiente de determinação ($R^2 = 0,958$) e ($R^2 = 0,931$). Entre o C_{Da} avaliado com a inclusão da ASTT estimada a partir da equação 2 e das equações 3 e 4, registou-se ($R^2 = 0,959$).

O plot de Bland Altman cumpriu o o critério previamente definido, registou mais de 80 % dos plots dentro do intervalo de confiança de 95 %.

A equação desenvolvida por Clarys (1979) é usualmente utilizada para a estimação da ASTT. No entanto, no estudo de Barbosa et al. (2010) a variável ASTT estimada a partir da equação 2 foi excluída pelo modelo de path-analysis desenvolvido, levando os autores a sugerir novas equações de estimação da ASTT. Morais et al. (2011) desenvolveram novas equações preditivas, de acordo com o sexo, para estimação da ASTT.

O presente estudo realiza a comparação do C_{Da} calculado com base nas três formas de avaliação da ASTT mencionadas.

Os resultados demonstram que o valor de C_{Da} calculado com a inclusão da ASTT estimada a partir das equações 3 e 4 é mais aproximado do valor de C_{Da} calculado com a inclusão da ASTT medida ($\Delta = 13,80 \pm 9,24\%$), em comparação com o valor de C_{Da} calculado com a ASTT estimada a partir da equação 2 ($\Delta = 26,87 \pm 5,61\%$).

CONCLUSÃO

Os valores de coeficiente de arrasto activo avaliados com base nas três formas diferentes de cálculo da ASTT foram semelhantes.

O cálculo do coeficiente de arrasto activo com a inclusão da ASTT estimada a partir das equações 3 e 4 foi o que obteve um valor delta inferior em comparação com o valor de coeficiente de arrasto activo com a inclusão da ASTT medida.

Sugere-se assim a treinadores de investigadores, a utilização destas equações como forma de estimação da ASTT para o cálculo do coeficiente de arrasto activo.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, T., Costa, M., Marques, M., Silva, A., Marinho, D. (2010). A model for active drag force exogenous variables in young swimmers. Journal of Human Sport and Exercise, 5, 379-388.
- Bland, J. e Altman, D. (1986). Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement. The Lancet, 1, 307-310.
- Caspersen, C., Berthelsen, P., Eik, M., Pákozdi, C., Kjendlie, P. (2010). Added mass in human swimmers: age and gender differences. Journal of Biomechanics, 43, 2369-2373.
- Clarys, J. (1979) Human morphology and hydrodynamics. In: J. Terauds, e E.W. Bedingfield (Eds.) Swimming III (pp.3-42). Baltimore: University Park Press.
- Kjendlie, P. e Stallman, R. (2008). Drag characteristics of competitive swimming children and adults. Journal of Applied Biomechanics, 24, 35-42.
- Kolmogorov, S. e Duplishcheva, O. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force in different swimming strokes at maximal velocity. Journal of Biomechanics, 25, 311-318.
- Kolmogorov, S., Rummyantseva, O., Gordon, B., Capaert, J. (1997). Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels. Journal of Applied Biomechanics, 13, 88-97.
- Marinho, D., Barbosa, T., Kjendlie, P., Vilas-Boas, J., Alves, F., Rouboa, A., Silva, A. (2009). Swimming Simulation. In: P.M. Heidelberg (Ed.), Computational Fluid Dynamics for sport simulation (pp.33-61). Springer-Verlag.
- Marinho, D., Barbosa, T., Garrido, N., Costa, A., Reis, V., Silva, A., Marques, M. (2010). Can 8 weeks of training affect active drag in age-group swimmers? Journal Sport Science and Medicine, 9, 71-78.
- Morais, J., Costa, M., Mejias, E., Marinho, D., Silva, A., Barbosa, T. (2011). Morphometric study for estimation and validation of trunk transverse surface area to assess human drag force on water. Journal Human Kinetics, 28, 5-13.
- Pendergast, D., Capelli, C., Craig, A., di Prampero, P., Minetti, A., Molleendorf, J., Termin, I., Zamparo, P. (2006). Biophysics in swimming. In: J.P. Vilas-Boas, F. Alves e A. Marques (Eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X (pp.185-189). Porto: Portuguese Journal of Sport Science

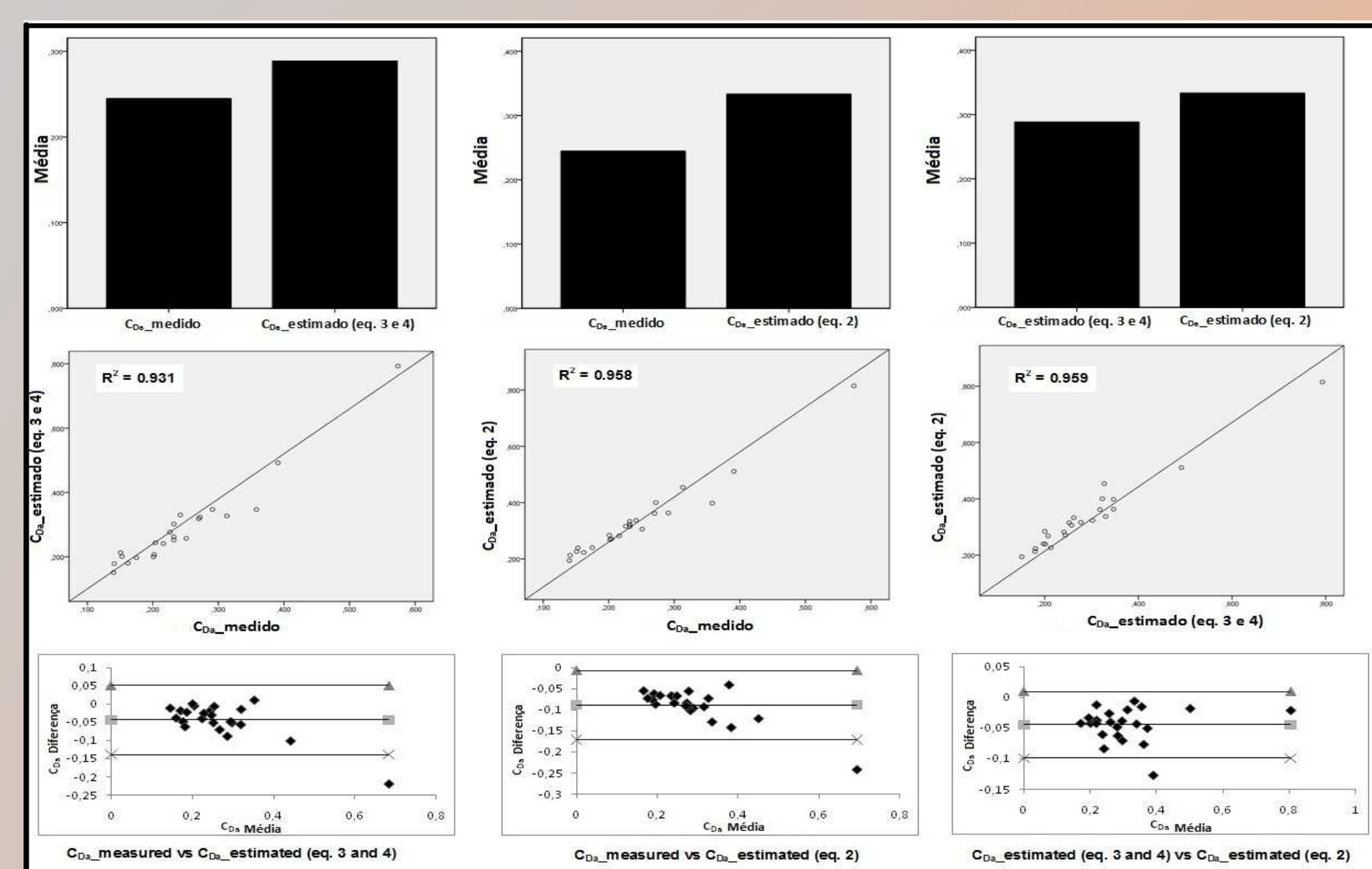


Figura 3. Comparação de valores médios, scatter gram e plot de Bland Altman da avaliação do coeficiente de arrasto, calculado através de três formas de avaliação da área de secção transversa do tronco.