

VALIDAÇÃO DE EQUAÇÕES PREDITIVAS DA ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA DO TRONCO PARA AVALIAÇÃO DO ARRASTO HIDRODINÂMICO EM FUNÇÃO DO SEXO E DO NÍVEL COMPETITIVO

Jorge E Morais¹, Mário J Costa², Erik J Mejias³, Daniel A Marinho⁴, António J Silva⁵ e Tiago M Barbosa⁶

¹ Departamento de Desporto, Instituto Politécnico de Bragança/CIDESD; morais.jorgestrela@gmail.com

² Departamento de Desporto, Instituto Politécnico de Bragança/CIDESD; mario.costa@ipb.pt

³ Departamento de Desporto, Instituto Politécnico de Bragança/CIDESD; jean.eg.mejias@hotmail.com

⁴ Departamento de Desporto, Universidade da Beira Interior/CIDESD; marinho.d@gmail.com

⁵ Departamento de Desporto, Exercício e Saúde, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro/CIDESD; ajsilva@utad.pt

⁶ Departamento de Desporto, Instituto Politécnico de Bragança/CIDESD; barbosa@ipb.pt

PALAVRAS CHAVE: Validação, Precisão, Área de Secção Transversa do Tronco, Arrasto Hidrodinâmico, Natação

RESUMO: *O objectivo do estudo foi desenvolver e validar equações para estimar a área de secção transversa do tronco (ASTT), em ambos os sexos, de acordo com o nível competitivo, que habitualmente são usadas para avaliar o arrasto hidrodinâmico.*

*Para o sexo feminino, na condição de experts, foi utilizado um grupo de 33 sujeitos para estimar a equação e um grupo de 38 sujeitos para validar a equação, na condição de não experts foi utilizado um grupo de 23 sujeitos para estimar a equação e um grupo de 18 sujeitos para validar a mesma. No caso do sexo masculino, na condição de experts, foi utilizado um grupo de 28 sujeitos para estimar a equação e um grupo de 32 sujeitos para a validar, na condição de não experts, foi utilizado um grupo de 48 sujeitos para estimar a equação e um grupo de 44 sujeitos para validar a equação. Os sujeitos foram fotografados (DSC-T7, Sony, Tóquio, Japão) num plano superior transversal, no meio terrestre, simulando a posição hidrodinâmica. A ASTT foi medida através da foto digital do sujeito com um software específico (Universal Desktop Ruler, v3.3.3268, AVPSOft, E.U.A.). Foram ainda medidas as variáveis antropométricas massa corporal (SECA, 884, Hamburgo, Alemanha), a estatura (SECA, 242, Hamburgo, Alemanha), os diâmetros bi-acromial (DBC) e tóraco-sagital (DTS) com um clip antropométrico (Campbell, 20, RossCraft, Canadá), assim como, o perímetro peitoral (PP) com fita métrica (RossCraft, Canadá). Para sexo feminino experts $ASTT=16,498*DTS+10,875*PP-504,705$ ($R^2=0,28$; $Ra=0,24$; $p<0,01$). Para sexo feminino não experts $ASTT=14,836*PP-26,825*DTS-33,149$ ($R^2=0,28$; $Ra=0,21$; $p<0,01$). Para sexo masculino experts $ASTT=19,216*DTS+10,505*PP-575,496$ ($R^2=0,33$; $Ra=0,27$; $p<0,01$). Para sexo masculino não experts $ASTT=30,453*DTS+5,030*PP-371,404$ ($R^2=0,48$; $Ra=0,45$; $p<0,01$). Em todas as condições, por sexo e nível competitivo, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre a média da ASTT medida e da estimada. Os coeficientes de determinação, calculados através da análise de regressão linear, entre a ASTT medida e estimada foram moderados. Para todas as condições, por sexo e nível competitivo, mais de 80% dos plots, na análise de Bland-Altman, encontram-se dentro dos 95% do intervalo de confiança.*

1 INTRODUÇÃO

O acto de nadar é caracterizado pela aplicação intermitente de uma força propulsiva para vencer o arrasto hidrodinâmico [1].

Existem dois grupos de métodos para a avaliação do arrasto hidrodinâmico: (i) o arrasto passivo e; (ii) o arrasto activo. O arrasto passivo é a resistência produzida durante o deslocamento de um corpo rebocado, sem movimento relativo dos segmentos corporais [2]. O arrasto activo é a resistência da água associada a um movimento de nado autónomo [3]. Estes dois grupos podem ser avaliados através de métodos experimentais (p.e. o método de perturbação de velocidade de Kolmogorov e Duplishcheva) ou pela aplicação de simulações numéricas (p.e. Dinâmica Computacional de Fluidos).

Numericamente o arrasto activo está relacionado com:

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

Em que D corresponde ao arrasto (em N), ρ corresponde à densidade da água (em $\text{kg}\cdot\text{m}^3$), v é a velocidade de nado observada (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), S a área de superfície frontal (em cm^2) e C_d é o coeficiente de força hidrodinâmico que se altera com a forma, orientação e número de Reynolds.

Em ambos os métodos de avaliação do arrasto (i.e., MPV e CFD), é necessária a inclusão da área de secção transversa do tronco (ASTT) do sujeito. [4] sugeriu a estimação da ASTT através de determinadas características antropométricas:

$$S = 0,9256 \text{ massa corporal} + 3,5043 \text{ estatura} - 377,156 \quad (2)$$

Em que S corresponde ao diâmetro transversal máximo do corpo humano (em cm^2), a massa corporal (em kg), a estatura (em cm). O estudo de [4] foi efectuado com 9 nadadores de nível olímpico e 63 estudantes de Educação Física. No entanto, de acordo

com [1], esta equação possui algumas limitações: (i) a amostra para desenvolvimento do modelo preditivo foi reduzida; (ii) as características antropométricas dos nadadores de então (anos 70) poderão não ser idênticas às actuais; (iii) a equação quando aplicada a jovens e a adultos do sexo feminino pode apresentar erros de estimativa por ter sido desenvolvida para jovens adultos do sexo masculino; (iv) a capacidade preditiva da equação de [4] não é elevada ($R = 0,70$); (v) no estudo em causa a equação nunca foi objecto de validação numa amostra independente. O objectivo do estudo foi desenvolver e validar equações para estimar ASTT, em ambos os sexos e de acordo com o nível competitivo, que habitualmente são usadas para avaliar o arrasto hidrodinâmico.

2 METODOLOGIA

2.1 AMOSTRA

A amostra foi composta por 264 sujeitos, (112 do sexo feminino e 152 do sexo masculino). Todos eles eram praticantes de actividades aquáticas, nomeadamente de Natação Pura Desportiva. As idades variaram entre os 10 e os 32 anos de idade para o sexo masculino e entre os 9 e os 27 anos de idade para o sexo feminino. Os praticantes foram considerados como pertencentes a um de dois grupos de *coorte*: (i) nadadores federados (i.e., *experts*) ou; (ii) não federados (i.e., não *experts*). Para o sub-grupo feminino *experts* 33 sujeitos serviram para estimar a equação e 38 para a validar. Para o sub-grupo feminino não *experts* 23 sujeitos foram utilizados para estimar a equação e 18 para validar a mesma.

Relativamente ao sub-grupo masculino *experts* 28 sujeitos foram utilizados para estimar a equação e 32 para a validar. Para o sub-grupo masculino não *experts* 48 sujeitos foram utilizados para estimar a equação e 44 para a validar. Todos os sujeitos voluntariaram-se para o estudo e de igual forma, foram respeitados os princípios da Declaração de Helsínquia no que diz respeito

a procedimentos científicos envolvendo Seres Humanos.

2.2 RECOLHA DE DADOS

Para a avaliação da ASTT, solicitou-se aos sujeitos se colocassem numa posição bípede, plantígrada, ortostática, com a cabeça numa posição neutra, os membros superiores em extensão completa no prolongamento do corpo com a superfície palmar de uma mão em contacto com o dorso da mão oposta e os dedos também eles em extensão. Os sujeitos foram fotografados no plano transversal superior com uma máquina digital (Sony DSC-T7, Tóquio, Japão) de 5.1 *mega pixels*. Simultaneamente foi fotografado junto dos sujeitos, um objecto de calibração com 0,945 m de largura que se encontrara ao nível do apêndice xifóide. Posteriormente, as imagens foram editadas num *software* específico para medição da área (*Universal Desktop Ruler*, v3.3.3268, AVPSOft, E.U.A.). Foram ainda avaliados os seguintes parâmetros antropométricos: (i) massa corporal; (ii) estatura; (iii) diâmetro bi-acromial; (iv) diâmetro tóraco-sagital e; (v) perímetro peitoral. Estas variáveis são tidas como objecto de estudo recorrente na Natação Pura Desportiva [5]. A massa corporal foi medida com recurso a uma balança digital (SECA, 884, Hamburgo, Alemanha). A estatura foi avaliada com um estadiómetro digital (SECA, 242, Hamburgo, Alemanha). Os diâmetros bi-acromial e tóraco-sagital foram medidos utilizando um *clip* de medição (Campbell, 20, RossCraft, Canadá) com o avaliador colocado no plano sagital direito relativamente ao sujeito. O perímetro peitoral foi medido com uma fita métrica (RossCraft, Canadá) estando os sujeitos a simular a posição hidrodinâmica mas na postura ortostática. As variáveis foram medidas três vezes por um avaliador experiente, e para a análise foi contabilizada a média das três medições.

2.3 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Na análise descritiva foram calculados os seguintes parâmetros: (i) média; (ii) um

desvio padrão; (iii) o valor mínimo; (iv) o valor máximo e; (v) o coeficiente de variação de todas as variáveis adoptadas. Os modelos de estimação da ASTT foram desenvolvidos através de regressão linear múltipla passo-a-passo, tendo em consideração a variável endógena (i.e., ASTT) e as variáveis exógenas (i.e., massa corporal, estatura, diâmetro bi-acromial, diâmetro tóraco-sagital e perímetro peitoral). Considerou-se que as variáveis independentes entraram no modelo caso $F \geq 4.0$ e removidas se $F \leq 3,96$ [6]. A validação dos modelos foi realizada como sugerido por [7-9]: (i) a comparação dos valores médios através do Teste T-*student* Emparelhado; (ii) o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado, em que a relação qualitativa foi considerada: muito fraca se $R^2 < 0,04$; fraca se $0,04 \leq R^2 < 0,16$; moderada se $0,16 \leq R^2 < 0,49$; elevada se $0,49 \leq R^2 < 0,81$; muito elevada se $0,81 \leq R^2 < 1,0$ e; (iii) o *plot* de Bland-Altman [10], em que 80 % dos *plots* entre a ASTT avaliada e ASTT estimada devem encontrar-se dentro dos 95 % do intervalo de confiança, correspondentes a $\pm 1,96$ desvios padrão.

3 RESULTADOS

As tabelas 1 e 2 apresentam respectivamente para o sexo masculino e feminino, as estatísticas descritivas das variáveis antropométricas avaliadas para os sub-grupos de *experts* (exp) e de não *experts* (n_exp).

Para o sub-grupo *experts* do sexo masculino o modelo final de regressão ($F_{2,27} = 6,078$, $p = 0,01$) permitiu entrada das variáveis perímetro peitoral ($t = 2,307$; $p = 0,03$) e diâmetro tóraco-sagital ($t = 1,858$; $p = 0,08$). A equação preditiva da área de superfície frontal foi ($R^2 = 0,33$; $Ra^2 = 0,27$; $s = 165,41$; $p < 0,01$):

$$ASTT = 19,216 \cdot DT3 + 10,505 \cdot PP - 575,496 \quad (3)$$

Para o sub-grupo não *experts* do sexo masculino o modelo final de regressão ($F_{2,47} = 20,509$, $p < 0,001$) permitiu entrada das variáveis perímetro peitoral ($t = 1,050$; $p =$

0,30) e diâmetro tóraco-sagital ($t = 1,606$; $p = 0,11$). A equação preditiva da área de superfície frontal foi ($R^2=0,48$; $Ra^2 = 0,45$; $s = 136,89$; $p < 0,01$):

$$ASTT = 30,433 \cdot DTS + 3,030 \cdot PP - 371,404 \quad (4)$$

Para o sub-grupo *experts* do sexo feminino o modelo final de regressão ($F_{2,32} = 5,931$, $p = 0,01$) permitiu entrada das variáveis perímetro peitoral ($t = 2,671$; $p = 0,01$) e diâmetro tóraco-sagital ($t = 2,063$; $p = 0,05$). A equação preditiva da área de superfície foi ($R^2 = 0,28$; $Ra^2 = 0,24$; $s = 147,02$; $p < 0,01$):

$$ASTT = 16,498 \cdot DTS + 10,875 \cdot PP - 504,705 \quad (5)$$

Para o sub-grupo não *experts* do sexo feminino, o modelo final de regressão ($F_{2,22} = 3,914$, $p = 0,04$) permitiu entrada das variáveis perímetro peitoral ($t = 2,294$; $p =$

0,03) e diâmetro tóraco-sagital ($t = -1,145$; $p = 0,266$). A equação preditiva da área de superfície frontal foi ($R^2 = 0,28$; $Ra^2 = 0,21$; $s = 115,20$; $p < 0,01$):

$$ASTT = 14,836 \cdot PP - 26,823 \cdot DTS - 33,149 \quad (6)$$

A figura 1 apresenta: (i) comparação dos valores médios; (ii) *scatter gram* da análise de regressão e; (iii) análise de Bland Altman entre a ASTT medida e a ASTT estimada para o sexo masculino e feminino de acordo com o nível competitivo (*experts* e não *experts*). Verificou-se que não existem diferenças estatisticamente significativas entre a ASTT medida e ASTT estimada ($p > 0,05$).

Tabela 1. Caracterização antropométrica do sexo masculino para o sub-grupo de *experts* (exp) e de não *experts* (n_exp).

	MC (kg)		Estatura (cm)		DBC (cm)		DTS (cm)		PP (cm)		ASTT (cm ²)	
	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp
Média	54,83	69,07	164,52	172,50	37,46	34,12	22,44	22,43	81,63	90,23	715,57	768,48
DP	11,78	14,38	11,73	11,38	6,34	3,53	3,72	2,47	7,49	8,81	175,51	188,34
Mínimo	32,00	28,00	141,00	134,00	19,90	23,80	11,50	15,40	64,00	61,50	417,46	373,59
Máximo	86,00	108,60	188,40	189,00	50,50	40,20	31,00	30,10	100,00	112,00	1371,00	1366,66
CV	21,48	20,81	7,12	6,59	16,92	10,34	16,57	11,01	9,17	9,76	24,52	24,50

Tabela 2. Caracterização antropométrica do sexo feminino para o sub-grupo de *experts* (exp) e de não *experts* (n_exp).

	MC (kg)		Estatura (cm)		DBC (cm)		DTS (cm)		PP (cm)		ASTT (cm ²)	
	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp	exp	n_exp
Média	46,96	55,43	155,88	160,24	34,61	30,50	21,40	21,88	74,83	83,85	642,93	618,38
DP	9,71	8,26	9,61	8,33	5,07	2,99	3,24	1,99	7,26	7,21	153,65	126,71
Mínimo	27,80	35,60	133,00	137,00	24,20	25,40	15,50	18,60	64,00	69,00	327,21	355,48
Máximo	72,20	72,20	178,00	172,00	44,00	35,40	28,10	25,60	92,00	97,00	1125,20	959,20
CV	20,67	14,90	6,16	5,19	14,64	9,80	15,14	9,09	9,70	8,59	23,89	20,49

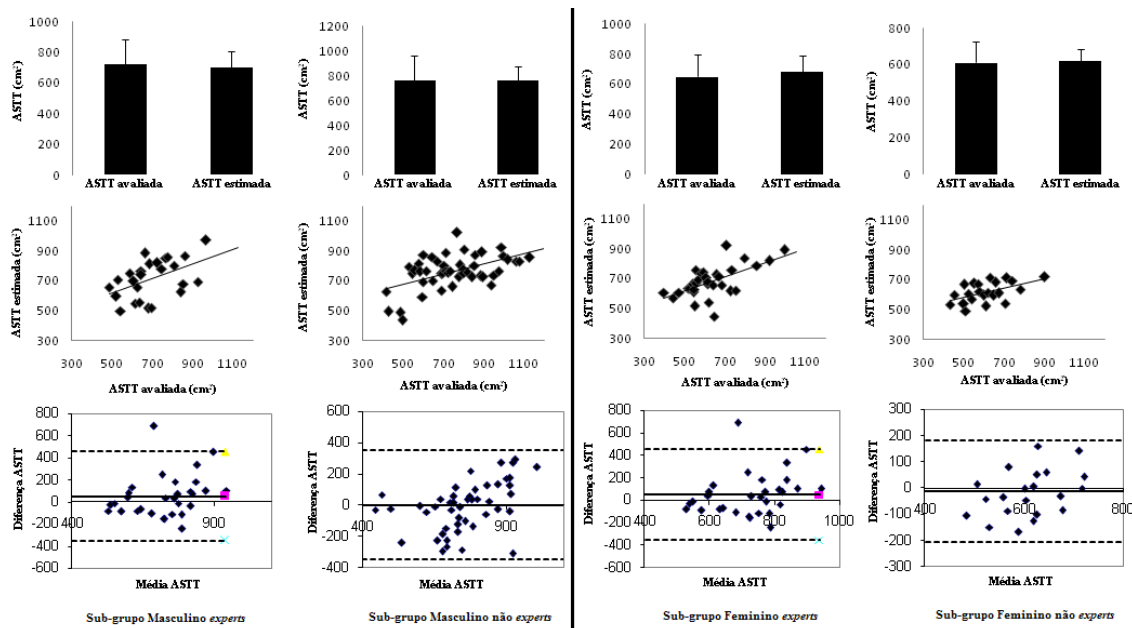


Figura 1. Comparação de valores médios, *scatter gram* e análise de Bland Altman entre a ASST medida e estimada para o sexo masculino e feminino (*experts* e não *experts*).

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quando comparados os dois estudos existentes na literatura [4,11] com o presente estudo, considera-se que de uma forma geral os valores médios de ASST registados em todos são um tanto semelhantes. No entanto, para ambos os sexos registaram-se no presente trabalho valores médios de ASST ligeiramente inferiores aos registados por [11]. O mesmo aconteceu quando comparados os valores médios de ASST, do sub-grupo masculino *experts* do presente estudo, com a amostra de 9 nadadores de nível olímpico do estudo de [4]. Tal facto é justificado pela grande amplitude de idades utilizadas no presente estudo (i.e. entre os 10 e os 32 anos de idade para o sexo masculino, e entre os 9 e os 27 anos de idade para o sexo feminino). [4] teve como variáveis exógenas a entrar no modelo final a massa corporal e a estatura dos sujeitos ($R = 0,71$). O coeficiente de determinação da mesma equação foi de $R^2 = 0,50$. Já no presente estudo, para todas as condições, os modelos finais de estimação da ASST incluíram a entrada das variáveis DTS e PP (sub-grupo masculino *experts* $R^2 = 0,24$; sub-grupo masculino não *experts* $R^2 = 0,23$;

sub-grupo feminino *experts* $R^2 = 0,37$; sub-grupo feminino não *experts* $R^2 = 0,26$). Considerou-se que as equações desenvolvidas para ambos os sexos e de acordo com o nível competitivo, foram significativas e com um nível qualitativo de predição considerado como sendo moderado. Constatou-se que para todas as condições estudadas, por sexo e nível competitivo por sexo, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as médias da ASST medida e da ASST estimada. O coeficiente de determinação, em relação ao sexo feminino, do modelo de regressão linear simples entre a ASST medida e ASST estimada foi considerado elevado. Para todas as restantes condições estudadas, os coeficientes de determinação entre a ASST medida e a ASST estimada foram considerados como sendo moderados. No que diz respeito à análise de Bland Altman todos os modelos desenvolvidos, ou seja, por sexo e de acordo com o nível competitivo por sexo, cumpriram o critério pré-definido. Mais de 80 % dos *plots* de todos os modelos desenvolvidos, estavam inseridos dentro dos 95 % do intervalo de confiança.

5 CONCLUSÕES

Desta forma pode concluir-se que: (i) todos os modelos preditivos desenvolvidos, por sexo e de acordo com o nível competitivo, foram considerados significativos; (ii) os modelos respeitaram os três processos de validação. Assim pode-se sugerir que todos os modelos desenvolvidos podem ser utilizados para a predição da ASTT por sexo e de acordo com o nível competitivo.

REFERÊNCIAS

[1] D. Marinho, T. Barbosa, M. Costa, C. Figueiredo, V. Reis, A. Silva, M. Marques M, “Can 8-weeks of training affect active drag in young swimmers?”, *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 9, 71 – 78, 2010.

[2] D. R. Pendergast, C. Capelli, A. B. Craig, P. E. di Prampero, A. E. Minetti, J. Mollendorf, I. I. Termin, P. Zamparo, “Biophysics in swimming”, In: Vilas-Boas J.P., Alves F., Marques A., editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Porto: Portuguese Journal of Sport Science, Vol. 2, 185 – 189, 2006.

[3] S. Kolmogorov, O. Romyantseva, B. Gordon, J. Cappaert, “Hydrodynamic Characteristics of Competitive Swimmers of Different Genders and Performance Levels”, *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 13, 88 – 97, 1997.

[4] J. P. Clarys, “Human morphology and hydrodynamics”, In: Terauds J, Bedingfield EW, editors. *Swimming III*; Baltimore: University Park Press, 3 – 41, 1979.

[5] J. Mazza, T. R. Ackland, T. Bach, P. Cosolito, “Absolute body size”, In: Lindsay Carter, Timothy Ackland. *Kineanthropometry in Aquatic Sports*. Human Kinetics. Champaign, Illinois, 1994.

[6] T. M. Barbosa, R. J. Fernandes, P. Morouço, J. P. Vilas-Boas, “Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: a pilot study”, *J Sports Sci Med*, Vol. 7, 201 – 209, 2008.

[7] U. Wolfram, H. J. Wilke, P. K. Zysset, “Valid micro finite element models of vertebral trabecular bone can be obtained using tissue properties measured with nanoindentation under wet conditions”, *Journal of Biomechanics*, Vol. 43, 1731 – 1737, 2010.

[8] C. Baldari, V. Bonavolontà, G. P. Emerenziani, M. C. Gallota, A. J. Silva, L. Guidetti, “Accuracy, reliability, linearity of Accutrend and Lactate Pro versus EBIO plus analyzer”, *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 107, 105 – 111, 2009.

[9] M. T. Kristensen, T. Bandholm, B. Holm, C. Ekdahl, H. Kehlet, “Timed Up & Go test score in patients with hip fracture is related to the type of walking aid”, *Arch Phys Rehabil*, Vol. 90, 1760 – 1765, 2009.

[10] J. M. Bland, D. G. Altman, “Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement”, *The Lancet*, 307 – 310, 1986.

[11] C. Caspersen, P. A. Berthelsen, M. Eik, C. Pákozdi, P. L. Kjendlie, “Added mass in human swimmers: age and gender differences”, *Journal of Biomechanics*, Vol. 43, 2369 – 2373, 2010.