



Universidade do Porto
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

Monografia

**CUSTO ENERGÉTICO E VARIAÇÃO INTRACÍCLICA DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO DO CENTRO DE MASSA NA TÉCNICA DE BRUÇOS**

Francisco José Martins Lima

Porto, Maio de 2005



Universidade do Porto
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

Monografia

**CUSTO ENERGÉTICO E VARIAÇÃO INTRACÍCLICA DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO DO CENTRO DE MASSA NA TÉCNICA DE BRUÇOS**

Monografia elaborada no âmbito da disciplina de seminário, na área de
Natação, da Opção Complementar de desporto de rendimento, do 5º ano da
Licenciatura em Desporto e Educação Física da FCDEF-UP

Orientador: Prof. Doutor João Paulo Vilas-Boas
Co-Orientador: Mestre Ricardo Fernandes
Autor: Francisco José Martins Lima

Porto, Maio de 2005

Aos meus Pais...

À Ana...

Agradecimentos

Dada a complexidade de um trabalho monográfico é perfeitamente compreensível que o aluno que o realiza só o consiga contando com a intervenção e ajuda de terceiros. Desta forma, é importante destacar e agradecer às pessoas que tornaram possível esta monografia e que fizeram deste também o seu trabalho. Desde já aproveito para agradecer e pedir desculpa a todas as pessoas ou entidades que de alguma maneira participaram neste trabalho, mas que por lapso aqui não lhes faço referência.

Assim, gostaria de começar por agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas e ao meu co-orientador, o Mestre Ricardo Fernandes, pelo tempo disponibilizado na orientação deste trabalho monográfico e pelo apoio motivante e exigente, entendido como uma constante procura de uma investigação de qualidade.

A par com os meus orientadores de monografia desejava destacar o Eng. Pedro Gonçalves como uma das pessoas mais importantes nesta realização. Agradeço-lhe de forma muito sentida, a clareza e boa disposição nas noites dispendidas no esclarecimento de dúvidas da mais variada natureza: análise de vídeo, tratamento e interpretação estatística, entre outras.

O Dr. Lima teve também um papel de destaque no que diz respeito ao arranque da monografia, nomeadamente no tratamento das imagens de vídeo. Foi, sem dúvida, um elemento encorajador e sempre pronto a ajudar.

Nesta questão não poderia esquecer os meus companheiros de tema de trabalho, a Ana, o Queirós e a Ana Balonas pela entre-ajuda revelada, principalmente, no tratamento dos dados biomecânicos. De igual forma, gostaria de agradecer à Vera pela ajuda prestada no tratamento dos dados bioenergéticos.

Queria agradecer ao Filipe Múrias, o meu companheiro das aulas de Natação, pela compreensão, boa disposição e sempre boa vontade na compensação dos meus atrasos e faltas, impostos quer pela realização da monografia, quer pelas tarefas de estágio.

Agradeço também às 3 pessoas com quem mais convivi este ano, o Vítor e os meus colegas de estágio pedagógico, pela cooperação demonstrada durante todas as tarefas no âmbito do estágio. A compreensão de que o 5º ano da licenciatura não se restringe ao estágio foi fundamental para que eu conseguisse concluir esta monografia.

De forma muito especial agradeço à Ana pela ajuda, motivação, generosidade e dedicação que me ofereceu ao longo deste ano, aproveitando para lhe pedir desculpa se porventura em determinado momento não fui capaz de lhe retribuir de igual modo.

Obviamente que não poderia deixar de agradecer à minha família, em particular aos meus Pais, pela confiança, orgulho, incentivo, responsabilidade e serenidade que me transmitiram, não apenas durante a realização deste trabalho, mas ao longo de toda a minha licenciatura. Sem eles tudo seria mais difícil.

Índice Geral

Agradecimentos	IV
Índice Geral	VI
Índice de Quadros	VIII
Índice de Figuras	IX
Resumo	X
Abstract	XI
Resumé	XII
Abreviaturas e símbolos	XIII
1. Introdução	1
2. Revisão da literatura	3
2.1. Variação Intracíclica da Velocidade de nado	3
2.1.1. Enquadramento teórico	3
2.1.2. Influência da Variação Intracíclica da Velocidade de nado na performance do nadador	4
2.2 Economia de nado	5
2.2.1. Custo Energético	5
2.3. A técnica de Bruços	8
2.3.1. Variação Intracíclica da Velocidade de nado na técnica de Bruços ..	8
2.3.2. Custo Energético na técnica de Bruços	9
2.4. Relação entre Variação Intracíclica da Velocidade de nado e Custo Energético	10
3. Objectivos e Hipóteses	13
3.1. Objectivos	13

3.2. Hipóteses.....	13
4. Metodologia.....	14
4.1. Caracterização da Amostra	14
4.2. Material e Métodos	14
4.2.1. Dados Biomecânicos.....	16
4.2.2. Dados Bioenergéticos	17
4.2.3. Tratamento Estatístico	19
5. Apresentação dos resultados	20
5.1. Relação entre a Variação Intracíclica da Velocidade de nado e a Velocidade de nado	21
5.2. Relação entre o Dispendio Energético e a Velocidade de nado	23
5.2.1. Linear	23
5.2.2. Exponencial.....	25
5.3. Relação entre o Custo Energético e a Variação Intracíclica da Velocidade de nado	27
6. Discussão dos resultados.....	30
7. Conclusão	34
8. Bibliografia.....	35

Índice de Quadros

Quadro 1. Síntese dos estudos da relação entre dV e o C em NPD.....	12
Quadro 2. Caracterização da amostra	14
Quadro 3. Estatística descritiva (médias e desvios-padrão) relativa à V, dV, C e Ê, por patamar, em termos individuais e médios amostrais	20
Quadro 4. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre a dV e a V, individuais e médios	21
Quadro 5. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre o Ê e a V, individuais e médios	23
Quadro 6. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre o Ê e a V^3 , individuais e médios	25
Quadro 7. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre o C e a dV, individuais e médios	27
Quadro 8. Valores do coeficiente de correlação parcial (r) e de determinação (r^2) entre o C e a dV, individuais e médios, utilizando como factor de controlo a V.....	29

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo antropométrico biomecânico (baseado em de Leva, 1996) ..	17
Figura 2. Relação entre a dV e a V para a média amostral.....	21
Figura 3. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #1	22
Figura 4. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #2	22
Figura 5. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #3	22
Figura 6. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #4	22
Figura 7. Relação entre o $\dot{E}$ e a V para a média amostral.....	23
Figura 8. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #1	24
Figura 9. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #2	24
Figura 10. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #3	24
Figura 11. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #4	24
Figura 12. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 para a média amostral	25
Figura 13. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #1.....	26
Figura 14. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #2.....	26
Figura 15. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #3.....	26
Figura 16. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #4.....	26
Figura 17. Relação entre o C e a dV para a média amostral	27
Figura 18. Relação entre o C e a dV para o sujeito #1.....	28
Figura 19. Relação entre o C e a dV para o sujeito #2.....	28
Figura 20. Relação entre o C e a dV para o sujeito #3.....	28
Figura 21. Relação entre o C e a dV para o sujeito #4.....	28

Resumo

O objectivo do presente estudo foi analisar a relação entre a variação intracíclica da velocidade de nado (dV) e o custo energético (C), na técnica de bruços. A amostra foi constituída por 4 sujeitos, 2 de cada género, sendo 3 deles de nível de selecção nacional e o restante de nível nacional. Os nadadores, especialistas na técnica de bruços, realizaram um protocolo incremental e intermitente, no qual foram mensurados variáveis biomecânicas e bioenergéticas. A realização do teste foi filmada, em plano sagital, por duas câmaras, uma acima e outra abaixo da superfície da água, produzindo, após edição, imagens de duplo-meio. Utilizando o programa de análise de vídeo *APAS System* (Ariel Dynamics Inc, USA), foi calculada a dV do centro de massa (CM), de ciclos gestuais intermédios, em cada patamar. O consumo de oxigénio foi medido respiração a respiração, utilizando um analisador de gases portátil (K4 b², Cosmed, Itália), que se encontrada ligado aos nadadores através de uma máscara e uma válvula respiratória de baixa resistência hidrodinâmica. Foram ainda recolhidas amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha, antes e após cada patamar do protocolo, para serem analisadas as concentrações sanguíneas de lactato (YSI 1500L Sport, Ohio, USA). Foram calculados o dispêndio energético ($\dot{E}$) e o C para cada estadio de intensidade. Os resultados encontrados revelaram que: i) a dV diminuiu com a velocidade de nado (V) existindo um coeficiente de correlação estatisticamente significativo entre as variáveis ($r^2=0.394$, $p\leq 0.01$); ii) o $\dot{E}$ aumenta exponencialmente com a V , apresentando, esta relação, valores estatisticamente significativos ($r^2=0.816$, $p\leq 0.001$); e, iii) apesar de ser evidente a tendência do C diminuir com o aumento da dV , apenas se encontraram resultados estatisticamente significativos em termos individuais. Foi concluído que a dV tem uma influência reduzida no C durante o nado, sendo a V o principal factor condicionador desta última variável.

Palavras-chave: Natação Pura Desportiva, bruços, variação intracíclica da velocidade de nado, custo energético, centro de massa

Abstract

The purpose of the present study was to analyse the relation between the intracycle variation of the swimming velocity (dV) and the energetic cost (C), in breaststroke. The sample was composed by 4 subjects, two of each gender, participating three of them in the national portuguese team, and the other one of national level. The swimmers, specialists in breaststroke, performed an incremental and intermittent protocol, where it was measured biomechanics and bioenergetics variables. The test was videotaped, in sagital plane, with two cameras, one above and other under the water surface, providing, after edition, a dual projection of the swimmer. The program *APAS System* (Ariel Dynamics Inc, USA) was used to calculated the dV of the centre of mass (CM), of middle stroke cycles, in each set. The oxygen consumption was measured breath by breath, by a portable gas analyser (K4 b², Cosmed, Italy), that was connected to the swimmers by a respiratory snorkel and valve system with low hydrodynamic resistance. Capillary blood samples were collected from the ear lobe, before and after each set to analyse the blood lactate concentration (YSI 1500L Sport, Ohio, USA). The energy expenditure ($\dot{E}$) and C were calculated for each set. The obtained results showed that: i) dV decrease with velocity of swimming (V), presenting a significant statistical correlation coefficient, between the variables ($r^2=0.394$, $p\leq 0.01$); ii) $\dot{E}$ increase exponentially with the increasing of V , presenting, this relation, significant statistical values ($r^2=0.816$, $p\leq 0.001$); and, iii) although it was evident that C decrease with the increasing of dV , results only were statistical relevant with an individual approach. It was concluded that, during the swim, the dV has a small influence in C , being V the main influencing factor to this last variable.

Keywords: Swimming, breaststroke, intracyclic variation of the velocity, energetic cost, centre of mass

Resumé

L'objectif de la présente étude était d'analyser la relation entre la variation d'intracycle de la vitesse de nage (dV) et le coût énergétique (C), dans la brasse. L'échantillon s'est composé par 4 sujets, deux de chaque genre, trois participants d'entre eux dans la sélection portugaise nationale, et les autres du niveau national. Les nageurs, spécialistes dans la brasse, ont exécuté un protocole progressif et intermittent, où c'était des variables mesurées de biomécanique et de bioénergétique. L'essai a été enregistré en vidéo, dans le plan sagittal, avec deux appareils-photo, un ci-dessus et autre sous la surface de l'eau, fournissant, après édition, une projection duelle. Le système du programme APAS (Ariel Dynamics Inc, Etats-Unis) a été employé à a calculé le dV du centre de la masse (CM), des cycles moyens de course, dans chaque ensemble. La consommation de l'oxygène était mesuré de la respiration la respiration, par un analyseur portatif de gaz (K4 b², Cosmed, Italie), qui a été relié aux nageurs par une masque et valve respiratoire à la basse résistance hydrodynamique. Des échantillons capillaires de sang ont été rassemblés du lobe d'oreille, avant et après chaque ensemble pour analyser la concentration de lactate sanguin (YSI 1500L Sport, Ohio, Etats-Unis). La dépense énergétique ($\dot{E}$) et C ont été calculés pour chaque ensemble. Les résultats obtenus ont révélé: i) diminution de dV avec la vitesse de nage (v), présentant un coefficient de corrélation statistiquement significatif entre les variables ($r^2=0.394$, $p\leq 0.01$); ii) $\dot{E}$ a augmenté exponentiellement avec l'augmentation de V , présentant, cette relation, valeurs statistiquement significatives ($r^2=0.816$, $p\leq 0.001$); et, iii) malgré d'être évident la diminution de C avec l'augmentation du dV , seulement il se sont trouvés des résultats statistiquement significatifs dans une approche individuelle. On l'a conclu que, pendant le nage, le dV a une réduite influence en C , étant à V le principal facteur conditionnant de cette dernière variable.

Mots-clé: Natation, brasse, variation intracyclique de la vitesse, coût énergétique, centre de la masse

Abreviaturas e símbolos

NPD – Natação Pura Desportiva

V – Velocidade

dV – Variação intracíclica da velocidade de nado

P – Forças propulsivas

D – Forças de arrasto hidrodinâmico

W – Trabalho

C – Custo energético

S – Área de secção máxima do corpo, transversal ao movimento da força

e_{pt} – Eficiência propulsiva total

$\dot{E}$ – Dispendio energético

[La] – Lactatemia

VO₂ – Volume de oxigénio consumido

CM – Centro de massa corporal

dp – desvio-padrão

FC – Frequência cardíaca

r – Coeficiente de correlação

r^2 – Coeficiente de determinação

1. Introdução

Numa competição de Natação Pura Desportiva (NPD) o objectivo principal é alcançar a máxima velocidade (V) numa determinada distância (Nigg, 1983).

Contudo, a V de nado não é constante, quer durante as provas, quer mesmo durante cada ciclo gestual, isto é, existe uma variação da V de nado também com expressão intracíclica (dV). Esta variação deve-se fundamentalmente ao facto de a V de nado ser a expressão cinemática das forças propulsivas (P) e das forças de arrasto (D), uma vez que estas mudam periodicamente (Fujishima et al., 1999; Buckwitz et al., 2003).

As P não se mantêm constantes porque os membros superiores e inferiores, entendidos como os segmentos motores do nadador, não se movimentam a uma V constante, nem se posicionam sempre com a mesma orientação, o que consequentemente se traduzirá numa frequente alteração da propulsão gerada. Já D sofre igualmente alterações, na medida em que é proporcional ao quadrado da V de deslocamento do nadador (Nigg, 1983).

A expressão da dV é esperadamente distinta nas quatro técnicas de nado. Ela é superior nas técnicas simultâneas, pois existe uma maior descontinuidade das acções propulsivas (Holmér, 1983; Nigg 1983). Quando comparamos as duas técnicas simultâneas, a técnica de Bruços parece ser a mais descontínua e, como tal, a técnica na qual se observa maior dV (McElroy e Blanksby, 1976; Maglischo et al., 1989; Costill et al., 1992).

A dV repercute-se num aumento do trabalho (W) realizado pelo nadador para vencer a inércia e o D (Nigg, 1983; D'Acquisto et al., 1998). Isto é, para manter a mesma V média, o nadador necessita de dispendir uma quantidade suplementar de energia (Vilas-Boas, 1996b). Como tal, ocorre um aumento do custo energético (C), sendo este considerado como a quantidade de energia gasta por unidade de distância (di Prampero, 1986; Vilas-Boas, 1996b).

Está, desta forma, descrito na literatura que a dV poderá ser considerada como uma medida da eficiência propulsiva de nado, influenciando

directamente a performance individual do nadador (Barthels e Adrian, 1975; Kornecki e Bober, 1978; Vilas-Boas, 1996b).

No entanto, parecendo lógico que uma redução da dV , por traduzir uma melhor adequação mecânica da técnica de nado, provocará uma redução do C , a relação entre estes dois conceitos não está perfeitamente clarificada na literatura. Aliás, embora se encontre frequentemente na literatura estudos que analisem os diferentes estilos de nado, em termos biomecânicos ou em termos bioenergéticos, investigações que combinem estes dois tipos de parâmetros são mais raras (Barbosa et al. 2005).

Dos reduzidos estudos efectuados na área Biofísica (Biomecânica + Bioenergética) encontrados na literatura, os de Alves et al. (1996) e Vilas-Boas (1996b) datam já cerca de 10 anos e analisaram, respectivamente, as técnicas de crol e costas e a técnica de bruços, utilizando uma metodologia relativamente distinta da nossa. Já mais recentemente, Barbosa et al. (2005) realizaram este tipo de análise, porém, na técnica de mariposa. Nos referidos estudos foram obtidos resultados não muito óbvios e nem sempre reveladores de uma eventual relação entre a dV de nado e o C .

Assim, neste estudo procurar-se-á clarificar a relação entre estes dois conceitos, no que diz respeito ao seu tipo, valor e importância.

2. Revisão da literatura

2.1. Variação Intracíclica da Velocidade de nado

2.1.1. Enquadramento teórico

O sucesso numa competição de NPD é baseado no tempo que um nadador necessita para percorrer, no meio aquático, diferentes distâncias utilizando uma técnica, ou uma combinação de técnicas de nado. Se ignorarmos as partidas e as viragens, o tempo dispendido no cumprimento de determinada distância pode ser expresso em V de nado (Termin e Pendergast, 2000).

Porém, a V de deslocamento durante uma prova de NPD não é constante. Ela varia não só ao longo da prova, mas igualmente em cada ciclo gestual, isto é, ocorre uma dV . A dV , é por definição, a alteração que se assiste na V de deslocamento, durante cada ciclo gestual, numa determinada técnica de nado (Nigg, 1983; Fujishima et al., 1999; Buckwitz et al., 2003).

Para Fujishima et al. (1999) e Buckwitz et al. (2003) a dV é consequência da resultante de forças gerada durante a propulsão, sendo a sua alteração causada pela variação das P e de D que mudam periodicamente durante o nado.

O corpo do nadador não se desloca a uma V constante, uma vez que os segmentos propulsores não se comportam exactamente como motores de uma máquina e como tal, alteram continuamente o seu movimento (Nigg, 1983). Barbosa et al. (2005) acrescenta que sendo as acções dos membros superiores, membros inferiores e do tronco, necessárias para gerar propulsão, estas são responsáveis pela variação da V, em cada ciclo gestual.

À semelhança das P, também D influenciam dV e igualmente não se mantêm constantes durante o nado. Podemos observar na expressão (1) que existem vários factores que determinam as D.

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

Legenda: D – Força de arrasto hidrodinâmico; ρ – Massa específica da água; C_D – Coeficiente de arrasto; V – Velocidade de deslocamento; S – Área de secção máxima do corpo, transversal à direcção da força.

Porém, à excepção de dois desses factores, todos os outros se mantêm inalteráveis durante uma prova de NPD. De facto, apenas a V e a área de secção máxima do corpo transversal à direcção do força (S) se alteram durante a prova, sendo necessariamente as responsáveis pela variação das D (Schleihau, 1979; Costill et al., 1992; Maglischo, 1993). Enquanto que a variação da V, tal como foi evidenciado acima, é consequência da inconstância da V dos movimentos dos membros e do tronco, a alteração de S é causada pela mudança periódica da posição do corpo em geral, como resposta à necessidade de gerar a maior propulsão possível (Costill et al., 1992; Maglischo, 1993). Todavia, a variação da S pode ser igualmente causada por diferentes interpretações ou incorrecções nas execuções das diferentes técnicas de nado.

2.1.2. Influência da Variação Intracíclica da Velocidade de nado na performance do nadador

Sendo a dV consequência dos factores anteriormente expostos, ela própria produz inevitavelmente efeitos na performance do nadador.

Nigg (1993) demonstra que por cada alteração da V de nado ocorre um aumento da quantidade de W que o nadador necessita de realizar. Consilman (1981) e Vilas-Boas (1997) explicam o fenómeno da seguinte forma: à semelhança das restantes formas de locomoção humana, o nado consiste num movimento gerado por uma sucessão de impulsos; desde que um impulso termina até se iniciar o seguinte, o corpo é desacelerado devido às D; desta forma, o nadador necessita de sistematicamente realizar W para reacelerar a sua massa. O nadador é obrigado, assim, a dispendir uma quantidade de energia extra para vencer as forças inerciais.

Este aumento do *output* energético, provocado pela dV, reflecte-se numa diminuição da economia motora de nado e consequentemente na performance do nadador. (Vilas-Boas, 1996b). Observando o fenómeno de forma inversa, será consumida uma quantidade de energia menor se, para uma mesma V média, ocorrer uma menor dV. Logo, a dV dá-nos um indicador da eficiência de nado (Barthels e Adrian, 1975; Kornecki e Bober, 1978; Mason et al., 1989; Vilas-Boas, 1996b).

2.2 Economia de nado

A economia de nado é considerada como um dos principais factores determinantes da performance em NPD (van Handel et al., 1988; Chatard et al., 1990; Smith et al., 2002). Vilas-Boas (1996a) inventariou cerca de meia centena de estudos a este respeito. Esta quantidade de investigações prende-se com a sua significação motora, uma vez que, constituindo a economia de nado um parâmetro eminentemente fisiológico, é especialmente sensível às alterações das variáveis biomecânicas. Então, a economia de nado é um dos parâmetros mais informativos na avaliação e controlo do treino em NPD, nomeadamente porque: (i) permite estimar o percentual de participação energética aeróbia e anaeróbia em diferentes distâncias de nado (Troup, 1992a, b) e (ii) permite avaliar quantitativamente o nível de adequação mecânica global do gesto técnico (Pendergast et al., 1977).

Desde a década de 70 que, para a mensuração da economia de nado é aceite a utilização do C (Fernandes et al., submetido a publicação).

2.2.1. Custo Energético

O C é definido por di Prampero (1986) como a quantidade de energia, acima do valor de repouso, gasta por unidade de distância.

A sua relação com a performance em NPD é evidenciada pelas expressões (2), (3) e (4). A expressão (2) é descrita como a equação geral da performance do nadador e foi desenvolvida teoricamente em vários estudos

durante os finais da década de 70 e inícios da década de 80 (Vilas-Boas, 2000). Já a igualdade demonstrada na expressão (3), escrita com base na anterior, reflecte o C de nado a uma dada V, crescendo este com a D e diminuindo com a eficiência mecânica propulsiva total (e_{pt}). Esta igualdade foi verificada experimentalmente por Pendergast et al. (1977).

A economia de nado, ou o C, seu inverso, constituem então um indicador global para a avaliação do nível de adequação mecânica da técnica de nado (Vilas-Boas, 2000).

$$(2) \quad V = \dot{E} (e_{pt} / D)$$

$$(3) \quad D / e_{pt} = \dot{E} / V$$

$$(4) \quad C = \dot{E} / V$$

Legenda: V – Velocidade; $\dot{E}$ – Dispendio energético; e_{pt} – Eficiência mecânica propulsiva total; D – Força de arrasto hidrodinâmico C – Custo energético.

Finalmente, na expressão (4) vemos que o C é directamente proporcional ao dispendio energético ($\dot{E}$) e inversamente proporcional à V. Porém, o tipo de proporcionalidade ente o *output* energético e a V não reúne consenso na literatura da especialidade, uma vez que existem estudos de defendem uma relação linear, bem como existem outros que defendem uma relação exponencial (Fernandes et al., submetido a publicação).

Em termos teóricos é esperado que esta relação seja exponencial, uma vez que o $\dot{E}$ é proporcional à potência, sendo esta igual ao produto entre o D e a V. Ou seja, o $\dot{E}$ é uma função da V^3 . No entanto, segundo Lavoie e Montpetit (1986), nos estudos onde se observa uma relação exponencial, apresentam incorrecções metodológicas, como por exemplo o cálculo do $\dot{E}$, apenas com base na contribuição metabólica aeróbia para a energia consumida durante o nado. Nos estudos onde é encontrada uma relação linear entre o $\dot{E}$ e a V de nado, é sugerido como fundamento para este tipo de relação, um aumento da eficiência de nado com o aumento da V (Alves et al., 1996; Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2005).

Numa revisão realizada por Fernandes et al. (submetido a publicação), parece estar bem patente na literatura a existência de alguns factores que

influenciam o C, nomeadamente: o estilo de nado, nível desportivo do nadador, género e idade. A este respeito, Montpetit et al. (1983) referem que os nadadores mais jovens, treinados, são mais económicos que os de elite, especialmente os do género feminino. Isto poderá ser explicado pelo facto do C ser influenciado pelo D e pelo peso, os quais, por razões antropométricas, se esperam inferiores nos nadadores mais jovens. Pendergast et al. (1978) e di Prampero (1986) acrescentam ainda que os nadadores de nível desportivo mais elevado são, para uma determinada V, mais económicos do que os nadadores de nível desportivo inferior. Este facto salienta a importância do melhoramento da técnica de nado para a performance desportiva em NPD.

O mesmo autor refere ainda que as nadadoras são mais económicas do que os nadadores, sendo isto devido a uma distinta distribuição da densidade corporal verificada entre géneros.

O corpo humano quando colocado horizontalmente em meio aquático é sujeito a uma força de rotação, uma vez que: (i) o tronco tende a flutuar, fundamentalmente pela existência nele de grandes estruturas cavitárias e dos pulmões, havendo por isso uma baixa incidência de tecido ósseo e muscular; (ii) os membros superiores, mas principalmente os inferiores, pelo contrário tendem a imergir, pois sendo segmentos motores, são constituídos essencialmente por tecido ósseo e muscular, o que se repercute de forma evidente na sua elevada densidade. Contudo, o género feminino, comparativamente com o género masculino, apresenta, em média, uma acumulação de massa gorda superior na região glútea e das ancas, bem como membros inferiores mais pequenos e com uma menor quantidade de massa muscular.

Sabendo que a massa gorda é menos densa que a água e que o tecido muscular e ósseo, por sua vez, são mais densos, o sexo feminino está sujeito a uma menor força de rotação. Tendo em conta que os nadadores gastam parte da energia para vencer esta força de rotação, com o intuito de manter o corpo numa posição horizontal, obviamente mais favorável, facilmente se compreende que, as nadadoras apresentem valores de C mais baixos quando

comparadas com indivíduos de igual nível desportivo, mas do género oposto (Pendergast et al., 1978; Hay, 1980; di Parmpero, 1986).

Ainda assim, Costill et al. (1992) referem que, apesar do C ser dependente das dimensões corporais e da flutuabilidade, a aplicação efectiva de forças sobre a massa da água é o principal factor determinante da economia de nado em NPD.

2.3. A técnica de Bruços

Neste ponto iremos salientar e fundamentar alguns aspectos específicos desta técnica no que concerne à dV e ao C.

2.3.1. Variação Intracíclica da Velocidade de nado na técnica de Bruços

De acordo com o anteriormente exposto, a dV está intimamente ligada à variação da V e da S. Ora estes dois parâmetros variam claramente consoante o estilo de nado em questão. Cada técnica de nado apresenta uma variação de V e uma posição específica na água, o que levará obrigatoriamente a que diferentes estilos de nado possuam diferentes dV.

Efectivamente, podemos agrupar as quatro técnicas de nado em dois grupos, as técnicas simultâneas e as alternadas. Por definição, as técnicas alternadas são “contínuas”, enquanto que as simultâneas “descontínuas”.

A descontinuidade característica das técnicas de nado bruços e mariposa, diz respeito às possibilidades de manutenção no tempo, da produção e aplicação das P e decorre directamente da sua simultaneidade. De facto, por imposições regulamentares, as acções segmentares contra-laterais têm de ser realizadas simultaneamente, o que consequentemente levará a que, após fases propulsivas, ocorra um momento de frenagem devido à ausência de P e à manutenção do D. Esta descontinuidade evidente leva a que as técnicas simultâneas possuam, naturalmente, uma dV superior às técnicas alternadas (Holmér, 1983; Nigg 1983).

Nigg (1983) especifica que as diferenças observadas entre a V média de competição entre o bruços e as restantes técnicas de nado, são parcialmente atribuídas à menor constância da V , imposta pelas suas características técnicas. Parece então que o bruços é a técnica de nado mais lenta, pois embora neste estilo os nadadores consigam gerar, comparativamente com os restantes estilos, mais força durante as fases propulsivas, eles são igualmente mais frenados aquando da recuperação dos membros inferiores para a realização da pernada (McElroy e Blanksby, 1976; Costill et al., 1992).

2.3.2. Custo Energético na técnica de Bruços

O C , à semelhança da dV , é influenciado pelo estilo de nado utilizado, pois para uma mesma V , cada técnica de nado terá um C distinto, de acordo com a sua especificidade. Também neste domínio as técnicas descontínuas apresentam valores superiores (Holmér, 1974, 1983; Nigg 1983). Contudo, no que diz respeito à hierarquização das técnicas em termos de economia, embora seja claro que as menos económicas são as simultâneas, a ordenação destas parece difícil e controversa (Vilas-Boas, 1997). Mesmo assim, Maglischo et al. (1989) provam experimentalmente que o bruços é a técnica de nado que apresenta uma maior dV de deslocamento horizontal.

Bóie e Montpetit (1985), referem que para a técnica de bruços, as dimensões corporais (o peso, a altura e superfície corporal) são os factores que mais afectam o $\dot{E}$. Os mesmos autores, bem como Vilas-Boas (1993), referem que na técnica de bruços, o $\dot{E}$ varia linearmente com a velocidade de nado.

Vilas-Boas (1993) conclui ainda que, a economia de nado varia de indivíduo para indivíduo, sendo superior para os nadadores de melhor nível desportivo. Contrariando o referido acerca das diferenças entre géneros, o mesmo autor conclui ainda que não parecem existir diferenças inter-sexuais de economia de nado na técnica de bruços.

2.4. Relação entre Variação Intracíclica da Velocidade de nado e Custo Energético

Embora na literatura se encontre com relativa facilidade estudos que analisam os diferentes estilos de nado, quer em termos biomecânicos, quer em termos bioenergéticos, análises que combinem as duas áreas, são mais raras (Barbosa et al., 2005). Aliás, os três estudos biofísicos que encontramos na literatura são de autores portugueses.

Alves et al. (1996) estudaram a relação entre a dV da anca e o C nas técnicas alternadas, crol e costas. Para tal, utilizaram uma amostra de 12 nadadores de bom nível, com uma média de idades de 17.8 ± 1.8 anos, uma média de alturas de 178.5 ± 6.1 cm e uma média de massa corporal de 67.6 ± 6.6 kg.

O protocolo realizado consistiu em 3x300m submaximais de intensidade progressiva (65%, 75% e 85%) e 1x400 m a uma intensidade máxima. Os dados ventilatórios foram recolhidos utilizando um saco de *Douglas* e examinados num analisador de gases electrónico (Erich Jaeger, Alemanha). Foram recolhidas amostras de sangue arterial no final do último patamar, para análise da lactatemia ($[La^-]$). Para controlar a V de nado foi utilizado um *pacer* luminoso.

Os dados biomecânicos foram recolhidos através de uma câmara subaquática e posteriormente foi analisado o deslocamento da anca, utilizando um sistema de análise de vídeo. Os resultados obtidos revelaram valores estatisticamente significativos de correlação entre a dV da anca e o C, mas apenas na técnica de costas e a baixas velocidades (1.1 ms^{-1} e 1.2 ms^{-1}). No crol não foram encontradas relações estatisticamente significativas.

No mesmo ano Vilas-Boas (1996b) realizou uma análise idêntica na técnica de Bruços. A amostra utilizada foi constituída por 13 sujeitos de nível nacional. A média de idades foi de 15.8 ± 2.17 anos, a média de alturas foi de 167.7 ± 7.64 cm e a média de massa corporal foi de 59.2 ± 9.37 kg.

Foi realizado um protocolo triangular de 3x200m, com 30 minutos de repouso entre patamares, sendo dois dos patamares realizados a V submaximais e o terceiro a uma intensidade máxima.

O consumo de oxigénio (VO_2) foi medido directamente através de um oxímetro (Sensormedics 2900). Para doseamento da $[\text{La}^-]$, foram recolhidas amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha em repouso e ao 1º, 3º, 5º, 7º e 10º minutos de recuperação. O C foi calculado utilizando a metodologia descrita por di Prampero et al. (1978). Os dados biomecânicos foram obtidos através do método foto-opticométrico das luzes tracejantes intermitentes. Não foram obtidos resultados estatisticamente significativos para os valores médios amostrais. Contudo, uma abordagem individual revelou uma elevada correlação entre a dV da anca e o C na técnica de Bruços.

Mais recentemente, Barbosa et al. (2005) efectuaram uma nova abordagem biofísica, mas agora, procurando clarificar a relação entre a dV do centro de massa (CM) e o C, na técnica de Mariposa. A sua amostra foi constituída por 5 nadadores de nível nacional, com uma média de idades de 16.6 ± 2.6 anos, uma média de alturas de 166.0 ± 13.6 cm e uma média de massa corporal de 61.2 ± 9.7 kg.

Como protocolo foram efectuados 3x200m, 2 patamares submaxmais (75% e 85%) e um realizado a uma intensidade máxima, sendo que entre cada patamar eram concedidos 30 minutos de repouso. Para controlar a V foi utilizado um pacer luminoso. Os dados ventilatórios foram recolhidos *breath-by-breath*, utilizando um analisador de gases portátil (K4 b², Cosmed, Itália). À semelhança do estudo anterior, para mensurar a $[\text{La}^-]$, foram recolhidas amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha, em repouso e ao minuto 1, 3, 5 e 7 após cada patamar. O C foi calculado de acordo com os procedimentos descritos por di Prampero et al. (1978).

Os dados biomecânicos foram recolhidos através de duas câmaras, uma acima e outra abaixo da superfície da água, sendo as duas imagens sincronizadas numa mesa de mistura e posteriormente analisadas utilizando um sistema de análise de vídeo (APAS system, Ariel Dynamics, USA). Os

autores obtiveram resultados estatisticamente significativos de correlação entre a dV do CM e o C na técnica de mariposa.

Como podemos reparar pelo acima exposto e pela síntese efectuada no Quadro 1, para além dos estudos que relacionem a dV com o C em NPD serem escassos, apresentam resultados que nem sempre evidenciam esta relação.

Quadro 1. Síntese dos estudos da relação entre dV e o C em NPD

Autor(es)	Ano	Técnica de nado	Resultados
Alves et al.	1996	crol e costas	Valores estatisticamente significativos na técnica de Costas a baixa V
Vilas-Boas	1996	bruços	Correlações significativas quando analisados individualmente
Barbosa et al.	2005	mariposa	Resultados estaticamente significativos

3. Objectivos e Hipóteses

3.1. Objectivos

O objectivo deste estudo consiste em analisar a relação existente entre o C e a dV, na técnica de braços. Os objectivos específicos ou intermédios traçados são:

- i) analisar a relação entre a dV e a V de nado, em termos individuais;
- ii) analisar a relação entre a dV e a V de nado, em termos médios amostrais;
- iii) analisar a relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado, em termos individuais;
- iv) analisar a relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado, em termos médios amostrais.

3.2. Hipóteses

Tendo em conta a revisão da literatura efectuada colocamos as seguintes hipóteses para os objectivos formulados:

- i) existe uma relação positiva entre o C e a dV;
- ii) existe uma relação negativa entre a dV e a V de nado;
- iii) existe uma relação positiva entre o $\dot{E}$ e a V de nado, sendo esta linear.

4. Metodologia

4.1. Caracterização da Amostra

A amostra utilizada no nosso estudo foi constituída por 4 sujeitos, com especialidade de nado na técnica de bruços, dos quais 3 de nível de selecção nacional absoluta e 1 de nível nacional (Quadro 1).

Ainda no mesmo quadro, verificamos que, em termos de género, a amostra foi constituída por dois elementos masculinos com uma média de idades de 17.0 ± 0.0 anos, uma média de massa corporal 69.4 ± 2.0 kg e uma média de alturas 172.5 ± 3.5 cm. No diz respeito ao género feminino a nossa amostra conteve dois elementos, com uma média de idades de 17.5 ± 2.1 anos, uma média de massa corporal de 64.2 ± 4.2 kg e uma média de alturas de 167.0 ± 7.1 cm.

Quadro 2. Caracterização da amostra

Sujeito	Nível competitivo	Género	Idade (anos)	Massa (kg)	Altura (cm)
#1	Seleccção Nacional	Masculino	17	70.8	175
#2	Seleccção Nacional	Masculino	17	68.0	170
#3	Nacional	Feminino	19	67.2	172
#4	Seleccção Nacional	Feminino	16	61.2	162
Média $\pm$ dp		Masculino	17.0 ± 0.0	69.4 ± 2.0	172.5 ± 3.5
		Feminino	17.5 ± 2.1	64.2 ± 4.2	167.0 ± 7.1

4.2. Material e Métodos

Todos os nadadores que constituíram a nossa amostra foram informados do intuito e dos procedimentos a levar a cabo durante as avaliações, sendo a sua participação voluntária.

As sessões de aplicação do protocolo tiveram lugar numa piscina de 25m de comprimento, 12.50m de largura (6 pistas) e 2.00m de profundidade. A piscina era coberta e aquecida, com uma variação da temperatura da água entre os 27°C e os 27.5°C.

Antes da realização do protocolo foi medida a altura, a massa e a composição corporal dos nadadores, utilizando respectivamente um antropómetro e uma balança de bioimpedância (Tanita). De igual forma, foram assinalados os principais pontos anatómicos (regiões cárpicas, olecrâneos, côndilos femorais e regiões tíbio-társicas), através da colocação duma fita adesiva de coloração contrastante com as demais cores, quer do nadador (corpo ou fato), quer da piscina. Foram ainda marcadas as duas articulações escapulo-umerais e os grandes trocanteres femorais com um marcador.

Foi colocado no nadador um cardiófrequencímetro (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) de modo a monitorizar a frequência cardíaca (FC).

O protocolo propriamente dito foi constituído por um teste incremental e intermitente, com 7 patamares de 200m, observando-se 30s de intervalo entre cada um dos patamares. O aumento de V entre estadios foi de 0.05ms^{-1} (Montpetit et al., 1988; Cardoso et al., 2003), sendo que a V inicial (do 1º patamar) foi estabelecida de acordo com o nível individual de performance de cada nadador e calculada através da subtracção de 7 incrementos de V ($7 \times 0.05\text{ms}^{-1}$) ao tempo que o nadador realizaria aos 200m bruços (Fernandes et al., 2003). A V de nado foi controlada com um *pacer* visual com luzes intermitentes (TAR. 1.1, GBK Electronics, Aveiro, Portugal), colocado no chão da piscina, na pista onde decorreu o teste.

O final do teste ocorria no patamar onde se atingissem os critérios de VO_2 máximo, considerando os critérios fisiológicos tradicionais, primários e secundários (Howley et al., 1995): (i) *plateau* VO_2 , não obstante o aumento da V ; e, (ii) $[\text{La}^-] \geq 8\text{mmol}^{-1}$, quociente respiratório ≥ 1.0 , $\text{FC} > 90\%$ da FC máxima, utilizando a expressão $220 - \text{idade}$ e através da exaustão observada (controlada visualmente e caso a caso).

Devido aos materiais utilizados no protocolo, as condições de nado eram especiais: i) as viragens deveriam ser abertas e sempre realizadas para o lado da parede mais próxima; e, ii) os primeiros patamares eram bastante lentos de maneira a que os nadadores se adaptassem às condições de nado específicas do protocolo.

A recolha dos dados biomecânicos e bioenergéticos foi realizada simultaneamente, embora de forma independente. Assim, de modo a especificar melhor os materiais e métodos de cada uma das áreas, eles serão apresentados separadamente.

4.2.1. Dados Biomecânicos

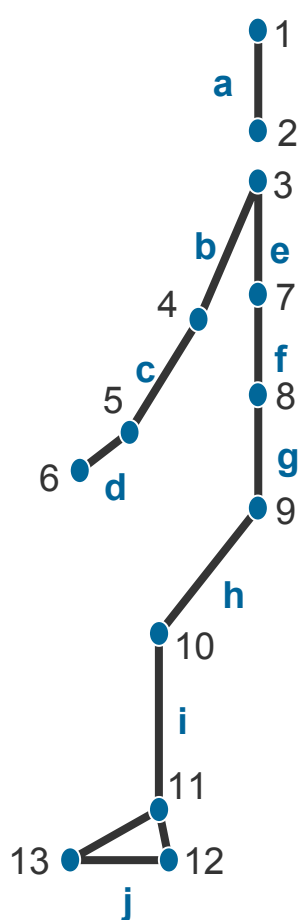
Relativamente à Biomecânica foram recolhidas imagens do protocolo, utilizando duas câmaras (JVC GR-SX1 e JVC GR-SXM 25 SVHS) em plano sagital, isto é, colocadas perpendicularmente à direcção de nado. Uma das câmaras captava imagens acima da superfície da água, enquanto que a outra captava imagens abaixo da superfície da água, obtendo-se assim uma dupla projecção do nadador.

As imagens provenientes das duas câmaras foram sincronizadas e editadas numa mesa de mistura (Panasonic Digital Mixer WJ-AVE55 VHS), de forma a criar imagens de duplo-meio (Vilas-Boas et al., 1997).

Para tratar biomecanicamente as imagens, foi utilizado um sistema de análise de vídeo, o APAS System (Ariel Dynamics Inc, USA) e um VCR (Panasonic AG 7355). De acordo com o propósito do nosso estudo, foram analisados 3 ciclos gestuais intermédios (100m, 125m e 150m) em cada patamar, uma vez que esperadamente nestes percursos quer a V de deslocamento, quer actividade bioenergética estaria mais estabilizada.

Para estudar a dV foi escolhido o CM e não a anca, pois nas técnicas de nado simultâneas, como é o caso do bruços, o movimento corporal provoca uma maior alteração da posição do CM. Consequentemente, a anca não descreve convenientemente as variações intracíclicas das variáveis cinemáticas do CM (Mason et al., 1992; Barbosa et al., 2003).

A captação das imagens foi realizada com uma frequência de amostragem de 50Hz, sendo esta frequência usada na sua digitalização. O modelo antropométrico biomecânico utilizado foi o modelo desenvolvido por Zatsiorsky, adaptado por de Leva (1996), com treze pontos anatômicos (figura 1) e tronco articulado, isto é, dividido em três porções. De acordo com o sugerido por Winter (1990) foi usado um filtro digital de 5Hz na análise da V horizontal do CM.



Pontos anatômicos: 1. Vértex; 2. Meato acústico da orelha; 3. Ombro; 4. Cotovelo; 5. Pulso; 6. Dactílio; 7. Apêndice xifóide; 8. Crista ilíaca; 9. Anca; 10. Joelho; 11. Tornozelo; 12. Calcâneo; 13. Hálux.

Segmentos anatômicos: a) Cabeça; b) Braço; c) Antebraço; d) Mão; e) Tronco superior; f) Tronco médio; g) Tronco inferior; h) Coxa; i) Perna; j) Pé.

Figura 1. Modelo antropométrico biomecânico (baseado em de Leva, 1996)

4.2.2. Dados Bioenergéticos

O VO_2 foi medido respiração a respiração, utilizando o analisador de gases portátil K4 b² (Breath by Breath Pulmonary Gas Exchange System, Cosmed, Itália), que se encontrava ligado ao nadador através de uma máscara que continha uma válvula respiratória específica para a natação (minimização

do D que poderia resultar da sua utilização), desenvolvida e validada por Toussaint et al. (1987), adaptada ao K4b² e validada por Keskinen et al. (2003). Este analisador de gases portátil permitia que, através de telemetria, os dados referentes à análise dos gases fossem enviados para uma unidade conectada a um computador pessoal, possibilitando a visualização e armazenamento dos resultados em tempo real.

Amostras de sangue capilar (25 µl) para o doseamento das concentrações de lactato, foram recolhidas do lóbulo da orelha em repouso, entre patamares e após o protocolo, aos minutos 1, 3, 5 e 7. Estas amostras foram examinadas num analisador da [La⁻] YSI 1500L Sport (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA), para se obter a curva da [La⁻].

Recorrendo à expressão (4), considerámos que o C corresponde à divisão do $\dot{E}$ pela V. Na expressão (5), apresentada e verificada por di Prampero et al. (1978), encontra-se explicada matematicamente a origem do $\dot{E}$. Estes procedimentos para o cálculo do C estão bem descritos na literatura (di Prampero et al., 1978; Vilas-Boas, 1993; Vilas-Boas, 1996b; Cruz, 2003; Fernandes et al., submetido a publicação).

$$(5) \quad \dot{E} = \text{VO}_2 \text{ máx} + 2.7 [\text{La}^-]$$

Legenda: $\dot{E}$ – Dispendio energético; VO_2 – Volume de oxigénio consumido; [La⁻] – Concentração de lactato sanguíneo.

Desta forma, foram calculados os valores do $\dot{E}$ de cada patamar através da adição dos valores *net* do VO_2 (diferença entre o valor médio do último minuto do patamar e o valor de repouso) com os valores resultantes da transformação da [La⁻] *net* (diferença entre o valor obtido no patamar e o valor do patamar anterior, sendo que no primeiro patamar se utiliza o valor de repouso) em equivalentes de O_2 . Esta transformação é conseguida através da multiplicação dos valores *net* da [La⁻] por um valor constante de 2.7 ml O_2 /kg, considerado como o equivalente energético de cada mmol $^{-1}$ de [La⁻] demonstrado por di Prampero et al. (1978) e verificado em sangue capilar por Thevelein et al. (1984). Neste procedimento, o contributo dos fosfatos de alta

energia foi considerado negligenciável (Vilas-Boas 1996b; Termin e Pendergast 2000).

Finalmente, o valor do C de cada patamar foi definido a partir da divisão do $\dot{E}$ e a respectiva V do teste incremental.

4.2.3. Tratamento Estatístico

O tratamento estatístico foi realizado utilizando o programa *Microsoft EXCEL* versão *XP*, para *Windows* e o programa *SPSS* versão *11.5*, para *Windows*.

Foi verificada a normalidade da distribuição da amostra através da realização do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*.

Em termos de estatística descritiva foram calculadas as médias e os desvios padrão das variáveis relevantes para o estudo. Foi ainda calculado o coeficiente de variação da V de deslocamento horizontal do CM, ao longo de cada ciclo gestual considerado.

Ao nível da estatística inferencial foram efectuadas regressões lineares entre as variáveis bioenergéticas e as variáveis biomecânicas, de forma a serem obtidos quer o coeficiente de correlação (r), quer o coeficiente de determinação (r^2). Foi ainda calculada a correlação parcial entre o C e a dV , utilizando-se a V como variável de controlo. O nível de significância foi estabelecido num valor de $p \leq 0.05$.

5. Apresentação dos resultados

Os dados referentes à V média, dV , C e $\dot{E}$, obtidos na realização do protocolo incremental, estão descritos no quadro 3. Os valores encontram-se discriminados por patamar, em termos individuais e médios.

Quadro 3. Estatística descritiva (médias e desvios-padrão) relativa à V , dV , C e $\dot{E}$, por patamar, em termos individuais e médios amostrais

	Patamar	V média (ms^{-1})	dV (%)	C ($\text{Jkg}^{-1}\text{m}^{-1}$)	$\dot{E}$ ($\text{mlO}_2\text{kg}^{-1}\text{min}^{-1}$)
Sujeito #1	1	0.95±0.02	28.07±2.04	14.5	40.7
	2	0.97±0.02	31.67±1.76	16.8	48.7
	3	0.99±0.04	28.00±3.33	16.4	49.8
	4	1.01±0.01	24.15±1.00	18.6	58.2
	5	1.03±0.01	22.99±1.46	19.5	63.2
Sujeito #2	1	0.86±0.03	37.18±1.94	13.9	35.6
	2	0.92±0.03	37.91±2.73	15.8	42.7
	3	0.99±0.00	37.91±3.42	16.8	47.7
	4	1.08±0.01	34.44±4.49	19.3	59.5
Sujeito #3	1	0.92±0.01	35.65±2.76	12.7	31.4
	2	0.93±0.01	36.15±2.29	13.1	33.2
	3	0.95±0.01	34.81±7.28	14.4	38.2
	4	0.98±0.00	29.65±0.00	14.6	40.3
	5	1.00±0.00	27.30±1.09	15.9	44.9
Sujeito #4	1	0.87±0.01	30.03±3.97	10.8	26.4
	2	0.91±0.04	28.83±3.14	12.3	33.1
	3	0.97±0.03	27.02±3.47	12.8	38.2
	4	1.06±0.02	26.83±1.44	13.8	40.4
Média amostral	1	0.90±0.04	32.73±4.37	13.0±1.6	33.5±6.0
	2	0.93±0.03	33.64±4.14	14.5±2.2	39.4±7.7
	3	0.98±0.02	31.94±5.28	15.1±1.8	43.5±6.2
	4	1.03±0.05	28.77±4.40	16.6±2.8	49.6±10.7
	5	1.02±0.02	25.15±3.05	17.7±2.6	54.0±13.0

5.1. Relação entre a Variação Intracíclica da Velocidade de nado e a Velocidade de nado

No quadro 4 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) entre dV e a V . Conforme podemos observar nas figuras 3 a 6, apesar de em todos os nadadores se observar uma tendência de aumento da dV com a V , apenas encontramos valores estatisticamente significativos para dois dos nadadores (#3 e #4), respectivamente com $r^2=0,927$ e $r^2=0.97$, para $p \leq 0.01$ e 0.05 .

Quadro 4. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre a dV e a V , individuais e médios

	Sujeito				Média amostral
	#1	#2	#3	#4	
r	-0.816	-0.728	-0.963	-0.985	-0.628
r^2	0.666	0.529	0.927**	0.971*	0.394**

Legenda: * significativo para $p \leq 0.05$; ** significativo para $p \leq 0.01$.

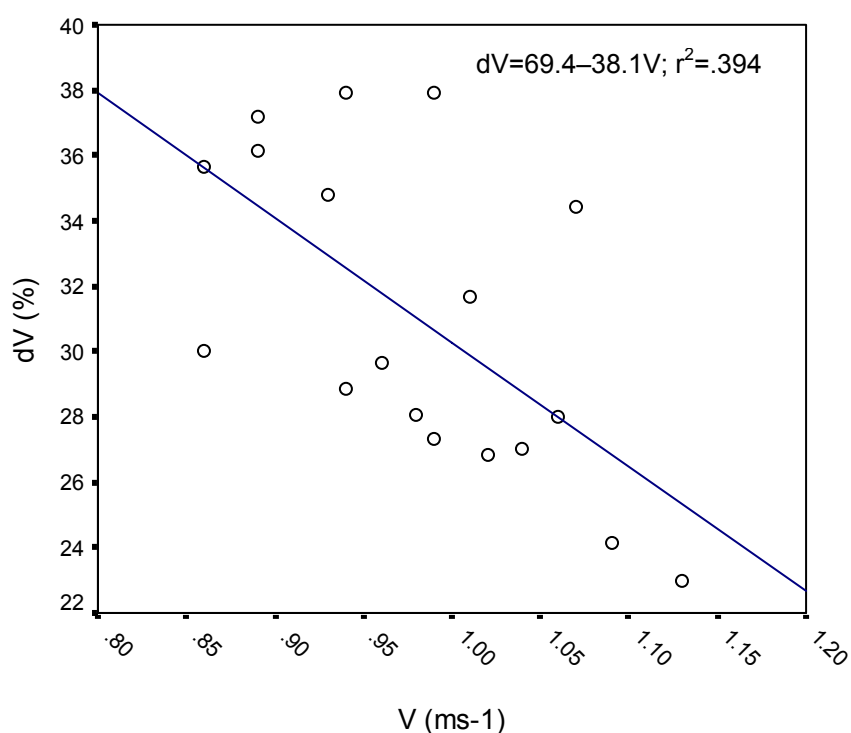


Figura 2. Relação entre a dV e a V para a média amostral

Em termos médios esta relação entre dV e V também se verifica, apresentando significado estatístico, e traduz-se pela equação de regressão linear $dV=69.4-38.1V$, onde se obtém um r^2 de 0.394, o que significa que existe uma associação de 39.4% da diminuição da dV com o aumento da V (figura 2).

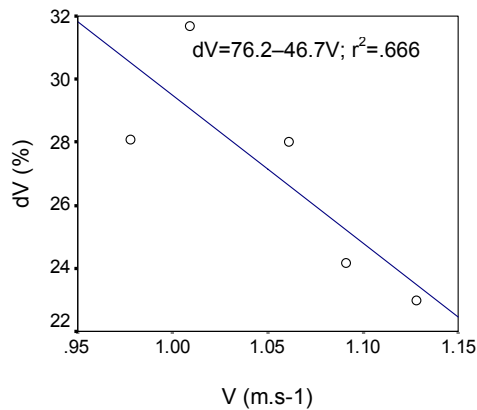


Figura 3. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #1

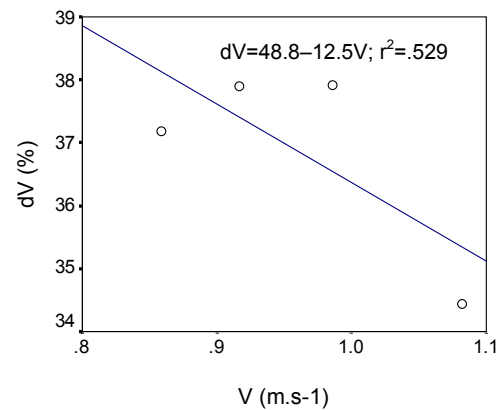


Figura 4. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #2

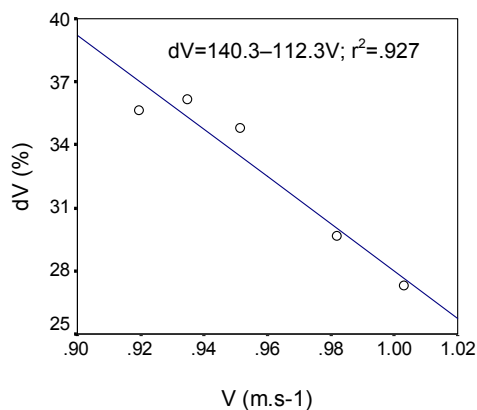


Figura 5. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #3

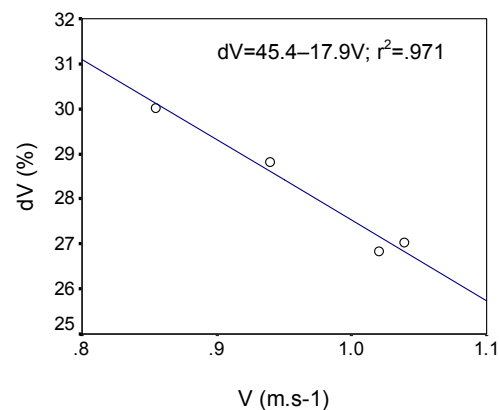


Figura 6. Relação entre a dV e a V de nado para o sujeito #4

5.2. Relação entre o Dispendio Energético e a Velocidade de nado

5.2.1. Linear

No quadro 5 são apresentados os valores da regressão linear entre o $\dot{E}$ e a V . Verificamos que, quer em termos individuais, quer em termos médios amostrais, encontramos uma relação estatisticamente significativa entre estas duas variáveis.

Quadro 5. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre o $\dot{E}$ e a V , individuais e médios

	Sujeito				
	#1	#2	#3	#4	Média amostral
r	0.965	0.998	0.990	0,971	0.897
r^2	0.932**	0.995**	0.979**	0.943*	0.805***

Legenda: * significativo para $p \leq 0.05$; ** significativo para $p \leq 0.01$; ***significativo para $p \leq 0.001$.

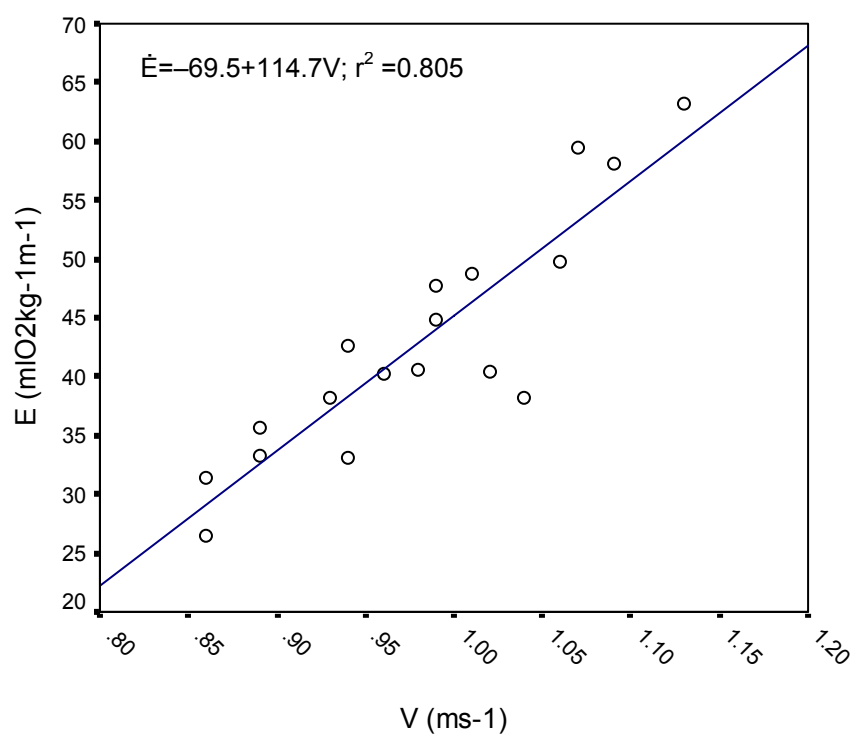


Figura 7. Relação entre o $\dot{E}$ e a V para a média amostral

A equação de regressão média é $\dot{E} = -69.5 + 114.7V$, com um r^2 de 0.805, isto é, 80.5% do aumento do $\dot{E}$ é explicado pelo aumento da V (figura 7).

A nível individual observam-se r^2 superiores a 0.90 (0.932; 0.995; 0.979; 0.943), o que significa que existe uma associação entre as duas variáveis de mais de 90%.

As rectas de regressão individuais podem ser observadas nas figuras 8 a 11.

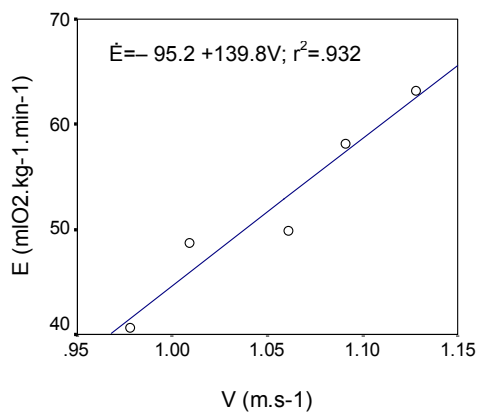


Figura 8. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #1

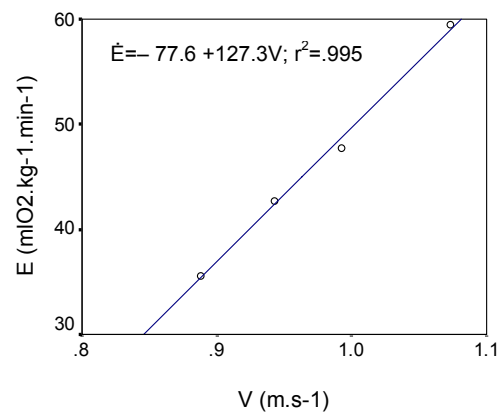


Figura 9. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #2

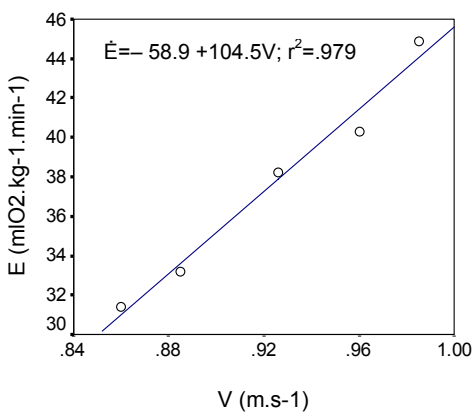


Figura 10. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #3

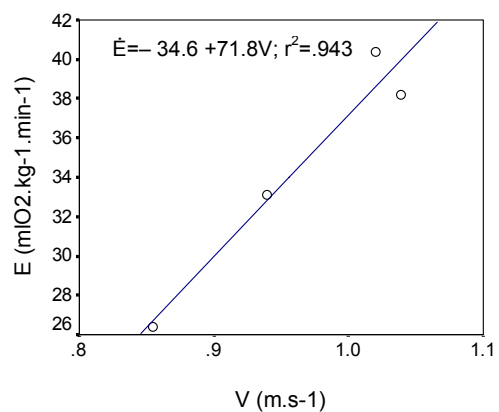


Figura 11. Relação entre o $\dot{E}$ e a V de nado para o sujeito #4

5.2.2. Exponencial

No quadro 6 são apresentados os valores da regressão linear entre o $\dot{E}$ e a V^3 . Verificamos que, tal como na relação linear, quer em termos individuais, quer em termos médios amostrais, encontramos uma relação estatisticamente significativa entre estas duas variáveis. A equação de regressão média é $\dot{E}=5.1+39.4V$, com um r^2 de 0.816, isto é, 81.6% do aumento do $\dot{E}$ é explicado pelo aumento da V^3 (figura 4).

Quadro 6. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre o $\dot{E}$ e a V^3 , individuais e médios

	Sujeito				Média amostral
	#1	#2	#3	#4	
r	0.968	0.998	0.994	0.962	0.903
r^2	0.937**	0.996**	0.998***	0.925*	0.816***

Legenda: * significativo para $p \leq 0.05$; ** significativo para $p \leq 0.01$; ***significativo para $p \leq 0.001$.

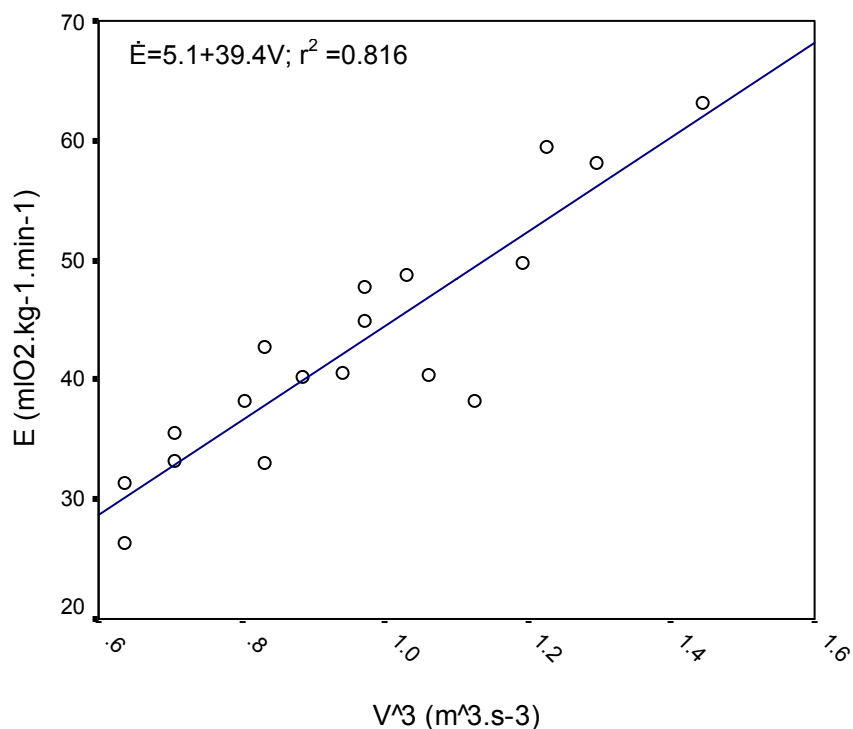


Figura 12. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 para a média amostral

Quer a nível médio amostral, quer a nível individual, exceptuando-se o sujeito #4, observa-se um ligeiro aumento dos valores de r e r^2 comparativamente com a relação linear, evidenciando assim um melhor ajuste duma função exponencial, neste caso cúbica, à relação entre o $\dot{E}$ e a V .

As rectas de regressão individuais encontram-se descritas numérica e graficamente nas figuras 13 a 16.

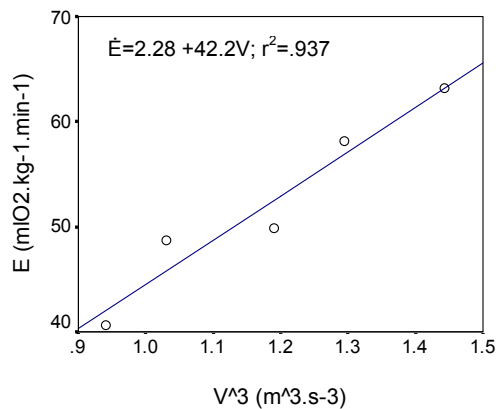


Figura 13. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #1

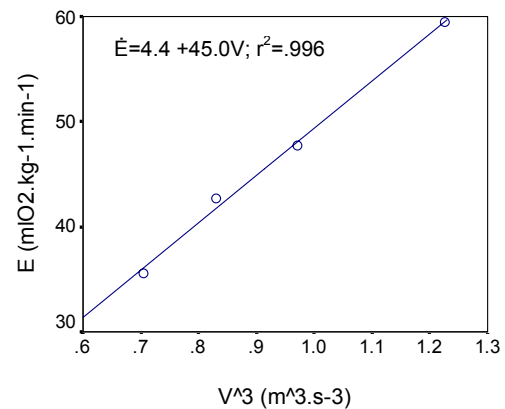


Figura 14. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #2

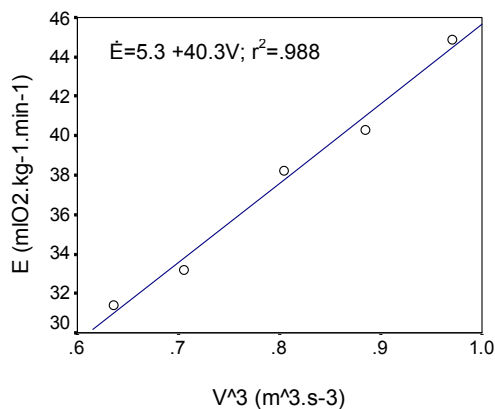


Figura 15. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #3

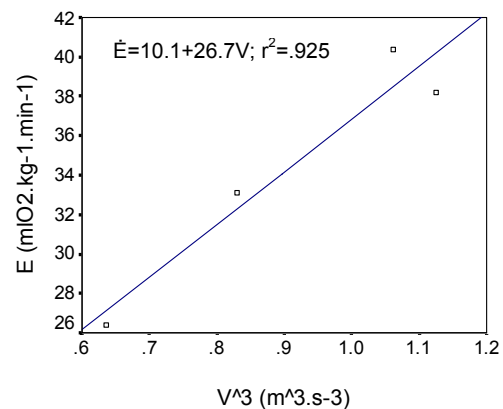


Figura 16. Relação entre o $\dot{E}$ e a V^3 de nado para o sujeito #4

5.3. Relação entre o Custo Energético e a Variação Intracíclica da Velocidade de nado

No quadro 7 são apresentados os valores de r e r^2 da regressão linear efectuada entre o C e a dV. Apesar de ser evidente uma relação entre a diminuição da dV e o aumento do C, apenas nos nadadores #3 e #4 obtivemos resultados estatisticamente significativos desta relação, não sendo, igualmente, observadas diferenças estatisticamente significativas em termos médios amostrais.

Quadro 7. Valores do coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2) entre o C e a dV, individuais e médios

	Sujeito				Média amostral
	#1	#2	#3	#4	
r	-0.686	-0.729	-0.898	-0.944	-0.188
r^2	0.471	0.531	0.806*	0.891*	0.036

Legenda: * significativo para $p \leq 0.05$.

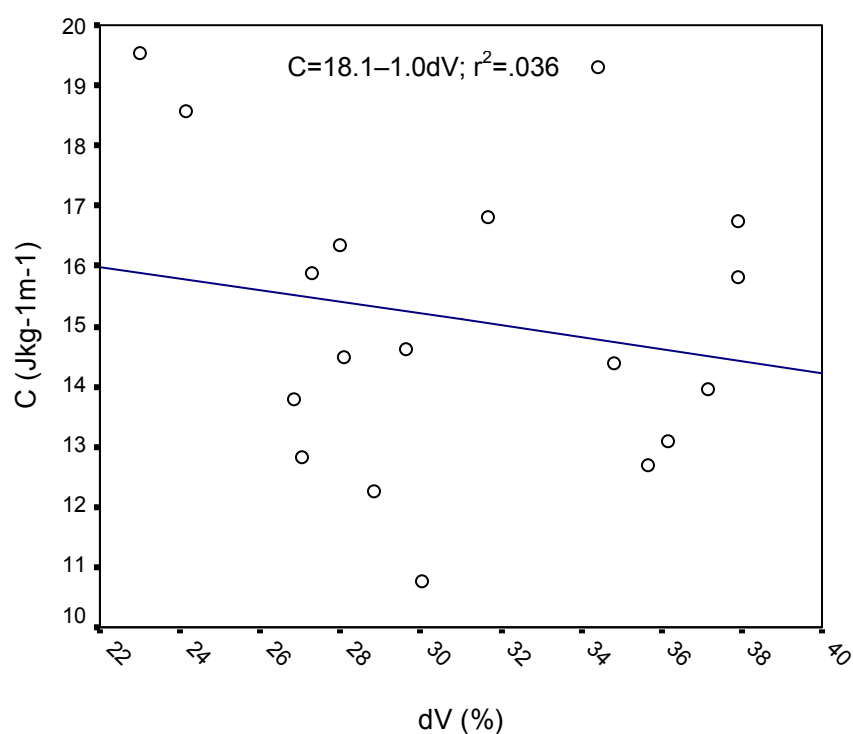


Figura 17. Relação entre o C e a dV para a média amostral

A recta de regressão linear $C=18.1-1.0dV$ explica esta relação, para um r^2 de 0.036 (figura 17). As rectas de regressão individuais encontram-se descritas nas figuras 18 a 21.

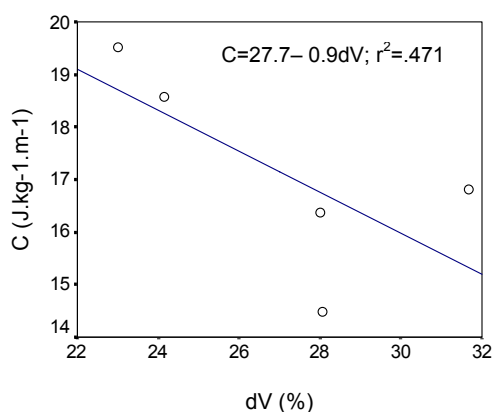


Figura 18. Relação entre o C e a dV para o sujeito #1

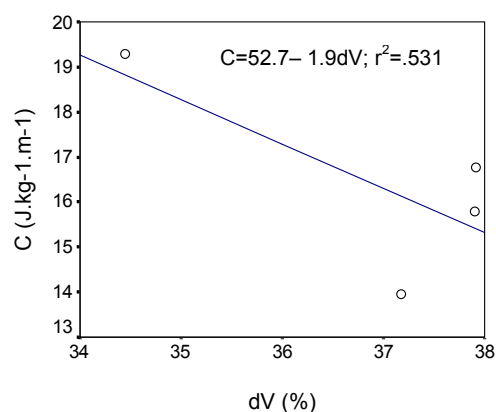


Figura 19. Relação entre o C e a dV para o sujeito #2

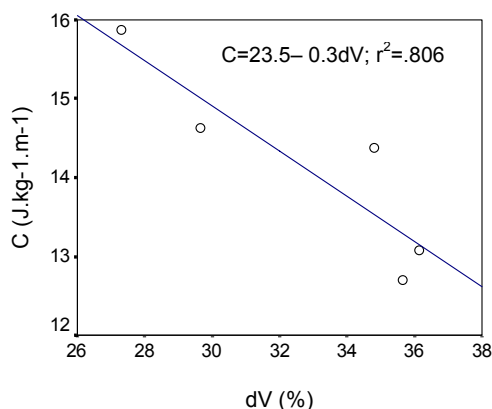


Figura 20. Relação entre o C e a dV para o sujeito #3

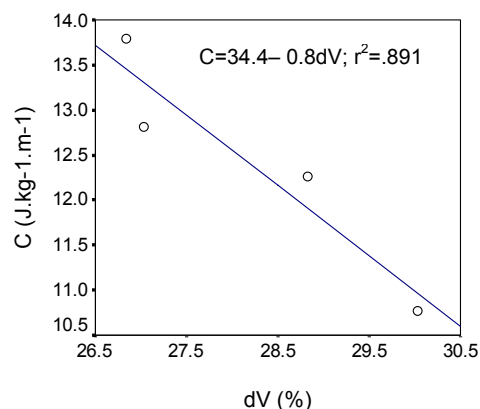


Figura 21. Relação entre o C e a dV para o sujeito #4

No quadro 8, podemos observar os valores de r e r^2 , obtidos através de uma correlação parcial entre o C e a dV , utilizando como factor de controlo a V de nado.

Em termos médios amostrais, verifica-se uma relação positiva e com significado estatístico, isto é existe uma associação relevante, em termos

estatísticos, entre o aumento do C e o aumento da dV. O r^2 , para a média amostral é de 0.425 para um $p \leq 0.01$, o que significa que, controlando a variável V, 42.5% do aumento do C é explicado pelo aumento da dV.

Esta tendência é verificada ainda em dois dos sujeitos (#1 e #3), embora sem significado estatístico.

Quadro 8. Valores do coeficiente de correlação parcial (r) e de determinação (r^2) entre o C e a dV, individuais e médios, utilizando como factor de controlo a V

	Sujeito				Média amostral
	#1	#2	#3	#4	
r	0.301	-0.1578	0.636	-0.669	0.652
r²	0.090	0.025	0.404	0.448	0.425**

Legenda: ** significativo para $p \leq 0.01$.

6. Discussão dos resultados

O objectivo deste estudo era analisar a relação entre a dV do CM e o C, na técnica de bruços. Para se chegar a esta relação foram analisadas e evidenciadas outras relações, nomeadamente entre a dV e a V e entre o $\dot{E}$ e a V. Porém, nem todos os resultados encontrados são sustentados pela literatura.

Para avaliar a dV foi utilizado o CM uma vez que de acordo com a literatura, nas técnicas simultâneas este ponto anatómico descreve melhor a dV das variáveis cinemáticas, quando comparado com a anca, um dos pontos anatómicos também usado neste tipo de análise (Mason et al., 1992; Barbosa et al., 2003). Relativamente à relação entre a dV e a V, os resultados obtidos evidenciam que, na técnica de bruços, um aumento da V de nado significa uma redução da dV, traduzindo-se assim numa melhor adequação mecânica do nado (Vilas-Boas, 1996b).

Neste estudo, o cálculo do C foi efectuado tendo em conta participação metabólica aeróbica e anaeróbia na disponibilização de energia para o nado. Este procedimento vai de encontro ao referido por di Prampero et al. (1978) e Capelli et al. (1998) quando afirmam ser fundamental quantificar as duas fontes energéticas (fosforilação oxidativa e glicólise) para o cálculo do C em NPD.

No presente estudo, o $\dot{E}$ parece aumentar com a V, havendo um ajuste mais elevado com uma relação exponencial. Isto parece estar de acordo com o esperado em termos teóricos uma vez que o *output* energético é proporcional à potência e esta é uma função de V^3 . Este tipo de relação encontrada entre as duas variáveis revelou-se de elevado significado estatístico, quer para a média amostral, quer através duma abordagem individual, em três dos quatro sujeitos da amostra.

Sabendo-se que o D está intimamente relacionado com a V de nado (expressão 1), o aumento do $\dot{E}$ é provocado pela necessidade de superar a maior resistência oferecida pela água em V superiores (Holmér, 1974; Chatard et al., 1990; Alves et al., 1996; Vilas-Boas, 1996b).

Enquanto que nos primeiros estudos realizados nesta área a associação entre estas duas variáveis era considerada exponencial, nos estudos mais recentes a regressão linear parece explicar melhor o fenómeno (Alves et al., 1996). A este respeito Lavoie e Montpetit (1986) concluíram que os estudos onde era verificada uma relação exponencial padeciam de várias incorrecções ou deficiências metodológicas, como por exemplo, o cálculo do $\dot{E}$ apenas com base na contribuição metabólica aeróbia para a energia consumida durante o nado. No entanto, apesar de no presente estudo a relação encontrada entre o $\dot{E}$ e a V ser do tipo exponencial, não foram cometidas as incorrecções metodológicas referidas por Lavoie e Montpetit (1986).

A principal diferença entre o nosso estudo e alguns dos estudos que obtiveram uma relação linear (Alves et al., 1996; Vilas-Boas, 1993; Barbosa et al., 2005), poderá estar na maior variedade de V de nado em que os nadadores foram avaliados.

Quer o melhor ajuste a uma relação linear, evidenciada pelo sujeito #4, quer mesmo os elevados r^2 (embora inferiores aos r^2 da relação exponencial) obtidos com o estudo de uma relação linear nos restantes sujeitos e na média amostral, podem ser explicados por um aumento da eficiência de nado com a V . Este tipo de relação foi também obtido em três estudos idênticos ao nosso, efectuados, respectivamente, nas técnicas de crol e costas, na técnica de bruços e na técnica de mariposa (Alves et al., 1996; Vilas-Boas, 1993; Barbosa et al., 2005).

Já os resultados da relação entre o C e a dV revelam que esta apenas apresenta significado estatístico quando realizada uma abordagem individual, não sendo, no entanto, verificada para todos os sujeitos da amostra. De facto, apenas os sujeitos #3 e #4, apresentam resultados estatisticamente significativos, respectivamente com uma percentagem de predição de 80.6% e 89.1% ($p \leq 0.05$). Estas evidências estão parcialmente de acordo com os resultados obtidos por Vilas-Boas (1996b), num estudo também efectuado na técnica de bruços. O facto da relação entre o C e a dV apenas ser estatisticamente relevante a nível individual pode ser compreendida através de uma análise bioenergética do nado. O W e consequentemente o C , em NPD,

estão dependentes da V média de nado, da dV e do D (Nigg, 1983). Por sua vez, o D que o nadador tem que vencer para manter uma determinada V é altamente variável e dependente da morfologia e técnica individuais (Chatard et al., 1990). Estes fundamentos foram apresentados de forma semelhante por Vilas-Boas (1996b).

Estes nossos resultados poderiam também ser suportados por estudos anteriores que referem que a energia gasta na reaceleração do corpo é negligenciável (Holmér, 1974). No entanto, estes estudos foram realizados em crol e costas, duas técnicas que, contrariamente ao bruços, são alternadas (contínuas). De facto, sendo evidente a descontinuidade da técnica de bruços, seria esperada que nesta técnica a relação entre C e dV fosse elevada e directamente proporcional (McElroy e Blanksby, 1976; Nigg, 1983; Maglischo et al., 1989; Costill et al., 1992). Isto porque, quanto maior a descontinuidade do impulso propulsivo, maior será a quantidade de energia gasta para vencer a inércia (Consilman, 1981; Vilas-Boas, 1997).

Conforme referimos, esta concordância com os resultados de Vilas-Boas (1996b) é apenas parcial pois a regressão por nós obtida é negativa, isto é, ocorre uma diminuição do C com o aumento da dV . Ora estes resultados vistos desta forma contrariam os obtidos quer por Vilas-Boas (1996b), quer pelos restantes estudos neste área, nomeadamente por Alves et al. (1996) e Barbosa et al. (2005).

Explicações para esta diferença podem ser dadas com base em dois aspectos metodológicos: i) neste estudo, os percursos dos nadadores foram registados em vídeo simultaneamente com o protocolo bioenergético, ou seja, há uma maior correspondência entre o C e o ciclo gestual digitalizado; e, ii) neste estudo, as relações biofísicas foram estabelecidas entre o C e a dV do CM, não sendo utilizada a anca. No entanto, estas justificações apenas serão válidas para os estudos realizados em 1996, uma vez que a análise efectuada por Barbosa et al. (2005) recorreu a uma metodologia em tudo idêntica à utilizada no presente estudo.

Uma possível justificação qualitativa estará relacionada com a elevada proficiência dos nadadores na execução da técnica de bruços, o que é

evidenciado pela relação entre a dV e a V. Ou seja, embora ocorra um aumento do C, fruto do aumento da dV, este é praticamente imperceptível, uma vez que a dV diminui com o aumento da V. Isto é comprovado pelos resultados obtidos na correlação parcial entre o C e a dV, controlando a variável V. De facto, eliminando o efeito da V no C, verifica-se uma tendência para as variáveis C e dV se correlacionarem positivamente. Contudo, esta tendência correlacional apenas se observa, a nível individual, em dois sujeitos, apresentando significado estatístico somente em termos médios amostrais ($r^2=0.425$, $p\leq 0.05$).

Desta forma, fica evidente neste estudo que, para a técnica de braços, a dV parece não afectar expressivamente o C. Como tal, o principal factor influenciador do C, em NPD, é a V média de nado.

Uma outra justificação agora quantitativa, ou mais especificamente, estatística poderá relacionar-se com facto de, quer o número de sujeitos da amostra ($n=4$), quer o número de patamares por eles efectuados (4–5 estadios de intensidade) ser reduzido, o que por si só colocará em causa uma relação estatística razoável.

7. Conclusão

Ponderados os resultados obtidos no presente estudo e a metodologia utilizada concluímos que, para a técnica de bruços:

- i) a dV parece apresentar uma relação inversa com a V, isto é, um aumento da V terá como consequência uma diminuição da dV. Isto leva-nos a referir que o aumento da V é acompanhado por um aumento da adequação mecânica do nado;
- ii) o $\dot{E}$ parece estar directa e exponencialmente relacionado com a V, uma vez que o aumento da V tem como consequência um aumento exponencial no $\dot{E}$;
- iii) o C não evidenciou uma relação estaticamente significativa com a dV, pelos menos no que respeita à média amostral;
- iv) em termos individuais, o C parece relacionar-se com a dV de forma negativa, ou seja, um aumento do C é coincidente com uma diminuição da dV. Este fenómeno poderá dever-se ao facto do C ser sensível à morfologia e técnica individuais;
- v) o facto de a relação entre o C e a dV ser negativa parece relacionar-se com o elevado nível de proficiência dos nadadores;
- vi) a relação entre a dV e o C parece ser desprezível, sendo, então, o principal factor influenciador do C, a V.

Sabendo que a principal limitação do nosso estudo foi o número limitado da amostra, será interessante repetir este procedimento para um número mais elevado de sujeitos. Porventura, juntamente com o aumento da amostra deverá ser utilizado um protocolo experimental que permita avaliar os nadadores num leque mais alargado de V de nado.

Finalmente, é importante referir que, de acordo com os nossos resultados, é vantajoso para os nadadores, que juntamente com os seus treinadores, tentem reduzir as dV ao máximo, para que durante as provas o principal factor limitativo da sua performance seja, exclusivamente, a V de nado.

8. Bibliografia

Alves, F.; Gomes-Pereira, J.; Pereira, F. (1996). Determinants of energy cost of front crawl and backstroke swimming and competitive performance. In: J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M. Cappaert, T. A. Trappe (Eds.), ***Biomechanics and Medicine in Swimming VII*** (pp. 185-192). E & FN Spon. London.

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

Barbosa, T. M.; Santos Silva, J. V.; Sousa, F.; Vilas-Boas, J. P. (2003). Comparative study of the responses of kinematical variables from the hip and the centre of mass in butterfly swimmers. In: J. C. Chatard (Ed.), ***Biomechanics and Medicine in Swimming IX*** (pp. 93-98). Publications de l'Université de Saint-Étienne. Saint-Étienne.

Barthels, K.; Adrian, M. (1975). Three-dimensional spatial hand patterns of skilled butterfly swimmers. In: L. Lewille; J. P. Clarys (Eds.), ***Swimming II*** (pp. 154-160). University Park Press. Baltimore.

Boie, G.; Montpetit, R. R. (1985). Energetic profile of breaststroke : influence of morphological characteristics. ***Can J Appl Sp Sci***, 10(4), 5P.

Buckwitz, R.; Bahr, H.; Ungerechts, B. (2003). Direct measurement of intracyclic velocity fluctuations in a swimming flume. In: J. C. Chatard (Ed.), ***Medicine in Swimming IX*** (pp. 105-109). Publications de l'Université de Saint-Étienne. Saint-Étienne.

Capelli, C.; Pendergast, D.; Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. ***Eur. J. Appl. Physiol.***, 78, 385-393.

Cardoso, C.; Fernandes, R.; Magalhães, J.; Santos, P.; Colaço, P.; Soares, S.; Carlo, C.; Barbosa, T.; Vilas-Boas, J. P. (2003). Comparison of continuous and intermittent incremental protocols for direct VO₂ max assessment. In: J. C. Chatard (Ed.), ***Biomechanics and Medicine in Swimming IX*** (pp. 313-318). Publications de l'Université de Saint-Étienne. Saint-Étienne.

Chatard J.-C., Lavoie J., Lacour J. (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. ***Eur. J. Appl. Physiol.***, 61 (1-2), 88-92.

Counsilman, J. E. (1981). Hand speed and acceleration. ***Swin. Tech.***, 18(1), 22-26.

Costill, D. L.; Maglischo, E. W.; Richardson, A. B. (1992). ***Swimming***. Blackwell Scientific Publications. London.

Cruz, A. C. (2003). ***A economia de nado para nadadores de ambos os géneros e de nível desportivo diferenciado***. Tese de licenciatura na Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. FCDEF-UP. Porto.

D'Acquisto L, Ed D, Costill D. (1998) Relationship between intracyclic linear body velocity fluctuations, power and sprint breaststroke performance. ***J Swimming Research***, 13, 8-14.

de Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. ***J Biomechanics***, 29, 1223-1230.

di Prampero, P. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. ***Int J Sports Med***, 7, 55-72.

di Prampero, P.; Pendergast, D.; Wilson, D.; Rennie, D. (1978). Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming. In: B. Eriksson, B. Furberg

(Eds.), **Swimming Medicine IV** (pp. 249-261). University Park Press. Baltimore.

Fernandes, R.; Cardoso, C.; Soares, S.; Ascensão, A.; Colaço, P.; Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and VO_2 slow component at intensities corresponding to VO_2 max in swimmers. **Int J Sports Med**, 24, 576-581.

Fernandes, R. J.; Billat, V. L. ; Cruz, A. C. ; Colaço, P. J.; Cardoso, C. S.; Vilas-Boas, J. P. (submetido a publicação). Has gender any effect on the relationship between time limit at VO_2 max velocity and swimming economy? **JHMS**.

Fujishima, M.; Miyashita, M. (1999). Velocity degradation caused by its fluctuation in swimming and guidelines for improvement of average velocity. In: K. Keskinen, P. Komi, A. P. Hollander (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming VIII** (pp. 41-45). Department of Biology of Physical Activity – University of Jyväskylä. Finland.

Hay, J. G. (1980). **Biomécanique des techniques sportives**. Vigot. Paris.

Holmér, I. (1974). Physiology of swimming man. **Acta Physiol. Scand.**, (Suppl. 407), 1-55.

Holmér, I. (1983). Energetics and mechanical work in swimming. In: In: A. P. Hollander, P. A. Huijing, G. de Groot (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming** (pp. 155-164). Human Kinetics Publishers. Illinois.

Howley, E. T.; Basseet, T.; Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Medicine Science and Sports Exercise**, 27, 1292-1301.

Keskinen, K. L.; Rodríguez, F. A.; Keskinen, O. P. (2003). Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. ***Scand J Med Sci Sports***, 13, 322 – 329.

Kornecki, S.; Bober, T. (1978). Extreme velocities of a swimming cycle as a technique criterion. In: B. Eriksson, B. Furberg (Eds.), ***Swimming Medicine IV*** (pp. 402-407). University Park Press. Baltimore.

Lavoie, J-M.; Montpetit, R. R. (1986). Applied physiology of swimming. ***Sports Medicine***, 3, 165-189.

Maglischo, E. W. (1993). ***Swimming even faster***. Mayfield Publishing Company. USA.

Maglischo, E. W.; Maglischo, C. W.; Santos, T. R. (1989). Patterns of forward velocity in the four competitive swimming strokes. In: W. E. Morrison (Ed.), ***Proceedings of the VIIth International Symposium of the Society of Biomechanics in Sports*** (pp. 139-149). Melbourne.

Mason, B. R.; Patton, S. G.; Newton, A. P. (1989). Propulsion in breaststroke swimming. In: W. E. Morrison (Ed.), ***Proceedings of the VIIth International Symposium of the Society of Biomechanics in Sports*** (pp. 257-267). Melbourne.

Mason, B.; Tong, Z.; Richards, R. (1992). Propulsion in the butterfly stroke. In: D. Maclaren, T. Reilly, A. Lees (Eds.), ***Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*** (pp. 81-86). E & FN Spon. London.

McElroy, K.; Blanksby, B. (1976). Intra-cycle velocity fluctuations of highly skilled breaststroke swimmers. ***Aust. J. Health, Phys. Edu. And Rec.*** March, 25-34.

Montpetit, R. R.; Lavoie, J.-M.; Carzola, G. (1983). Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing e G. de Groot (Eds.), ***Biomechanics and Medicine in Swimming*** (pp. 228-234). Human Kinetics Publishers. Illinois.

Montpetit, R.; Carzola, G.; Lavoie, J.-M. (1988). Energy expenditure during front crawl swimming : a comparison between males and females. In: I. Ungerechts, K. Wilke, E. Bodo, K. Reishle (Eds.), ***Swimming Science V*** (pp. 229-235). Human Kinetics Publishers. Champaign.

Nigg, B. (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing, G. de Groot (Eds.), ***Biomechanics and Medicine in Swimming*** (pp.72-80). Human Kinetics Publishers. Illinois.

Pendergast, D.; di Prampero, P. E.; Craig, A.; Wilson, D.; Rennie, D. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. ***J. Appl. Physiol.***, 43 (3), 475-479.

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

Schleihauf, R. E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: J. Terauds, E. W. Bedingfield (Eds.), ***Swimming III*** (pp. 70-109). University Park Press. Baltimore.

Smith D. J., Norris S. R., Hogg J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers. Scientific tools. ***Sports Med.***, 32 (9), 539-554.

Termin, B.; Pendergast, R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. **J. Swimming Research**. 14, 9-17.

Thevelein, X.; Daly, D.; Persyn, U. (1984). Measurement of total energy use in the evaluation of competitive swimmers. In: N. Bachl, L. Prakup, R. Suckert (Eds.), **Current Topics in Sports Medicine** (pp. 668-676). Urban & Schwarzenberg. Wien.

Toussaint, H. ; Meulemans, A.; de Groot, G. ; Hollander, A. P. ; Schreurs, A.; Vervoon, K. (1987). Respiratory valve for oxygen uptake measurement during swimming. **Eur J Appl Physiol**, 56, 363-366.

Troup, J. P.; Barzdukas, A.; Trappe, S. (1992a) Adjustment to maximal work intensity during interval swimming using various work: rest ratios. In: D. Maclaren, T. Reilly, A. Lees (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI** (pp. 263-269). E & FN Spon. London.

Troup, J. P.; Hollander, A. P.; Bone, M.; Trappe, S.; Barzdukas, A. P. (1992b). Performance-related differences in the anaerobic contribution of competitive freestyle swimmers. In: D. Maclaren, T. Reilly, A. Lees (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI** (pp. 271-277). E & FN Spon. London.

Van Handel, P. J.; Katz, A.; Morrow, J. R.; Troup, J. P.; Daniels, J. T.; Bradley, P. W. (1988). Aerobic economy and competitive performance of U.S. elite swimmers. In: B. E. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle (Eds.), **Swimming Science V: Proceedings of the Fifth International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming**, (pp. 219-227). Human Kinetics Publishers. Illinois.

Vilas-Boas, J. P. (1993). **Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços**. Dissertação apresentada às provas de doutoramento no ramo de Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto. FCDEF-UP. Porto.

Vilas-Boas, J. P. (1996a). **Economia de nado e avaliação de nadadores em treino de alto rendimento**. Documento de apoio à disciplina de Metodologia I – Natação, da Opção de Desporto de Rendimento, do curso de Licenciatura em Desporto e Educação Física da FCDEF-UP. Porto.

Vilas-Boas, J. P. (1996b). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. In: J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M. Cappaert, T. A. Trappe (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming VII** (pp. 167-171). E & FN Spon. London.

Vilas-Boas, J. P. (2000). Aproximação Biofísica ao desempenho e ao treino de nadadores. **Rev Paul Educ Fis**. 14(2), 107-117

Vilas-Boas, J. P.; Cunha, P.; Figueiras, T.; Ferreira, M.; Duarte, J. (1997). Movement analysis in simultaneous swimming techniques. In: K. Daniel, U. Hoffmann, J. Klauck (Eds.), **Cologne Swimming Symposium** (pp. 95-103). Sport Fahnemann. Verlag, Bocknem.

Winter, D. (1990). **Biomechanics and motor control of human movement**. John Wiley and sons. Chichester.