

Parâmetros mecânicos e metabólicos do desempenho em intensidade supra-máxima no nado *crawl*

Dalton Müller Pessôa Filho

Departamento de Educação Física FC UNESP Bauru SP Brasil

Resumo: O objetivo deste estudo foi analisar o desempenho supra-máximo no nado *crawl* (v_{max}) pelas relações entre energia anaeróbia (E_{anaer}), potência muscular (Po) e propulsiva (Pu), eficiência mecânica (e_{mec}) e propulsiva (ep), economia e força de arrasto (Fr). Onze competidores submeteram-se à avaliação de Fr pelo método de Perturbação da Velocidade e à estimativa da ep, pelas relações entre Fr e a ação do hidrofólio. E_{anaer} foi quantificada pelo equivalente energético do lactato e da fosfocreatina. Correlações de v_{max} com E_{anaer} (0,71), economia (0,65), Fr (0,68), Pu (0,79) e Po (0,69) sugerem que força, potência e disponibilidade de energia sustentam o desempenho em v_{max} . Contudo, ao restringir E_{anaer} em v_{max} , apenas a economia acomoda-se a esta condição (-0,95), enquanto que e_{mec} torna-se determinante para Fr (0,97), Pu (0,90) e Po (0,98). Conclui-se que a taxa de trabalho é decisiva no desempenho supra-máximo, e que E_{anaer} subsidia sua produção, mas quando restrita, e_{mec} e economia interagem-se como fatores fundamentais para manter a taxa de trabalho no patamar demandado por esta condição de nado.

Palavras-chave: Velocidade máxima de nado *crawl*. Arrasto ativo. Eficiência mecânica. Eficiência propulsiva. Potência muscular. Potência propulsiva. Energia anaeróbia.

Mechanical and metabolic parameters of front crawl swim performance at supramaximal intensity

Abstract: The purpose of this study was to analyze crawl performance at supramaximal intensity (v_{max}) from relationships between anaerobic energy (E_{anaer}), mechanical and propulsive power (Po, Pu), mechanical and propulsive efficiency (e_{mec} , ep), and drag force (Fr). Eleven experience swimmers were undergone to the measurement of Fr from the method of Velocity Perturbation, and to estimative the ep from Fr relationships to hydrofoil action. E_{anaer} was estimated from lactate and phosphocreatine energy equivalents. Correlations of v_{max} to E_{anaer} (0,72), economy (0,65), Fr (0,68), Pu (0,79), and Po (0,69) suggest a trend to force, power and energy release to determine performance at v_{max} . Once E_{anaer} became constrained, only economy was able to accommodated to these context (-0,95), whereas e_{mec} improve their influence on Fr (0,97), Pu (0,90), and Po (0,98). In conclusion, work rate is the main parameter to ensure supramaximal performance, and E_{anaer} is the major factor in power availability, but when it is constrained, e_{mec} and economy interactions plays a fundamental role to maintain the level of work rate production enough to reach supramaximal swim requirements.

Key Words: Maximal front crawl. Swim velocity. Active drag force. Mechanical efficiency. Propulsive efficiency. Mechanical power. Propulsive power. Anaerobic energy release.

Introdução

Na natação, a força útil (Fu) à propulsão é uma fração da força muscular gerada durante o ciclo gestual da braçada (DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988). Em condições de equilíbrio hidrodinâmico (i.e. velocidade constante) sua magnitude é proporcional à força de arrasto corporal (Fr), cuja estimativa é dada pela equação:

$$Fu \cong Fr = \frac{1}{2} Cx \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \quad (1)$$

onde “Cx” é o coeficiente de arrasto; “p” é a densidade da água; “S” é a superfície transversa do nadador exposta ao fluido e “v²” é a velocidade de nado ao quadrado (TOUSSAINT; ROOS; KOLMOGOROV, 2004). Conseqüentemente, a potência útil (Pu) à superação de Fr equivale à:

$$Pu = Fr \cdot v = \frac{1}{2} Cx \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (2)$$

Pu é, assim, um fator determinante do desempenho de nado, pois tem influência sobre a velocidade de deslocamento e sobre a taxa com que a força muscular é produzida. De fato, Toussaint et al. (2006) observaram, em desempenhos de 100m, que a diminuição de Pu reduziu concomitantemente a velocidade de nado (v) e a frequência de braçada (FB) ao longo da prova, sem alterar substancialmente a distância percorrida por braçada (DB). Estes autores atribuíram à fadiga muscular a diminuição de Pu, porém a acentuada redução do desempenho nos últimos 25m foi considerada um efeito da exaustão sobre a técnica de nado, que ocasionou a perda da capacidade de adaptar FB (i.e. a velocidade da mão) para gerar Pu na quantidade requerida para manter a velocidade. Desta forma, a efetividade do padrão de geração da propulsão (eficiência propulsiva, ep) é também um importante componente da velocidade de nado. Estas implicações estão incorporadas no modelo geral do desempenho de nado, formulado inicialmente por DiPrampo et al. (1974) e, posteriormente, reformulado por Toussaint e Beek (1992):

$$v = \sqrt[3]{\frac{E \cdot (e_{mec} \cdot ep)}{A}} \quad (3)$$

onde “E” é o fornecimento de energia química; “e_{mec}” é a taxa entre a demanda energética e a potência mecânica total gerada pelos músculos ativos; “ep” é a eficiência propulsiva; e “A” é o coeficiente de proporcionalidade corporal.

Para Vilas-Boas (2000) a equação 3 é a expressão da adequação técnica do nado, inferindo que o rendimento estaria condicionado à velocidade de processamento da energia química disponibilizada (E), ao melhor aproveitamento mecânico desta energia química processada (e_{mec}), e à maior parcela de contribuição da energia mecânica (ep) na superação da força de arrasto ativo. Este equipotencial é evidenciado em velocidades de nado, particularmente, aeróbias, onde o aumento da velocidade é obtido pelo aumento da frequência de braçada e pela manutenção da distância percorrida por braçada (PENDERGAST et al., 2003). A progressão da velocidade, neste caso, é atribuída ao aumento da eficiência propulsiva (ep) (i.e. aumento da parcela de energia química transformada em potência útil à propulsão, conforme Zamparo et al., 2002; Berger; Hollander; DeGroot, 1997), definida como:

$$ep = \frac{Pu}{Po} = \frac{Pu}{(Pu + P_{H2O})} \quad (4)$$

onde “Po” é a potência mecânica total gerada pelos músculos ativos e “P_{H2O}” é a parcela de Po transferida à água e, portanto, não útil à propulsão. Ou, ainda, pelo aumento da eficiência mecânica (e_{mec}) (PENDERGAST et al., 2003):

$$e_{mec} = \frac{Po}{E} \quad (5)$$

A organização mecânica e metabólica em velocidades máximas (domínio severo, onde o consumo máximo de oxigênio (VO_{2máx}) é atingido durante o exercício), ou supra-máximas (domínio exaustivo, onde a exaustão ocorre antes do VO_{2máx} ser atingido), para suprir o aumento de Pu apresenta análises parciais, muitas vezes conflitantes. Alterações no alinhamento corporal e na simetria da braçada sugerem, nestas intensidades, um declínio da qualidade técnica do nado, reduzindo a eficiência propulsiva (TOUSSAINT; HOLLANDER, 1994; TOUSSAINT et al., 2006). A eficiência mecânica, por sua vez, tende a aumentar com a velocidade de deslocamento, ou melhor, aumenta até que o músculo atinja sua relação ótima entre força e velocidade e entre força e comprimento muscular, aumentando assim a oferta de Po para o movimento (ZAMPARO et al., 2002). Esta observação, na natação, ainda permanece por ser realizada, mas a estimativa da eficiência mecânica em uma faixa de velocidade de nado, com limite superior correspondente ao VO_{2máx}, demonstrou incrementar pouco (PENDERGAST et al., 2003).

Assim, com uma menor fração de Po disponível à propulsão e com o aumento de Po, não contrabalanceado pela progressão da eficiência mecânica, ocorre um aumento do aporte energético e, conseqüentemente, do custo de transporte (i.e. redução na economia de movimento) ainda em velocidades abaixo do domínio severo, conforme demonstrado por Pendergast et al., 2003. Para Capelli, Pendergast e Termin (1998) a demanda energética do crawl em velocidades superiores a 1,5m/s aumenta em 100%, caso o custo de transporte aumente em 0,5kJ/m.

Se, à técnica de nado, atribui-se a capacidade de posicionamento corporal mais hidrodinâmico em relação ao fluido e realização de movimentos uniformes, que contribuem de modo mais efetivo para a propulsão; e sendo essas características da habilidade não verificadas em velocidade máxima de nado, devido à movimentação exagerada do corpo (TOUSSAINT; HOLLANDER, 1994), então força e potência muscular se tornariam requisitos básicos para o rendimento em eventos de elevada intensidade de esforço e curta duração,

sobressaindo-se aos diferentes níveis (expressões) de eficiência na organização motora do nado crawl. Este estudo objetivou verificar o quanto esta associação condiciona o desempenho supra-máximo do crawl, ao considerar a influência de um parâmetro metabólico (demanda energética anaeróbia) e de um parâmetro que dissocia o custo energético da velocidade de deslocamento (economia, ou custo de transporte, i.e. quantidade de energia requerida para mover o corpo por unidade de distância – ROBERTS et al., 1998) sobre a força e a potência muscular e propulsiva.

Materiais e Método

Sujeitos

Participaram desse estudo 11 nadadores de 15,45 anos ($\pm 1,75$), 62,16kg ($\pm 8,15$) e 170,69cm ($\pm 8,47$), vinculados a Federação Mineira de Desportos Aquáticos, que treinavam regularmente por mais de dois anos para provas de velocidade e meio-fundo, em diferentes tipos de nado. Todos os sujeitos assinaram de forma livre e espontânea um termo de consentimento para a participação.

Determinação do Coeficiente de Arrasto (C_x), força de arrasto ativo (Fr) e potência útil à propulsão (Pu)

O método de perturbação da velocidade (KOLMOGOROV; DUPLISHCHEVA, 1992) foi empregado para a determinação destas variáveis mecânicas. O procedimento é baseado em dois esforços: (1) realização de um esforço máximo em uma piscina de 50m, sendo o tempo necessário para nadar uma distância de 30m registrado e a velocidade calculada por: $v_{Máx1} = d_{30}/t_{30}$; (2) um corpo hidrodinâmico de arrasto conhecido (Fb), foi anexado ao nadador para a realização de outro esforço máximo, cujo desempenho ($v_{Máx2}$) foi calculado como no primeiro esforço. O valor de Fb para uma faixa de velocidade de 0,70 a 1,85m/s foi calibrado por Pessoa Filho e Kokubun (1997). O intervalo entre o primeiro e o segundo esforço foi de 20 minutos.

Este método assume que o emprego de potência muscular é semelhante entre os esforços e que a diferença entre os desempenhos é atribuída à adição de Fb . Assim, Pu nas condições de desempenho sem e com CHd podem ser comparados, ou seja:

$$\frac{1}{2} C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 = \frac{1}{2} C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v_2^3 \quad (6)$$

Resolvendo a Equação 6 para C_x , obtém-se:

$$C_x = \frac{Fb \cdot v_2}{\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot (v_1^3 - v_2^3)} \quad (7)$$

onde v_1 e v_2 correspondem aos desempenhos em $v_{Máx1}$ e $v_{Máx2}$, respectivamente; ρ é a densidade da água que foi considerada equivalente a 1000kg/m^3 ; e S a área de seção transversa do nadador (expressa em m^2) que foi calculada pelo volume corporal (Vc) elevado a dois-terços ($Vc^{2/3}$), como sugerido pelo método de perturbação. Assim, os valores individuais de S_{Corpo} foram obtidos a partir da relação:

$$S_{Corpo} = Vc^{2/3} = \sqrt[3]{\left(\frac{mc(\text{kg})}{\rho(\text{kg}/\text{m}^3)}\right)^2} \quad (8)$$

Determinação das variáveis do Desempenho

A partir de C_x , a força de arrasto ativo (Fr) e a potência útil à propulsão (Pu) foram calculados pelas equações 1 e 2, respectivamente.

A velocidade máxima ($v_{Máx}$) corresponde à velocidade de nado nos esforços de 30 metros e representa o desempenho individual em esforços de alta intensidade e curta duração, como se caracterizam as provas de velocidade (50 - 100 metros) na natação.

Determinação do fornecimento energia química em intensidade supra-máxima de nado

A produção energética em esforços de curta duração e levada intensidade foi quantificada assumindo os seguintes pressupostos:

a) o suprimento aeróbio, em esforços de até 20s com elevada intensidade, tem contribuição estimada entre 10 a 15% (CAPELLI; PENDERGAST; TERMIN, 1998; WARD-SMITH, 1999), ou ainda, inferior a 10% (WARD-SMITH; RADFORD, 2000). Nestas condições, considerar a participação do metabolismo aeróbio não tem alterado, significativamente, a estimativa total da demanda energética e da eficiência mecânica (BANGSBO et al., 1998). Assim, a contribuição aeróbia foi suprimida no presente estudo.

b) a participação anaeróbia (conteúdo de ATP nas pontes transversas, reservas de fosfocreatina e ATP da glicólise independente de oxigênio) será estimada, em velocidades supra-máximas, a partir da equação:

$$E_{anaer} = (0,418\text{kJ/kg} + \beta[\text{La}]_{\text{sangue}})m_c \quad (9)$$

onde “ E_{anaer} ” é dado em quilojoules; “ β ” é o equivalente energético para a $[La]_{sangue}$ e “ m_c ” é a massa corporal (kg).

O equivalente da participação anaeróbia aláctica ($0,418\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) foi ajustado para a faixa etária dos sujeitos e pelo tempo da atividade, conforme a equação:

$$E_{alac} = 0,393 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (10)$$

onde 0,393 é a constante ajustada para a faixa de idade entre 15-19 anos; t é o tempo da atividade; e τ é a constante de tempo (23,4s) para o aumento monoexponencial do metabolismo aláctico durante o exercício supramáximo (McCANN; MOLE; CATON, 1995). O equivalente aláctico empregado corresponde à hidrólise líquida de 18mmol de

fosfocreatina por quilograma de massa muscular ativa na natação, sendo esta igual a 1/3 do peso corporal (CAPELLI; PENDERGAST; TERMIN, 1998).

O equivalente energético para a concentração de lactato sanguíneo (β) foi assumido em $0,0689\text{kJ}\cdot\text{mmol}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, considerando valores basais de 1,2mmol/L.

Após o esforço de 30-m, sem o corpo hidrodinâmico, retiraram-se amostras de sangue durante o 1º, 3º, 5º e 7º minutos. O maior valor da concentração de lactato no sangue foi considerado a concentração de pico.

A economia de nado (custo de transporte) foi obtida dividindo-se a estimativa da demanda energética total pela distância de nado. A demanda energética ponderada também foi determinada a partir do peso corporal. A conversão do custo energético de quilojoules para quilowatts obedeceu à equivalência: $1\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1} = 1\text{kW}\cdot\text{s}^{-1}$.

Determinação da eficiência propulsiva (ep), da potência mecânica muscular (Po) e da eficiência mecânica (e_{mec})

Na condição determinada pela Equação 6, a força de arrasto que atua sobre o corpo (Fr) é proporcional à força propulsiva gerada pelo hidrofólio (Fp), pressupondo um deslocamento do corpo em equilíbrio dinâmico e uma componente normal (força de sustentação propulsiva, Fsp) pouco significativa para a propulsão.

Assim, igualando as equações 1 e 6 e resolvendo para μ/v , obtém-se:

$$\frac{1}{2} Cx_{Hidrof} \cdot \rho_{H2O} \cdot S_{Hidrof} \cdot \mu^2 = \frac{1}{2} Cx_{Corpo} \cdot \rho_{H2O} \cdot S_{Corpo} \cdot v^2 \quad (11)$$

ou

$$\frac{\mu}{v} = \sqrt{\frac{Cx_{Corpo} \cdot S_{Corpo}}{Cx_{Hidrof} \cdot S_{Hidrof}}}$$

A partir da equação 11, o valor da ep de braçadas com trajetórias retas pode ser estimado:

$$ep = \frac{Fr \cdot v}{Fr \cdot v + Frp \cdot \mu} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{Cx_{Corpo} \cdot S_{Corpo}}{Cx_{Hidrof} \cdot S_{Hidrof}}}} \quad (12)$$

onde Cx_{Hidrof} possui valor fixo sugerido na literatura pela estimativa de Cx da mão (1,4) (SCHLEIHAUF; GRAY; DeROSE, 1983).

A velocidade de deslocamento do hidrofólio (μ), simbolizada por v_{Hidrof} , foi determinada considerando o valor de $Fr \sim Frp$ (ou à Fp), como proposto por Waring (2003). Assim:

$$v_{Hidrof} = \sqrt{\frac{Frp}{\frac{1}{2} Cx_{Hidrof} \cdot S_{Hidrof} \cdot \rho_{H2O}}} \quad (13)$$

Uma vez obtido o valor de ep, pode-se obter a força propulsiva total (Fr_{Total}) e a potência mecânica muscular (Po), a partir das equações 14 e 15:

$$Fp_{Total} \sim Fr_{Total} = \frac{Fr(N)}{ep} \quad (14)$$

e

$$Po(w) = \frac{Pu(w)}{ep} \quad (15)$$

A partir de Po (Equação 15) e das informações sobre a energia química (Equação 9), pode-se determinar a eficiência mecânica, sendo:

$$e_{mec} = \frac{Po(w)}{E(w)} \quad (16)$$

Tratamento Estatístico

O coeficiente de Pearson (r) foi estabelecido entre as variáveis do desempenho (v_{max} e tempo) e da mecânica de nado (Fr, Fr_{Total} , Pu, Po, ep e e_{mec}) e da demanda energética e economia de nado. O nível de significância adotado para rejeitar a ausência de correlação foi de 0,05 e 0,01. O coeficiente de correlação parcial foi verificado, averiguando-

se a influência das demais variáveis sobre o desempenho sem a participação das variáveis demanda energética total e custo de transporte (economia).

A relação linear entre as variáveis também foi testada em torno da reta pelo ajuste linear simples entre as variáveis da demanda energética, economia e mecânica de nado. A variância entre as variáveis foi descrita pelo coeficiente de Pearson ao quadrado (r^2).

O coeficiente de Pearson (r) foi estabelecido entre as variáveis do desempenho (v_{max} e tempo) e da mecânica de nado (Fr, Fr_{Total} , Pu, Po, ep e e_{mec}) e da demanda energética e economia de nado. O nível de significância adotado para rejeitar a ausência de correlação foi de 0,05 e 0,01. O coeficiente de correlação parcial foi verificado, averiguando-se a influência das demais variáveis sobre o desempenho sem a participação das variáveis demanda energética total e custo de transporte (economia).

A relação linear entre as variáveis também foi testada em torno da reta pelo ajuste linear simples entre as variáveis da demanda energética, economia e mecânica de nado. A variância entre as variáveis foi descrita pelo coeficiente de Pearson ao quadrado (r^2).

Resultados

Os valores de Fr ($24,6 \times v^2$) e Pu ($121,5 \pm 38,9$ w) (Tabela 1) estão, respectivamente, em conformidade com os valores referenciais para a força de arrasto ativo (Fr = $21,33 \times v^2$) e para potência propulsiva (Pu = 111w) propostos por Toussaint, Roos e Kolmogorov (2004).

Os valores de força e potência muscular são obtidos a partir dos níveis de ep, dependendo, por isso, do método de mensuração desta variável. Os níveis de ep estão em consonância com aqueles respectivos às braçadas com trajetórias lineares e próximos aos valores obtidos por nadadores habilidosos em velocidades elevadas. A demanda energética (E_{anaer}), o custo de transporte (economia), e os níveis de lactacidaemia (Tabela 2) não diferem daqueles relatados em esforços supramáximos semelhantes ao contextualizado por 1,69 (DP 0,12) m/s. A eficiência mecânica (e_{mec}) e a eficiência total (e_{Total}) também apresentam níveis compatíveis com aqueles relatados em condições supra-máximas, mas mostram-se semelhantes aos valores reportados para circunstâncias de menor intensidade de nado.

Tabela 1. Valores médios \pm DP das variáveis da mecânica de nado.

	Fr (N)	Pu (W)	Fr_{Total} (N)	Po (W)	ep (decimal)
Média	71,06	121,51	139,32	238,06	0,52
DP	18,98	38,92	43,49	84,71	0,04

Tabela 2. Valores médios \pm DP das variáveis de rendimento e de demanda metabólica em máxima intensidade de nado.

	v_{max} (m/s)	Tempo (s)	Lactato (mmol/L)	E_{anaer} (W)	e_{mec} (decimal)	e_{Total} (decimal)	Economia (kJ/m)
Média	1,69	17,79	8,23	2497,40	0,098	0,050	1,46
DP	0,12	1,21	2,33	1015,12	0,025	0,010	0,50

As correlações positivas e significativas entre a velocidade máxima e as variáveis da mecânica e da energética de nado, exceção às variáveis da eficiência, apontam para uma grande associação entre o desempenho (v_{max}) e a aptidão metabólica (E_{anaer} e Demanda metabólica) e neuromecânica do músculo

(Fr, Po, Pu e economia). No entanto, caso a participação energética seja restringida (Tabela 4), a magnitude das grandezas da mecânica de nado (Fr, Po, Pu) passam a apresentar correlações significativas com as variáveis da eficiência (propulsiva e mecânica).

Tabela 3. Coeficiente de Pearson entre as variáveis de rendimento, da mecânica de nado e da energética de nado.

	Economia	Ep	Fr	Pu	Po	E_{anaer}	e_{mec}	Demanda met.	Demanda mec.
v_{max}	0,646*	0,048	0,683*	0,793**	0,690*	0,717**	-0,078	0,672*	0,593
Economia		-0,211	0,723**	0,766**	0,745**	0,995**	-0,261	0,962**	0,641*
ep			-0,670*	-0,541	-0,660*	-0,211	-0,766**	-0,060	-0,760**
Fr				0,986**	0,999**	0,747**	0,434	0,590	0,961**
Pu					0,987**	0,798**	0,327	0,658*	0,930**
Po						0,764**	0,412	0,616*	0,964**
E_{anaer}							-0,252	0,965**	0,641*
e_{mec}								-0,430	0,538
Demanda met.									0,514

*Correlação significativa à 0,05. **Correlação significativa à 0,01. Os termos empregados nesta tabela referem-se à economia (custo) em quilojoules por metro; ep à eficiência propulsiva em decimais; Fr à força de arrasto ativo em Newtons; Pu à potência útil à propulsão em watts; Po à potência muscular em watts; E_{anaer} ao suprimento energético anaeróbio em watts; e_{mec} à eficiência mecânica em decimais; Demanda met. ao suprimento anaeróbio de energia ponderado pelo peso corporal (w/kg); e Demanda mec. à potência muscular ponderada pelo peso corporal (w/kg).

A remoção da influência da demanda energética total (E_{anaer}) sobre as variáveis da mecânica de nado (Fr, Po e Pu) (Tabela 4) causou a remoção das correlações significativas, observadas na Tabela 3, entre estas variáveis e a velocidade máxima de nado. Por outro lado, pronunciou as correlações entre a eficiência mecânica e propulsiva com estas mesmas variáveis, antes inobserváveis na Tabela 3. As associações lineares entre e a eficiência propulsiva e a mecânica de nado (Fr, Po e Pu) tornaram-se mais negativas ao comparar a Tabela 3 com as Tabelas 4 e 5. As correlações lineares inexpressivas entre e_{mec} e a mecânica de nado (Tabela 3), mostraram-se positivas e altamente significativas nas Tabelas

4 e 5. Isto é, sem a influência do aporte energético e do custo de transporte, a adequação da geração de força e potência à manutenção do esforço supra-máximo estaria diretamente associada à magnitude de e_{mec} , ou, em menor nível de associação, à redução de ep (Tabelas 4 e 5). No entanto, a coexistência da contribuição de ambas as eficiências em intensidade supra-máxima é refutada pela elevada correlação negativa entre elas, tanto quando as influências das variáveis da demanda energética total e custo de transporte são consideradas (Tabela 3 e 5), como quando não são consideradas (Tabelas 4).

Tabela 4. Coeficiente de correlação parcial, controlado pela variável demanda energética de nado (E_{anaer}).

	ep	e_{mec}	Fr	Pu	Po	Economia	Demanda metabólica	Demanda mecânica
v_{max}	0,293	0,152	0,319	0,526	0,315	-0,951**	-0,113	0,247
ep		-0,865**	-0,789**	-0,633*	-0,792**	-0,332	0,562	-0,833**
e_{mec}			0,967**	0,904**	0,968**	-0,118	-0,740**	0,942**

*Correlação significativa à 0,05. **Correlação significativa à 0,01.

Sem a influência da demanda energética total, a velocidade de nado reduz sua associação com as variáveis da mecânica de nado (Fr, Po e Pu) para patamares não significativos, mas ainda mantém a ausência de correlação

com as variáveis da eficiência (propulsiva e mecânica). Diante desta restrição, o desempenho da velocidade em condição supra-máxima de nado estabelece correlação significativamente negativa com o custo de transporte (variável

economia) (Tabela 4). Assim, o aumento da economia (i.e. redução do custo de transporte) melhoraria o desempenho, uma vez que aumentar a demanda energética por distância nadado não seria uma estratégia adequada para aumentar a velocidade, considerando o fornecimento energético como restrição orgânica à tarefa. Constata-se, por outro lado, examinando a Tabela 3, que esta associação entre velocidade supra-máxima e custo de transporte também foi considerada significativa, mas estabelecida com proporcionalidade positiva, devido, contudo, à ausência de restrição da demanda energética.

Na Tabela 5 considerou-se o desempenho em velocidade máxima sem a influência do custo de transporte (economia).

Tabela 5. Coeficiente de correlação parcial, controlado pela variável custo de transporte (economia).

	ep	e_{mec}	Fr	Pu	Po	E_{anaer}	Demanda metabólica	Demanda mecânica
v_{max}	0,277	0,124	0,407	0,607	0,409	0,959**	0,240	0,319
ep		-0,886**	-0,742*	-0,570	-0,741*	0,311	0,654*	-0,802**
e_{mec}			0,943**	0,850**	0,943**	0,091	-0,675*	0,928**

*Correlação significativa à 0,05. **Correlação significativa à 0,01.

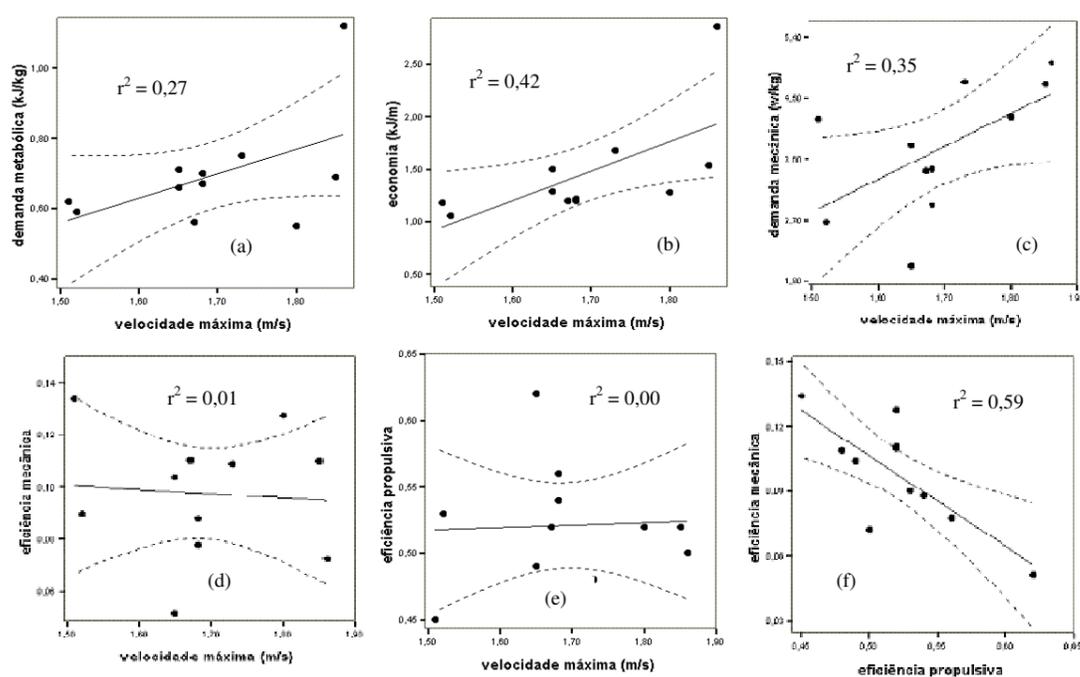


Figura 1. Distribuição linear e ajuste quadrático do coeficiente de linearidade para as relações da velocidade máxima de nado com as variáveis da energética ponderada (a), custo de transporte (b), demanda de potência muscular ponderada (c) e das eficiências de nado (d, e) sobre a velocidade de nado e entre as eficiências (f).

O exame da dispersão, em torno da reta de identidade, para as correlações estabelecidas na Tabela 3 são apresentadas nas Figuras 1 e 3. Na Figura 1, constata-se o coeficiente baixo, não significativo, de explicação, em termos relativos, da variação nos valores da velocidade máxima do crawl pelas variáveis da demanda energética e mecânica, economia e eficiências de nado. No entanto, cerca de 60% da

variação na eficiência mecânica pode ser explicada pela variação, inversamente proporcional, na eficiência propulsiva. A Figura 2 ilustra uma comparação entre os sujeitos da variação nas eficiências (propulsiva, mecânica e total), demanda energética total e velocidade de nado.

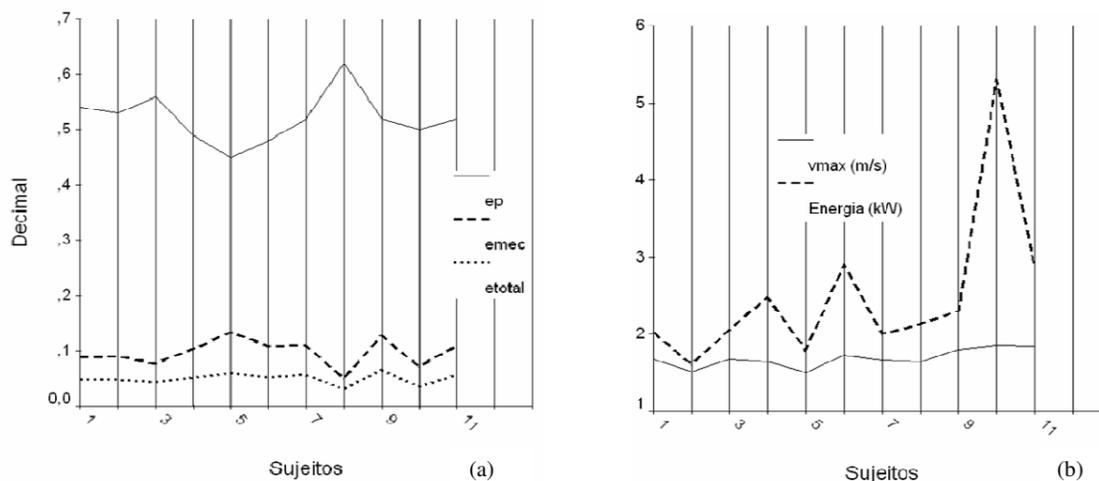


Figura 2. Comparação entre os valores de eficiência (a) e entre a energética e a velocidade de nado (b) para os sujeitos analisados.

A Figura 2 indica que valores intermediários de eficiência propulsiva e mecânica devem estar associados com valores elevados de suprimento energético para assegurar velocidade de nado acima da média (sujeitos 4, 6 e 11); e que valores elevados de eficiência propulsiva são equilibrados com valores baixos de eficiência mecânica, assegurando um bom desempenho caso o suprimento energético esteja acima da média (sujeitos 3 e 8). Ainda, valores elevados de eficiência mecânica garantem o desempenho se estiverem associados aos valores de suprimento energético acima da média (sujeitos 7 e 9), caso contrário não (sujeito 5). Para aqueles com níveis baixos de eficiência (propulsiva e mecânica), o desempenho mostra-se acima da média somente à custa de um suprimento energético muito elevado (sujeito 10).

Na Figura 3, constata-se que 63% da variação na quantidade de potência útil à propulsão é explicada pela variação na velocidade de nado e no suprimento energético. Por sua vez, a potência muscular tem a variação de seu valor explicada por 48 a 58% na variação destas mesmas variáveis. Contudo, o coeficiente de explicação da variação nos valores da potência útil à propulsão e da potência muscular pelas variáveis da eficiência (propulsiva e mecânica) de nado são baixos e não significativos.

Na Figura 4 verifica-se o comportamento da potência propulsiva e muscular, além do tempo de desempenho, para alterações positivas e negativas de 10% na eficiência mecânica e aumento de 10% na demanda anaeróbia. O aumento de 10% na eficiência mecânica traduz-se em aumento da disponibilidade de potência mecânica, sem que

haja alteração da demanda energética, proporcionando efeitos positivos sobre o desempenho. A redução de 10% na eficiência mecânica provoca uma redução da disponibilidade de potência mecânica, caso a demanda energética não possa ser aumentada, afetando diretamente o desempenho. Caso a

demanda energética total (E_{anaer}) aumente em 10%, sem que haja alteração da potência muscular total e útil à propulsão, configura-se uma estratégia que não altera o desempenho, mas conduz à diminuição da eficiência mecânica.

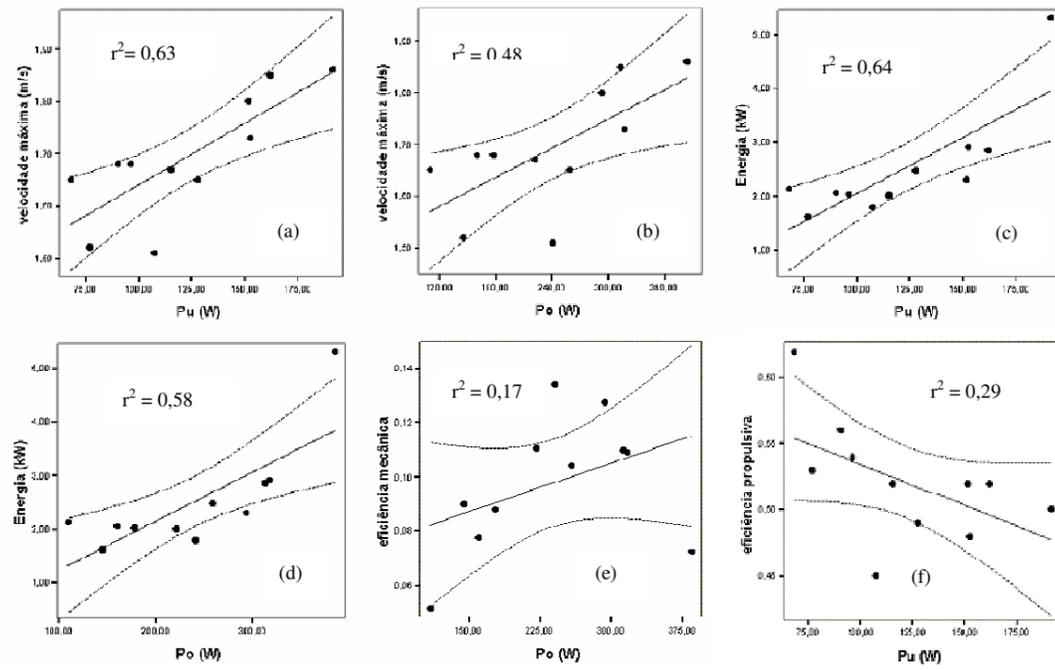


Figura 3. Distribuição linear e ajuste quadrático do coeficiente de linearidade para as relações da mecânica de nado com as variáveis da velocidade (a, b), energética (c, d) e eficiência de nado (e, f).

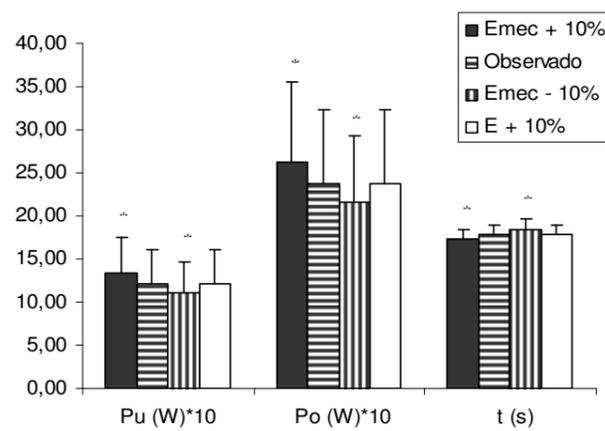


Figura 4. Comparação entre os valores observados de potência útil à propulsão (P_u), potência mecânica gerada pelo músculo (P_o) e rendimento (t) e os valores destas mesmas variáveis frente à alteração de 10% na eficiência mecânica (e_{mec}) e na demanda energética (E). *Diferença significativa ($\leq 0,01$) em relação às demais variações intra-variável. Vide texto para maiores detalhes.

Discussão dos Resultados

Em eventos de curta duração, a meta do desempenho é desenvolver elevada velocidade de deslocamento corporal. Na natação, as associações evidenciam que o aporte energético é o critério determinante da obtenção, ou sustentação, da velocidade máxima de nado, dada à relação exponencial que mantém entre si (TOUSSAINT, 1990, PENDERGAST et al., 2006). Entre nadadores, as diferenças de magnitude da velocidade são atribuídas aos fatores: redução do arrasto ativo e aumento da força específica (útil à propulsão) (TOUSSAINT et al., 2006). Nadadores habilidosos apresentam melhor aproveitamento da potência mecânica disponibilizada pelo músculo, i.e. uma maior ep (TOUSSAINT, 2006; DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988). Em condições submáximas, esta maior ep é um indicador de um menor custo de transporte, i.e. economia de nado (TOUSSAINT, 2006), tornando possível a obtenção de uma velocidade absoluta de nado maior em relação àquela apresentada por nadadores menos econômicos (CAPELLI; PENDEGAST; TERMIN, 1998).

No entanto, nadar em velocidade individual máxima, ou em condições exaustivas, requer uma frequência máxima de braçada, o que impõe restrições mecânicas e fisiológicas à emergência de um padrão de movimentos da braçada, operacionalmente, robusto para acomodar economicamente esta exigência da tarefa (AUJOUANNET et al., 2006). Nestas condições, a demanda por potência propulsiva é atendida pela disponibilização de uma maior potência muscular, a partir de um maior aporte energético, ou uma maior eficiência mecânica (PENDERGAST et al., 2003).

No presente estudo, a influência exercida pela demanda energética e pela economia de nado sobre a velocidade máxima de nado e sobre as variáveis da mecânica de nado (Fr , Po e Pu) foi excluída, a fim de considerar as restrições impostas ao desempenho da tarefa, e analisar a emergência de novos critérios influentes no desempenho, ao simular uma condição de suprimento deficitário de energia. Os resultados demonstraram que, em condições de aporte energético deficitário, uma maior eficiência mecânica assegura a magnitude adequada das variáveis mecânicas, tornando a redução do custo de transporte, i.e. maior economia, prerrogativa para o desempenho da velocidade (Tabela 4). Por outro lado, sem a intervenção de uma maior demanda energética por unidade de distância, como sugerido pela Tabela 5, as solicitações por potência propulsiva e muscular são atendidas pela eficiência mecânica e, assim, um maior aporte energético subsidiaria valores absolutos maiores destas

potências, o que o torna critério para o desempenho nestas condições.

Os valores encontrados, neste estudo, para a demanda energética total ($2497,4 \pm 1015,12W$, Tabela 2) são consoantes aos valores de $2,77kW (\pm 0,52)$ reportados por Capelli, Pendergast e Termin (1998) para a demanda anaeróbia do crawl em velocidade de $1,97 \pm 0,07m/s$ por uma distância de 45,7m. No entanto, custo de transporte (economia) relatado por estes autores, nestas mesmas condições de nado, foi de $2,25kJ/m (\pm 0,199)$, enquanto que o valor de $1,46kJ/m (\pm 0,5)$ foi observado no presente estudo (Tabela 2) para uma velocidade do crawl de $1,69m/s (\pm 0,12)$ por 30m. Esta discrepância entre os custos de transporte (economia) deve-se a consideração da participação energética aeróbia nos valores apresentados por Capelli, Pendergast e Termin (1998), uma vez que ao desconsiderá-la o custo de transporte seria de $\sim 1,41kJ/m$, ou seja, muito semelhante à média determinada no presente estudo. Ainda, os valores determinados estão em normalidade (até um desvio-padrão de variância) com o referencial teórico, proposto por Pendergast et al. (2003), para a demanda energética ($E = 0,6v^{1,87}$, kW) e custo de transporte (E/v , kJm^{-1}), propiciando, a partir das informações apresentadas nas Tabelas 1 e 2, valores de $1,6kW$ e $0,95kJ/m$, respectivamente.

Cabe ressaltar que ao considerar a demanda aeróbia inexpressiva em esforços supramáximos de curta duração, i.e. 30m em $17,79s (\pm 1,21)$. Esta seria uma limitação do presente estudo, caso seja irrefutável o apontamento de Ogita (2006) quanto à participação aeróbia de 15 a 20% em desempenhos com duração de até 15s. Entretanto, ao considerar a demanda energética, em exercícios supramáximos, possível de ser estimada a partir da relação linear entre intensidade do esforço e a produção energética em exercícios submáximos desconsidera-se que: (1) a cinética do consumo de oxigênio (VO_2) durante a progressão da intensidade dentro dos limites do exercício submáximo não é linear; e que (2) o VO_2 não permanece estável durante exercícios mantidos em intensidade submáxima elevada, tornando a inclinação da reta dependente do momento em que se realiza a coleta (BANGSBO, 1998). Então, quanto maior a intensidade do exercício supramáximo, mais pronunciada é a subestimação do déficit de O_2 e, conseqüentemente, a superestimação da participação aeróbia.

Outro ponto a ser considerado é a concentração de lactato, que foi empregada como indicador majoritário da demanda anaeróbia. A determinação direta da produção de energia anaeróbia é realizada pela quantificação das variações nas concentrações musculares de ATP e fosfocreatina (PCr), e

pelo acúmulo de metabólitos, como lactato e piruvato (BANGSBO, 1998). Em exercícios que empregam simultaneamente diferentes segmentos corporais na atividade, a biópsia muscular dificilmente forneceria valores representativos da atividade metabólica de todos os músculos envolvidos no exercício. A demonstração do aumento proporcional na concentração de lactato pós-exercício com o aumento da intensidade do exercício (LACOUR; BOUVAT; BARTHÉLÉMY, 1990) encontra respaldo no fato de que a produção anaeróbia láctica de ATP aumenta constantemente com a redução do VO_2 da atividade (GLADDEN; WELCH, 1978). De fato, uma relação linear é evidenciada entre a produção de lactato e seu gradiente de concentração (BANGSBO, 1998), para uma distribuição uniforme em um volume normal do total de água corporal (45 a 75% do peso corporal) (GLADDEN; WELCH, 1978). Esses princípios permitem postular que a concentração de lactato está relacionada à demanda energética anaeróbia, contribuindo em média com 64% do total desta na corrida e no ciclismo em esforços supramáximos com duração de 30s (CHEETHAM et al., 1986; BOOBIS; WILLIAMS; WOOTTON, 1982). Outro componente importante é a PCr, que atinge sua participação máxima em uma constante de tempo de 20 a 24s, contribuindo com um taxa entre 16-18mmol por quilograma de massa muscular ativa (McCANN; MOLÉ; CATON, 1995).

Na natação, o percentual de contribuição da glicólise independente do oxigênio não é diferente deste apresentado para esportes terrestres. Em velocidade máxima do crawl (1,97m/s), Capelli, Pendergast e Termin (1998) reportaram valores de $9,9 \pm 2,16$ mmol/L de lactato pico após um esforço de 23,2 s, que perfazem cerca de 70% do total da demanda anaeróbia de energia. A concentração pico de lactato, no presente estudo, foi de $8,23 \pm 2,33$ mmol/L após um esforço de $17,79 \pm 1,21$ s (Tabela 2), que produziram $68,70 \pm 5,98\%$ da demanda anaeróbia de energia. Os valores da concentração de lactato apresentados em ambos os estudos assemelham-se aos valores de 8-10mmol/L considerados máximos, por Chatard, Paulin e Lacour (1988), para provas de 50m com duração de $26,7 \pm 1,9$ s.

A velocidade média de $1,69 \pm 0,12$ m/s do crawl, no presente estudo, é muito inferior à velocidade reportada por Capelli, Pendergast e Termin (1998). Assim, quais os componentes do desempenho estariam promovendo esta diferença, uma vez que as variações na demanda total de energia anaeróbia e custo de transporte podem ser considerados compatíveis entre os estudos?

Em velocidade máxima de nado, a frequência de braçada (FB) apresenta um elevado coeficiente de determinação sobre o aumento da velocidade ($r^2 = 0,74$), redução da distância percorrida por braçada (DB) ($r^2 = 0,77$) e acúmulo de lactato ($r^2 = 0,69$) (KERSKINEN; KOMI, 1988). Por estes resultados, esses autores postularam que a FB não poderia aumentar além de um limite máximo sem prejuízos à velocidade, devido ao elevado custo energético necessário para evitar decréscimos significativos em DB. Assim, as diferenças deste limite entre nadadores possibilita um aumento maior de FB sem um decréscimo concomitante, em DB (CRAIG et al., 1985), ou dito de outra forma, nadadores habilidosos obtém uma maior DB em uma dada FB, quando comparados aos seus pares menos habilidosos (KERSKINEN; KOMI, 1988), caracterizado-os também como econômicos (TOUSSAINT et al., 1988).

Essas informações adquirem significado para o presente estudo, ao considerar a interpretação de Weiss et al. (1988) para estas relações: nadadores habilidosos conseguem aumentar FB e a velocidade de nado sem aumentos exagerados na concentração de lactato, muito provavelmente porque a diminuição de DB é menos pronunciada. Esta parece ser a chave para a resposta da diferença de desempenho entre os nadadores analisados no presente estudo e aqueles analisados por Capelli, Pendergast e Termin (1998). Isto porque DB depende da magnitude da força propulsiva (KERSKINEN; KOMI, 1988) e a geração desta força em condições de esforço supramáximo depende, por sua vez, da magnitude da potência muscular (SHARP; TROUP; COSTILL, 1982, WEISS et al., 1988; TOUSSAINT et al., 1990; TOUSSAINT, 2006; PENDERGAST et al., 2006). As correlações apresentadas na Tabela 2, entre Po e Pu com a velocidade máxima de nado, bem como o nível de influência destes parâmetros sobre a variação na velocidade (48 e 63%, respectivamente) corroboram esta afirmação. Mas como esta potência é obtida em condições orgânicas restritas pela eminência da exaustão com o acúmulo de metabólitos?

A redução de Pu, i.e. a potência efetivamente empregada na propulsão, é o principal indicativo da fadiga, sendo necessário reduzir FB e, assim, a velocidade de nado para compensá-la (TOUSSAINT et al., 2006). Esse ajuste visa reorganizar os parâmetros de coordenação da ação do hidrofólio durante a braçada, garantindo a geração de vetores de força efetivos em magnitude e orientação (BERGER; HOLLANDER; DeGROOT, 1997) e, assim, preservando um bom nível de ep e a estabilidade de DB (TOUSSAINT et al., 2006). Contudo, se FB e a velocidade forem mantidos, o desempenho passa a depender da seguinte relação:

Motriz, Rio Claro, v.13, n.3, p.188-202, jul./set. 2007

$$v_{\max} = \frac{E_{\text{Total max}}}{\text{Economia}} \quad (17)$$

sendo E_{Totalmax} é definida como Po/e_{mec} equivalente à variável E_{aner} no presente estudo; e a Economia dependente da relação E_{Totalmax}/v , então, obtém-se a partir da equação 17:

$$v_{\max} = \frac{E_{\text{Total max}}}{Po/e_{\text{mec}}} \quad (18)$$

Para Pendergast et al. (2006), a equação 18 sugere que o aumento na velocidade máxima de nado depende do aumento na demanda energética, caso os demais componentes mantenham-se estáveis, ou da e_{mec} , desde que a demanda energética e a potência muscular não apresentem grandes alterações. Os sujeitos 6, 9 e 11, na Figura 2, confirmam estas especulações. Estas relações também podem ser evidenciadas na Tabela 1 e 3, onde a variável da demanda energética apresenta a correlação mais estreita com a velocidade de nado. Uma importante anotação é que a Economia tem grande influência sobre a velocidade (Tabela 1 e Figura 1), quando uma grande demanda energética está disponível. Porém, em condições de demanda energética restrita (Tabela 2), a equação 17 sintetiza sua influência sobre a velocidade de nado: negativa, caso venha a diminuir (i.e. aumentar o custo de transporte).

A interdependência entre energia total demandada, eficiência mecânica e potência muscular, $E_{\text{Totalmax}} = Po/e_{\text{mec}}$, apresentada junto com a equação 17, indica que a magnitude de Po é influenciada pelos níveis de e_{mec} quando a demanda energética está restrita. Isso porque, nestas condições, o músculo tende a trabalhar na melhor relação entre suas propriedades de força/comprimento e velocidade/comprimento, aumentando os níveis de e_{mec} (PENDERGAST et al., 2003). A veracidade deste fato para a natação ainda permanece por ser estabelecida, porém Toussaint et al. (1990) evidenciaram um aumento contínuo da e_{mec} entre uma faixa de velocidade de 0,75 a 1,5 m/s. As correlações elevadas e positivas de e_{mec} com Po , Pu e Fr e negativa com a Demanda metabólica (Tabelas 3 e 4), parecem atender à esta especulação. As Tabelas 3 e 4 ainda confirmam a ausência de correlação entre e_{mec} e o custo de transporte (economia), como relatado por Cavanagh e Kram (1985), mas a equação 18 sugere que uma maior e_{mec} resultaria em um menor custo de transporte, bem como possibilitaria uma maior DB (PENDERGAST et al., 2003). Este é outro fato que permanece por ser elucidado.

A eficiência mecânica é caracterizada, no presente estudo, como a eficiência do trabalho muscular. Isto pressupõe que seu dividendo seja a potência muscular ($Fr \cdot v \cdot e^{-1} \sim Pu \cdot e^{-1}$), i.e. trabalho realizado no ambiente (TOUSSAINT et al., 1990; TOUSSAINT, 2006); e que o seu divisor seja a demanda líquida de energia, i.e. energia gasta acima daquela gasta em repouso (CAVANAGH; KRAM, 1985). Assim, difere-se da eficiência baseada em valores da força de arrasto, que, conforme Pendergast et al. (2003), considera apenas o efeito do arrasto sobre a demanda energética total. Os valores apresentados na Tabela 2 ($9,8 \pm 2,5\%$) são compatíveis com as referências de 5,9 a 9,5% propostos para nadadores masculinos, em uma faixa de velocidade de 0,75 a 1,5 m/s (TOUSSAINT et al., 1990). Salienta-se, no entanto, que os valores reportados por estes autores foram estimados no crawl executado apenas com os braços, que proporciona, segundo os autores, valores acima daqueles previstos para o nado completo. Outras referências de eficiência mecânica são apresentadas por Zamparo et al. (2002) ($e_{\text{mec}} = 11 \pm 2\%$) e por Pendergast et al. (2003) ($e_{\text{mec}} = 18\%$) determinados para velocidades de até 1,4m/s, que estão um pouco acima daqueles reportados neste estudo. Porém, esses autores incluíram a estimativa do trabalho mecânico interno no cálculo do trabalho mecânico total.

A especulação da variação de e_{mec} em torno de 10% (positivo e negativo) sobre a magnitude de Po , Pu e desempenho (tempo de nado), apresentada na Figura 4, evidencia a supremacia desta variável em promover alterações no desempenho de nado, em condições supra-máximas de esforço, quando comparada aos valores observados de desempenho e à influência que a variação no suprimento total de energia anaeróbia promoveria sobre o desempenho.

Conclusão

Pode-se concluir que o desempenho máximo de nado é correlativo à magnitude do aporte energético anaeróbio, do custo de transporte e das grandezas mecânicas específicas à propulsão (Fr e Pu) e ao músculo (Po), e que tanto a eficiência propulsiva, como a eficiência mecânica, não são critérios diretamente relacionados ao desempenho máximo do nado crawl. Contudo, ao impor restrições à influência da energética muscular e do custo de transporte sobre as variáveis mecânicas (Fr , Po e Pu), a eficiência mecânica desponta como critério para a magnitude de Fr , Po e Pu em ambas as restrições.

Sugere-se investigar a legitimidade da variação (aumento ou diminuição) da distância por ciclo, frente às restrições

impostas ao sistema locomotor (inaptidão ou exaustão), como um critério gestual das diferenças de desempenho entre nadadores. Bem como, analisar a eficiência total do desempenho, no caso específico da natação, como um parâmetro biocinético integrador da organização motora e muscular na tarefa.

Referências

- AUJOUANNET, Y. A.; BONIFAZI, M.; HINTZY, F.; VUILLERME, N.; ROUARD, A.H. Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism**, Ottawa, v. 31, n. 2, p. 150-158, 2006. <http://dx.doi.org/10.1139/H05-012>
- BANGSBO, J. Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 30, n. 01, p. 47-52, 1998. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-199801000-00007.htm;jsessionid=H9HNMBsGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.
- BERGER, M. A. M.; HOLLANDER, A. P.; DeGROOT, G. Technique and energy losses in front crawl. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 29, n. 11, p. 1491-1498, 1997. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-199711000-00016.htm;jsessionid=H9HNMBsGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.
- BOOBIS, L. H.; WILLIAMS, C.; WOOTTON, A. S. Human muscle metabolism during brief maximal exercise. **Journal of Physiology**, London, v. 338, p. P21-P22, 1983.
- CAPELLI, C.; PENDERGAST, D. R.; TERMIN, B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, New York, v. 78, n. 5, p. 385-393, 1998. <http://doi.doi.org/10.1007/s004210050435>
- CAVANAGH, P. R.; KRAM, R. The efficiency of human movement – a statement of the problem. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 17, n. 3, p. 304-308, 1985. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-198506000-00002.htm;jsessionid=H9HNMBsGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.
- CHATARD, J. C.; PAULIN, M.; LACOUR, J. R. Postcompetition blood lactate measurements and swimming performance: illustrated by data from a 400-m olympic record holder. In: UNGERECHTS, B. E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (Ed.) **Swimming science V**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p. 311-316.
- CHEETHAM, M. E.; BOOBIES, L. H.; BROOKS, S.; WILLIAMS, C. Human muscle metabolism during sprint running. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 61, n. 1, p. 54-60, 1986. Disponível em: <http://jap.physiology.org/cgi/content/abstract/61/1/54>. Acesso em: 31 jan. 2007.
- CRAIG, A. B. JR.; SKEHAN, P. L.; PAWELCZYK, J. A.; BOOMER, W. L. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 17, n. 6, p. 625-634, 1985. Disponível em: Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-198512000-00001.htm;jsessionid=H9HNMBsGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.
- DeGROOT, G.; INGEN SCHENAU, G. V. Fundamentals mechanics applied to swimming: technique and propelling efficiency. In: UNGERECHTS, B. E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (Ed.) **Swimming science V**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p. 17-30.
- DiPRAMPERO, P. E.; PEETERS, L.; MARGARIA, R. Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhaustive exercise in man. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 34, n. 5, p. 628-632, 1973. Disponível em: <http://jap.physiology.org/cgi/content/citation/34/5/628> Acesso em: 31 jan. 2007.
- DiPRAMPERO, P. E.; PENDERGAST, D. R.; WILSON, D. W.; RENNIE, D. W. Energetics of swimming in man. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 37, n. 37, n. 1, p. 1-5, 1974. Disponível em: <http://jap.physiology.org/cgi/content/citation/37/1/1> Acesso em: 31 jan. 2007.
- GLADDEN, L. B.; WELCH, H. G. Efficiency of anaerobic work. **Journal of Applied Physiology: Respiratory Environmental and Exercise Physiology**, Bethesda, v. 44, n. 4, p. 564-570, 1978. Disponível em: <http://jap.physiology.org/cgi/content/abstract/44/4/564> Acesso em: 31 jan. 2007.
- KERSKINEN, K. L.; KOMI, P. V. Interaction between aerobic/anaerobic loading and biomechanical performance in freestyle swimming. In: UNGERECHTS, B. E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (Ed.) **Swimming science V**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p. 109-113.
- KOLMOGOROV, S. V.; DUPLISHCHEVA, O. A. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity.

Journal of Biomechanics, Oxford, v. 25, n. 3, p. 311-18, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290\(92\)90028-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290(92)90028-Y)

LACOUR, J. R.; BOUVAT, E.; BARTHÉLÈMY, J. C. Post-competition blood lactate concentration as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, New York, v. 61, n. 3/4, p. 172-176, 1990. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00357594>

McCANN, D. J.; MOLÈ, P. A.; CATON, J. R. Phosphocreatine kinetics in humans during exercise and recovery. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 27, n. 3, p. 378-387, 1995. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-199503000-00014.htm;jsessionid=H9HNMBSGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.

OGITA, F. Energetics in competitive swimming and its application for training. In: VILAS-BOAS, J. P.; ALVES, F.; MARQUES, A. (Ed.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Porto, v. 6, supl. 2, p. 117-121, 2006.

PENDERGAST, D.; ZAMPARO, P.; DiPRAMPERO, P. E.; CAPELLI, C.; CERRETELLI, P.; TERMIN, A.; CRAIG, Jr., A. B.; BUSHNELL, D.; PASCHKE, D.; MOLLENDORF, J. Energy balance of human locomotion in water. **European Journal of Applied Physiology**, New York, v. 90, n. 3/4, p. 377-386, 2003. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-003-0919-y>

PENDERGAST, D. R.; CAPELLI, C.; CRAIG, Jr., A. B.; DiPRAMPERO, P. E.; MINETTI, A. E.; MOLLENDORF, J.; TERMIN, A.; ZAMPARO, P. Biophysics in swimming. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Porto, v. 6, supl. 2, p. 185-189, 2006. VILAS-BOAS, J. P.; ALVES, F.; MARQUES, A. (Ed.) Biomechanics and Medicine in Swimming X.

PESSÔA FILHO, D. M.; KOKUBUN, E. Proficiência mecânica e desempenho de nado: uma análise a partir da determinação do arrasto no meio líquido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 7., 1997, Campinas, SP. **Anais...** p. 63-67.

ROBERTS, T. J.; KRAM, R.; WEYAND, P. G.; TAYLOR, C. R. Energetics of bipedal running: I. metabolic cost of generating force. **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 201, n. 19, p. 2745-2751, 1998. Disponível em: <http://jeb.biologists.org/cgi/content/abstract/201/19/2745> Acesso em: 31 jan. 2007.

SCHLEIHAUF, R. E.; GRAY, L.; DeROSE, J. Three-dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. In: HOLLANDER, A. P.; HUIJING, P. A.;

DeGROOT, G. (Ed.). **Biomechanics and medicine in swimming**. Champaign: Human Kinetics, 1983. p. 165-12.

SHARP, R. L.; TROUP, J. P.; COSTILL, D. L. Relationship between power and sprint freestyle swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 14, n. 1, p. 53-56, 1982. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-198214010-00010.htm;jsessionid=H9HNMBSGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.

TOUSSAINT, H. M. Technology applied to optimise training for improvement of front-crawl swimming performance. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Porto, v. 6, supl. 2, p. 205-210, 2006. VILAS-BOAS, J. P.; ALVES, F.; MARQUES, A. (Ed.) Biomechanics and medicine in swimming X.

TOUSSAINT, H. M.; BEEK, P. J. Biomechanics of competitive front crawl swimming. **Sports Medicine**, Auckland, v. 13, n. 1, p. 8-24, 1992.

TOUSSAINT, H. M.; HOLLANDER, A. P. Energetics of competitive swimming: implications for training programs. **Sports Medicine**, Auckland, n. 18, v. 6, p. 384-405, 1994.

TOUSSAINT, H. M., ROSS, P. E., KOLMOGOROV, S. The determination of drag in front crawl swimming. **Journal of Biomechanics**, Oxford, v. 37, n. 11, p. 1655-1663, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.020>

TOUSSAINT, H. M.; HOLLANDER, A. P.; DeGROOT, G.; VAN INGEN SCHENAU, G. J.; VERVOORN, K., DE BEST, H.; MEULEMANS, T.; SCHREUS, W. Measurement of efficiency in swimming man. In: UNGERRECHTS, B. E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (Ed.) **Swimming Science V**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p. 219-227.

TOUSSAINT, H. M.; KNOPS, W.; DeGROOT, G.; HOLLANDER, A. P. The mechanical efficiency of front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 22, n. 3, p. 402-408, 1990. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-199006000-00019.htm;jsessionid=H9HNMBSGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.

TOUSSAINT, H. M.; CAROL, A.; KRANENBORG, H.; TRUIJENS, M. Effect of fatigue on stroking characteristics in an arm-only 100-m front-crawl race. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 38, n. 9, p. 1635-1642, 2006. Disponível em: Acesso em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-200609000-00014.htm;jsessionid=H9HNMBSGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.

Motriz, Rio Claro, v.13, n.3, p.188-202, jul./set. 2007

VILAS-BOAS, J. P. Aproximação biofísica ao desempenho e ao treino de nadadores. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 107-117, 2000. Disponível em: <http://www.usp.br/eef/rpef/v14n22000/v14n2p107.pdf>
Acesso em: 31 jan. 2007.

WARD-SMITH, A. J. Aerobic and anaerobic energy conversion during high-intensity exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 31, n. 12, p. 1855-1860, 1999. Disponível em: Acesso em: <http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-199912000-00025.htm;jsessionid=H9HNMBsGKW2gdCq8gfsTM6d2zQsMLv3jqhB22bcYd7x8jChn2Syj!-383192544!181195628!8091!-1> Acesso em: 31 jan. 2007.

WARD-SMITH, J. A; RADFORD, P. F. Investigation of the kinetics of anaerobic metabolism by analysis of the performance of elite sprinters. **Journal of Biomechanics**, Oxford, v. 33, n. 8, p. 997-1004, 2000.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00035-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00035-X)

WARING, J. Drag is not enough: drag forces alone are ineffective for propulsion. **Swimming Technique**, Los Angeles, v. 39, n. 4, p. 23-26, 2003.

WEISS, M.; REISCHLE, K.; BOUWS, N.; SIMON, G.; WEICKER, H. Relationship of blood lactate accumulation to stroke rate and distance per stroke in top female swimmers. In: UNGERRECHTS, B. E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (Ed.) **Swimming science V**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p. 295-303.

ZAMPARO, P.; PENDERGAST, D. R.; TERMIN, B.; MINETTI, A. E. How fins affect the economy and efficiency of human swimming. **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 205, p. 2665-2676, 2002. Disponível em: <http://jeb.biologists.org/cgi/content/abstract/205/17/2665>
Acesso em: 31 jan. 2007.

Endereço:

Dalton Muller Pessoa Filho
Departamento de Educação Física, Faculdade de Ciências - UNESP
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n
Bauru SP
17033-360
e-mail: dmpf@fc.unesp.br

Recebido em: 08 de novembro de 2007.

Aceito em: 24 de janeiro de 2008.