

Métodos para determinação do consumo de oxigênio, economia de nado e custo energético em natação

FLÁVIO ANTÔNIO DE SOUZA CASTRO

Laboratório de Pesquisa do Exercício
Escola de Educação Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo Consumo de oxigênio e suas variantes economia de nado e custo energético, são variáveis fisiológicas e biofísicas determinantes para o desempenho em natação. Há inúmeros métodos desenvolvidos para a mensuração do consumo de oxigênio na modalidade, devido às particularidades do meio. Este artigo busca revisar esses métodos e seus resultados. Pretende trazer à tona da discussão científica a necessidade de melhor desenvolver tecnologia na área, que seja acessível não apenas aos laboratórios, mas a equipes competitivas que buscam na avaliação uma ferramenta de apoio ao processo de treinamento.

Palavras-chave: natação, consumo de oxigênio, métodos, custo

A natação é uma modalidade desportiva singular, à medida que se desenvolve em um meio que não é o usual para o ser humano deslocar-se. A água, ao mesmo tempo em que recebe as forças propulsivas produzidas pelo nadador, oferece grande resistência ao deslocamento do mesmo. Essas condições conferem à natação uma característica de alta dependência da habilidade técnica do atleta (CAPUTO *et al.*, 2000). Por outro lado, o desempenho, em natação, pode ser descrito de maneira univariada, como a capacidade de nadar a distância prescrita, conforme as regras, no menor tempo possível (CHATARD *et al.*, 1990a; CHATARD *et al.*, 1991a). Ainda, devido à complexidade do ambiente aquático, Pendergast *et al.* (2003) afirmam que a locomoção no meio aquático oferece um interessante desafio à compreensão do movimento humano, que tem sido, tradicionalmente, investigado sob dois aspectos: (a) biomecânico, com métodos que focam a compreensão dos determinantes mecânicos do movimento; e (b) fisiológico, com métodos focados no estudo dos requerimentos energéticos necessários ao deslocamento no meio, especialmente os competitivos.

A fim de que o nadador consiga, durante sua prova, a manutenção da melhor técnica (relacionada com alta velocidade de nado e com longo comprimento de braçada) para o melhor desempenho, as condições fisiológicas devem ser adequadas. Essas condições estão relacionadas à capacidade de fornecimento de energia suficiente para o adequado nível de contração muscular, o que pode ser avaliado, também, pelo consumo de oxigênio.

De acordo com Toussaint; Hollander (1994), a taxa de gasto energético está relacionada à velocidade de nado, à eficiência bruta, à eficiência propulsiva e à resistência do meio. Segundo esses autores, a energia, para eventos em natação, é gerada por processos aeróbios e anaeróbios e um balanço deveria existir entre a energia necessária para nadar uma distância em determinado tempo e o total de energia disponível neste tempo a partir dos sistemas de produção de energia. As relações entre o consumo de oxigênio, a economia de nado e o desempenho em natação têm sido foco de diversos estudos (CHATARD *et al.*, 1991a,b; POUJADE *et al.*, 2003).

De acordo com Gullstrand (1992) a utilização de valores de consumo de oxigênio, para nadadores, expressos em $\text{ml}\cdot(\text{kg}\cdot\text{min})^{-1}$ não é plenamente justificável, devido à influência da força de sustentação; neste caso, aumento da massa corporal total por tecido de gorduras, por exemplo, apresenta pouco efeito negativo na água quando comparado ao mesmo efeito negativo para atividades terrestres. Por isso, o autor sugere que se expresse, para nadadores, os valores de consumo de oxigênio em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ou, ainda, por $\text{ml}\cdot(\text{kg}\cdot\text{min})^{-1}$, desde que a massa corporal seja obtida do peso hidrostático, não do peso terrestre.

Diferentes procedimentos têm sido utilizados para determinar o gasto energético em natação, e a identificação do consumo de oxigênio, máximo ou não, durante, e/ou imediatamente após a natação, oferece um método indireto para a aproximação deste custo energético. Mas, de acordo com Holmér (1979), pesquisa de caráter fisiológico, em natação, devido às condições

ambientais, aos movimentos corporais e às viradas em piscinas de tamanho padrão, encontra maior nível de dificuldade de ser realizada. A fim de superar essas condições adversas, algumas metodologias têm sido desenvolvidas a fim de permitir a mensuração do consumo de oxigênio em condições mais próximas à realidade do atleta de natação. Dentre essas técnicas podem ser citadas a utilização do *swim flume* (Bonen *et al.*, 1980; Wakayoshi *et al.*, 1995; Demarie *et al.*, 2001), nado estacionário (BONEN *et al.*, 1980; RINEHARDT *et al.*, 1991); retro-extrapolação a partir da curva de recuperação (MONTPETIT *et al.*, 1981; RIBEIRO *et al.*, 1990; RINEHARDT *et al.*, 1991; CARRÉ *et al.*, 1994; POUJADE *et al.*, 2003); ergômetro de braço e perna (KONSTANTAKI; SWAINE, 1999; PRIOUX *et al.*, 2001) e natação com coleta durante o nado (BONEN *et al.*, 1980; CHATARD *et al.*, 1991a; CAPELLI *et al.*, 1998; FERNANDES *et al.*, 2003; POUJADE *et al.*, 2003).

Em relação à utilização do *swim flume* em pesquisas de caráter fisiológico, Holmér, já em 1979, afirmava que, possivelmente, era o mais sofisticado ergômetro de natação; consistindo de um tanque, com paredes de material transparente, onde a água circula em velocidades pré-determinadas, devido à ação de motores, permitindo ao indivíduo realizar um nado estacionário que pode ser analisado, mais facilmente, sob as óticas fisiológica e biomecânica. Por outro lado, os custos de construção impedem, até o momento, uma maior massificação do *swim flume* na pesquisa em natação. Dentre os estudos que utilizaram a técnica do *swim flume*, com objetivos de investigar variáveis fisiológicas da natação, podem-se destacar os de Bonen *et al.* (1980), de Wakayoshi *et al.* (1995) e de Demarie *et al.* (2001).

Bonen *et al.* (1980) realizaram a comparação entre os valores de consumo de oxigênio obtidos de nadadores competitivos por diferentes métodos: *flume*, estacionário, ciclo-ergômetro de braços e natação livre. Os experimentos de Bonen *et al.* (1980) foram divididos em duas partes: na primeira parte participaram 11 nadadores que foram testados em (a) um *flume*, com velocidades progressivas até que o nadador não mais conseguisse manter a velocidade do estágio, que durava entre 2 e 4 min.; (b) um teste com o método estacionário realizado no mesmo *flume*, com água estacionária e o nadador fixado a um cinto e este a um cabo que era preso a um sistema de roldanas que possibilitava a colocação de cargas conhecidas, (neste teste o nadador deveria nadar contra as cargas até que não conseguisse completar 2 min. com a nova carga); e (c) em laboratório, os nadadores utilizaram uma bicicleta estacionária para membros superiores, com frequência de giro entre 60 e 70 rpm, as cargas eram incrementadas com 200

kg·m a cada 2 min. A segunda parte dos experimentos de Bonen *et al.* (1980) contou com a participação de 10 nadadores e com a mensuração do consumo de oxigênio com o método de anteriormente descrito e com o método de natação livre. Neste último, os nadadores eram instruídos a realizar três repetições de 200 m em nado *crawl*, de maneira progressiva (intensidades moderada, média e máxima). Com intervalos de 5 min entre cada 200 m. Neste último método, os indivíduos respiravam através de um sistema fixado ao peito, por onde eram coletadas as amostras de gases nos últimos 75 m da 2ª e da 3ª repetição de 200 m. Os autores encontraram alta correlação entre os valores de consumo de oxigênio obtidos entre os diferentes métodos, tanto do primeiro estudo (entre 0,97 e 0,99), quanto do segundo estudo (entre 0,97 e 0,99) e concluíram que a determinação do consumo de oxigênio em natação pode ser realizada por qualquer um dos métodos utilizados.

Wakayoshi *et al.* (1995) em um estudo cujos objetivos eram verificar as relações entre consumo de oxigênio, frequência de braçadas e velocidade submáxima encontram significativas correlações entre consumo de oxigênio e velocidade de nado ao cubo (entre 0,963 e 0,998), consumo de oxigênio e frequência de braçadas (entre 0,925 e 0,998) e frequência de braçadas e velocidade ao cubo (entre 0,897 e 0,994). As inclinações das curvas de regressão obtidas entre o consumo de oxigênio e a velocidade de nado ao cubo e entre o consumo de oxigênio e a frequência de braçadas apresentaram, de modo significativo, correlação com índices de desempenho em natação (velocidades a 80 e 100 % do pico de consumo de oxigênio e velocidade de início de acúmulo de lactato sanguíneo). Já Demarie *et al.* (2001), considerando que, durante exercício realizado em cargas constantes, abaixo do limiar de lactato, o consumo de oxigênio não atinge rapidamente o estado de equilíbrio, mas incrementa de maneira lenta até que estabiliza (o que é chamado de componente lento do consumo de oxigênio), estudaram este comportamento na natação. Após analisar os resultados de velocidade crítica, pico de consumo de oxigênio, velocidade de pico e percentual de consumo de oxigênio relacionado ao componente lento, dentre outras variáveis, os autores concluíram que a origem do componente lento do consumo de oxigênio na natação é, ainda, mais incerto do que na corrida ou no ciclismo.

Retro-extrapolação para a obtenção dos valores de consumo máximo de oxigênio a partir da curva de recuperação do consumo de oxigênio, em diferentes exercícios, foi objeto de estudo de Léger *et al.* (1980), quando verificaram o consumo em três séries de experimentos para comparar os valores obtidos por retro-



extrapolação e por medida direta durante exercício de carga progressiva. A primeira série de experimentos contou com um grupo de 20 indivíduos (idade média de $25,1 \pm 7,2$ anos) que executou um protocolo progressivo em esteira ou bicicleta, com estágios de 2 min. e incremento de 1 met por estágio. As análises do ar expirado eram feitas a cada 30 s de exercício e a cada 20 s na recuperação durante 80 s. A segunda série de experimentos contou com a participação de 16 homens (idade média de $20,8 \pm 1,6$ anos) que executaram um teste de carga progressiva em esteira, com velocidade inicial de $11,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incrementos de $1,61 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a cada 2 min. e o % de inclinação inicial com incrementos de 2,5 % a cada 2 min. A coleta do ar expirado era feita durante a corrida e, no máximo, 3 s após o término, no período de recuperação. Da terceira série de experimentos, participaram 11 indivíduos, de ambos os sexos, que realizaram um teste de corrida com velocidade progressiva em uma pista coberta de 167 m de perímetro. Neste teste a velocidade era controlada com sinais sonoros que indicavam quando o atleta deveria passar por marcadores colocados ao longo da pista. O incremento de carga era de 1 met a cada 2 min., e os indivíduos foram instruídos a respirar em uma máscara conectada a um sistema de coleta de gases imediatamente após cessarem o teste (quando não conseguiam mais manter a velocidade pré-determinada). Nesta última série de experimentos, os valores extrapolados foram comparados aos obtidos durante o último estágio do mesmo protocolo realizado em esteira.

Léger *et al.* (1980), nesta série de estudos, encontraram, sistematicamente, valores de consumo de oxigênio que, entre os diferentes métodos, apresentaram valores de correlação entre 0,89 e 0,98. Concluíram afirmando que o método de retro-extrapolação da curva de recuperação de O_2 seria um método válido para medir o consumo de oxigênio máximo tanto em condições de campo, quanto em condições de laboratório.

Monpetit *et al.* (1981) introduziram, na natação, a técnica que previa a extrapolação do consumo máximo de oxigênio a partir de valores de consumo de oxigênio obtidos do ar exalado em uma máscara acoplada a um analisador de gases após natação máxima de 400 m, ou seja, já no repouso. Segundo os autores, as técnicas convencionais, com coleta de gases durante o nado, para a mensuração de consumo de oxigênio, apresentam o problema básico de alterar a mecânica de nado, seja impossibilitando o nadador de realizar o movimento para a respiração lateral, utilizando um equipamento (máscara) que pode alterar a hidrodinâmica, ou, ainda, não realizando as viradas olímpicas. Os autores não encontraram diferenças estatísticas entre os valores

de consumo de oxigênio obtidos dos diferentes métodos e encontraram correlação de 0,99 entre os valores obtidos na corrida e na natação, método de coleta durante o nado, e correlação de 0,94 entre os valores obtidos pelos dois métodos citados na natação. Concluíram, com esta série de experimentos, que a predição de consumo de oxigênio na natação com o método de retro-extrapolação fornece uma boa estimativa do consumo durante o nado. Monpetit *et al.* (1981) concluíram indicando que determinações de consumo máximo de oxigênio, em natação, podem ser obtidos, em testes de campo, a partir dos valores de recuperação, desde que 4 condições básicas de teste sejam respeitadas: (1) exercício deve ser progressivo e contínuo, levando à exaustão, em mais de 4-5 min.; (2) não haver nenhum atraso entre o fim do exercício e o início da coleta de gases; (3) coleta de gases deve começar no início da primeira expiração e terminar aproximadamente 20 s após; e (4) o exercício não seja de intensidade supra-máxima ou de curta duração (menor que 5 min.).

Já Rinehardt *et al.* (1991) realizaram um estudo a fim de comparar os valores de consumo máximo de oxigênio obtidos a partir dos métodos estacionário e natação livre (método de retro-extrapolação) já que, segundo esses autores, parecia haver diferenças nos valores de consumo de oxigênio obtidos de mesmos nadadores, mas utilizando-se diferentes métodos (coleta direta em nado estacionário, coleta direta em natação livre e método de retro-extrapolação, com coleta imediatamente após o esforço). Os resultados indicaram altas correlações entre os valores de consumo de oxigênio obtidos do nado estacionário e da distância de 183 m, respectivamente, $3,13 \pm 0,19$ e $3,20 \pm 0,19 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,94$), do estacionário e da distância de 457 m, $3,20 \pm 0,17 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,94$) e entre as distâncias de 183 e 457 m ($r = 0,96$). Segundo os autores, a determinação do consumo máximo de oxigênio, utilizando-se amostra de 20 s de ar expirado obtidas após nado máximo, fornece fidedigna avaliação do consumo máximo de oxigênio. Ainda, de acordo com Rinehardt *et al.* (1991), a distância de 183 m mostrou ser uma alternativa mais viável, levando em consideração motivação dos nadadores e a disponibilidade dos mesmos em relação ao esquema dos treinamentos.

A validação do método de retro-extrapolação para o consumo submáximo de oxigênio foi proposto por Sleivert e Mackinnon (1991), ao compararem os valores de consumo de oxigênio obtidos com método direto e com método de retro-extrapolação de 8 indivíduos, de ambos os sexos, realizando duas séries de exercícios, separadas por 48 h. Nesse estudo (SLEIVERT; MACKINNON, 1991), para a comparação com os valores de con-

sumo de oxigênio obtidos diretamente durante os exercícios, os valores obtidos durante a recuperação foram tratados de 3 maneiras diferentes: (1) aplicação de uma reta de regressão linear nos primeiros quatro valores de consumo de oxigênio da recuperação; (2) aplicação de uma reta de regressão linear nos primeiros seis valores de consumo de oxigênio da recuperação, determinados a partir de uma curva exponencial suavizada para os primeiros cinco valores; e (3) regressão exponencial de 2ª ordem para todos os valores de consumo de oxigênio da recuperação. Ao serem realizadas as comparações entre os valores obtidos, os autores concluíram que retro-extrapolação, seja exponencial, seja linear, é um método válido para prever consumo submáximo de oxigênio. Ainda sugerem que apenas 20 s de coleta de gases pós-exercício seriam suficientes para a elaboração da regressão linear que prevê o consumo de oxigênio.

Para Carré *et al.* (1994), os movimentos de determinados esportes são muito específicos, e a utilização de equipamentos para coleta de ar expirado durante o exercício pode impedir o indivíduo de atingir seu esforço máximo. Havendo a necessidade de realizar medidas mais próximas das situações de campo, métodos, como o de retro-extrapolação, têm sido sugeridos para estimar o consumo de oxigênio. Entretanto, segundo os autores, há a necessidade de se comparar os valores de consumo de oxigênio obtidos diretamente durante o exercício e durante a recuperação, em situações desportivas que envolvam apenas a parte superior do corpo. Por outro lado, Carré *et al.* (1994) afirmam que há a possibilidade do método de retro-extrapolação superestimar os valores de pico de consumo de oxigênio.

Prioux *et al.* (2001) e Konstantaki; Swaine (1999) utilizaram ergômetros de braços a fim de determinar os valores de consumo de oxigênio em diferentes grupos de nadadores e em resposta a treinamento específico. O estudo de Prioux *et al.* (2001) preocupou-se com os efeitos do treinamento sobre as capacidades metabólicas de 10 nadadores com idade média de $15,2 \pm 3,8$ anos. Os valores de consumo máximo de oxigênio, encontrados por este método, no pré-teste, foram de $47,5 \pm 2,5 \text{ ml} \cdot (\text{kg} \cdot \text{min})^{-1}$ e no pós-teste de $47,4 \pm 1,6 \text{ ml} \cdot (\text{kg} \cdot \text{min})^{-1}$. Já o estudo de Konstantaki; Swaine (1999) apresentou, como objetivo, a comparação das respostas cardio-pulmonares e de lactato a exercícios de simulação de natação (apenas movimentos de pernas e apenas movimentos de braços) realizados em um *swim bench*, aparato isocinético que possibilita simular os movimentos da natação fora da água. Participaram dois grupos de nadadores: um competitivo (idade média de 21 ± 4 anos) e um recreacional (idade média de

24 ± 2 anos). Ambos os grupos realizaram testes de carga progressiva até a exaustão para movimentos de pernas, apenas e de braços, apenas. O grupo de nadadores competitivos apresentou valores de consumo de oxigênio de pico, em $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$, para exercício de braços e pernas, respectivamente, $3,1 \pm 0,1$ e $3,4 \pm 0,1$ e o grupo de nadadores recreacionais, respectivamente, $2,8 \pm 0,1$ e $4,1 \pm 0,1$.

Capelli *et al.* (1998), em um estudo realizado com 20 nadadores universitários (idade média de $18,9 \pm 0,9$ anos), identificaram o custo energético da natação em velocidades que variaram de moderada (metabolismo predominantemente aeróbio) a máxima em distâncias competitivas (50, 100 e 200 jardas), nos 4 estilos competitivos (*crawl*, costas, peito e borboleta). Os autores encontraram, como média de consumo máximo de oxigênio, em $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$, $4,24 \pm 0,49$. Em relação aos resultados de economia, como todos os participantes do estudo realizaram os testes em todos os estilos, os autores concluíram que, em concordância com outros estudos prévios, que o nado *crawl* é o mais econômico estilo, mesmo em mais altas velocidades absolutas.

De acordo com Zamparo *et al.* (2005a) o total da energia metabólica dispendida para transportar a massa corporal de um indivíduo por unidade de distância é definida como custo energético de locomoção e tem sido calculada tanto incluindo, quando subtraindo os valores de custo energético do repouso. O custo energético tem sido descrito como o mais importante determinante fisiológico para o melhor desempenho em diversas formas de locomoção humana, inclusive a natação (CAPELLI, 1999). Em alguns estudos, o custo foi estimado nos quatro estilos durante a natação em velocidades supra-máximas, nas quais a contribuição anaeróbica deve ser considerada para o cálculo do balanço energético total (OGITA, 2006), para tal devem ser considerados tanto o consumo de oxigênio, quanto a concentração de lactato líquidos, relacionados ao esforço que se deseja mensurar o custo energético (ZAMPARO *et al.*, 2005a). Para Capelli *et al.* (1998) o total de energia gasta em transportar o corpo (custo da locomoção) é usualmente dado em $\text{kJ} \cdot \text{km}^{-1}$ ou $\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$.

Assim, quando da análise de esforços máximos, que ocorrem sob condições metabólicas máximas, como provas entre 100 e 200 m em natação, a variação das concentrações de lactato entre o repouso e a máxima concentração pós-esforço (concentração líquida de lactato) pode ser utilizada no cálculo do custo energético, somando-se a energia anaeróbia à energia obtida aerobicamente. Para tal, Zamparo *et al.* (2005b) sugerem um equivalente de $0,00689 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mmol}^{-1}$ para o cálculo do custo energético. Já Barbosa



et al. (2006), em um estudo sobre o custo energético dos quatro estilos olímpicos executados sob intensidade de consumo máximo de oxigênio, sugerem, para o cálculo do custo energético, um equivalente de $2,7 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ de lactato líquido, assim, aos valores de consumo de oxigênio, somavam os valores calculados a partir da taxa das concentrações líquidas de lactato.

Pode-se perceber a dificuldade que o meio aquático provoca a fim de se medir, de maneira precisa, o consumo de oxigênio. Assim diversos métodos foram e são testados, buscando suas validações. Possivelmente a coleta de gases durante o nado, em um equipamento que reduzisse ao máximo o arrasto, é um dos métodos que melhor reproduz as condições reais da modalidade. Em termos práticos, o acesso a equipamentos desse nível ainda não se encontra possível. Desse modo, e desde que se respeitando as quatro condições citadas por Monpetit *et al.* (1981), em relação à obtenção de valores de consumo máximo de oxigênio, o método de retro-extrapolação a partir da curva de recuperação do consumo de oxigênio parece ser um método confiável.

O custo energético, ou energia total, obtido pelo consumo líquido de oxigênio e pela concentração líquida de lactato, e seu desdobramento, a economia de nado, quando a velocidade é considerada em conjunto, parecem representar uma variável fundamental em relação ao desempenho em natação. Suas possibilidades de interpretação podem refletir tanto condições fisiológicas, quanto biomecânicas (manutenção, aumento ou diminuição da velocidade média de nado), exercendo um papel fundamental no desempenho em geral e, de modo mais específico, na resistência à fadiga, na produção energética e na obtenção de melhores indicadores técnicos (relacionados à obtenção de maior velocidade média de nado por incrementos no comprimento da braçada). Assim esta variável poderia ser classificada como biofísica, além das classificações de variável cinemática ou fisiológica.

A necessidade de avaliação de atletas é premente. Devido às características da modalidade (de acordo com Millet; Candau (2004), 90% da energia gerada por um nadador é para superar o arrasto), a natação exige métodos que informem não somente as condições fisiológicas dos indivíduos, mas as mesmas associadas às características biomecânicas do nado. Assim, a análise do custo energético, ou da economia de nado, quando são associadas as informações obtidas dos parâmetros fisiológicos e biomecânicos, parece ser fundamental para análise diagnóstica e evolutiva de um nadador.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, T, FERNANDES, R, KESKINEN, KL, COLAÇO, P, CARDOSO, C, SILVA, J, VILAS-BOAS, JP. Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine*, v. 27, n. 11, p. 894-899, 2006.
- BONEN A, WILSON, BA, YARKONY, M, BELCASTRO, AN. Maximal oxygen uptake during free, tethered, and flume swimming. *Journal of Applied Physiology*, v. 48, n. 2, p. 232-235, 1980.
- CAPELLI, C, PENDERGAST, D, TERMIN, B. Energetics of swimming at maximal speed in humans. *European Journal of Applied Physiology*, v. 78, p. 385-93, 1998.
- CAPELLI, C. Physiological determinants of best performance in human locomotion. *European Journal of Applied Physiology*, v. 80, p. 298-307, 1999.
- CARDELLI, C, LERDA, R, CHOLLET, D. Analysis of breathing in the crawl as a function of skill and stroke characteristics. *Perceptual and Motor Skills*, v. 90, p. 979-987, 2000.
- CARRÉ, F, DASSONVILLE, J, BEILLOT, J, PRIGENT, JY, ROCHONGAR, P. Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v. 69, p. 258-261, 1994.
- CHATARD, JC, COLLOMP, C, MAGLISCHO, E, MAGLISCHO, C. Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, v. 11, p. 156-161, 1990a.
- CHATARD, JC, LAVOIE, JM, LACOUR, JR. Energy cost of front-crawl swimming in women. *European Journal of Applied Physiology*, v. 63, p. 12-16, 1991a.
- DEMARIE, S, SARDELLA, F, BILLAT, V, MAGINI, W, FAINA, M. The VO_2 slow component in swimming. *European Journal of Applied Physiology*, v. 84, p. 95-99, 2001.
- FERNANDES, RJ, CARDOSO, CS, SOARES, SM, ASCENÇÃO, A, COLAÇO, PJ, VILAS BOAS, JP. Time Limit and VO_2 Slow Component at Intensities Corresponding to VO_2 max in Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, v. 24, p. 576-581, 2003.
- GULLSTRAND, L. Swimming as an Endurance Sport. In: SHEPARD, R.; ASTRAND, P. (Org.). *Endurance in Sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1992. cap. 55, p. 531-541.
- HÓLMÉR, I. Physiology of swimming man. *Exercise and Sports Science Review*, v. 7, p. 87-123, 1979.
- KONSTANTAKI, M, SWAINE, IL. Lactate and Cardiopulmonary Responses to Simulate Arm-Pulling and Leg-Kicking in Collegiate and Recreational Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, v. 20, p. 118-121, 1999.
- LÉGER, LA, SELIGER, V, BRASSARD, L. Backward extrapolation of VO_2 max values from the O_2 recovery curve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 12, n. 1, p. 24-27, 1980.
- MILLET, GP, CANDAU, R. Facteurs mécaniques du coût énergétique dans trois locomotions humaines. *Science & Sports*, v. 17, p. 166-176, 2002.
- MONTPETIT, R, LÉGER, L, LAVOIE, JM, CAZORLA, G. VO_2 Peak During Free Swimming Using the Backward Extrapolation of the O_2 Recovery Curve. *European Journal of Applied Physiology*, v. 47, p. 385-391, 1981.

- OGITA, F. Energetics in competitive swimming and its application for training. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, v. 6, s. 2, p.117-121, 2006.
- PENDERGAST, D, ZAMPARO, P, DIPRAMPERO, PE, CAPELLI, C, CERRETELLI, P, TERMIN, A, CRAIG JR, A., BUSHNELL, D, PASCHKE, D, MOLLENDORF, J. Energy balance of human locomotion in water. *European Journal of Applied Physiology*, v. 90, p. 377-386, 2003.
- PRIOUX, J, AYOUB, J, HOUEL, N, BERGER, M, RAMONATXO, M, PRÉFAUT, C. Effets de l'entraînement sur les potentiels aérobie et anaérobie de jeunes nageurs. Exercice réalisé avec les bras. *Science & Sports*, v. 16, p. 306-14, 2001.
- POUJADE, B, HAUTIER, C, ROUARD, A. Influence de la morphologie, de VO₂max et du coût énergétique sur la performance en natation chez de jeunes nageurs. *Science & Sports*, v. 18, p. 182-187, 2003.
- RIBEIRO, JP, CADAVID, E, BAENA, J, MANSALVETE, E, BARNA, A, DE ROSE, EH. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. *British Journal of Sports Medicine*, v. 24, n. 3, p. 196-206, 1990.
- RINEHARDT, KF, KRAEMMER, RR, GORMELY, S, COLAN, S. Comparison of Maximal Oxygen Uptakes from the Tethered, the 183- and 457-Meter Unimpeded Supramaximal Freestyle Swims. *International Journal of Sports Medicine*, v. 12, p. 6-9, 1991.
- SLEIVERT, G, MACKINNON, LT. The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. *European Journal of Applied Physiology*, v. 63, p. 135-139, 1991.
- TOUSSAINT, HM, HOLLANDER, AP. Energetics of competitive swimming, Implications for training programmes. *Sports Medicine*, v. 18, n. 6, p. 384-405, 1994.
- WAKAYOSHI, K, D'ACQUISTO, LJ, CAPPAERT, JM, TROUP, JP. Relationship Between Oxygen Uptake, Stroke Rate and Swimming Velocity in Competitive Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, v. 16, p. 19-23, 1995.
- ZAMPARO, P, PENDERGAST, DR, MOLLENDORF, J, TERMIN, A, MINETTI, AE. An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, v. 94, p. 134-144, 2005a.
- ZAMPARO, P, BONIFAZI, M, FAINA, M, MILAN, A, SARDELLA, F, SCHENA, F, CAPELLI, C. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, v. 94, p. 697-704, 2005b.