

Estimativa do custo energético e contribuição das diferentes vias metabólicas na canoagem de velocidade

Fábio Yuzo Nakamura^{1,3}, Thiago Oliveira Borges¹, Odair Rodrigo Sales²,
Edilson Serpeloni Cyrino¹ e Eduardo Kokubun³

RESUMO

O desempenho na canoagem de velocidade depende da capacidade de o organismo regenerar ATP em grandes quantidades e a altas taxas, a partir das diferentes vias metabólicas. Assim, o objetivo do presente estudo foi combinar dois modelos bioenergéticos, um genérico denominado de potência crítica e outro específico para a canoagem, proposto por Zamparo *et al.* (1999), na tentativa de produzir estimativas de aptidão aeróbia e anaeróbia para essa modalidade, bem como estabelecer estimativas não-invasivas da contribuição dos sistemas aeróbio e anaeróbio para diferentes distâncias percorridas. Para tanto, 11 atletas de canoagem ($16,0 \pm 1,2$ anos; $174,0 \pm 2,4$ cm; $65,2 \pm 4,4$ kg), do sexo masculino, percorreram diferentes distâncias (500, 1.000 e 1.790m), na máxima velocidade possível, em embarcações do tipo K-1, em um lago com águas calmas. As informações obtidas foram inicialmente convertidas em quantidades geradas de trabalho (kJ) e potência interna (W). Posteriormente, os valores individuais estimados foram aplicados às três equações preditivas da potência crítica (PCrit) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer). Por

fim, os valores produzidos foram transformados em unidades de equivalentes de oxigênio para a estimativa da contribuição aeróbia (equivalente de O_2 para a PCrit x tempo para a distância) e anaeróbia (equivalente de O_2 para a CTAnaer x tempo para a distância), nas diferentes distâncias. A contribuição aeróbia relativa encontrada para as diferentes distâncias analisadas (500, 1.000 e 1.790m) foi de 60,6, 78,6 e 89,4%, respectivamente. Os resultados encontrados confirmaram as informações produzidas anteriormente por outras investigações, o que sugere que os procedimentos adotados neste estudo podem fornecer estimativas confiáveis sobre a participação das vias energéticas no desempenho de canoagem.

Palavras-chave: Canoagem. Potência crítica. Vias metabólicas. Desempenho.

RESUMEN

Estimativa del costo energético y contribución de las diferentes vias metabólicas en el canotaje de velocidad

El desempeño del canotaje de velocidad depende de la capacidad del organismo de regenerar ATP en grandes cantidades y a altas tasas, a partir de las diferentes vias metabólicas. Así el objetivo del presente estudio fué combinar dos modelos bioenergéticos, un genérico denominado de potencia crítica y otro específico para el canotaje, propuesto por Zamparo et al. (1999), en la tentativa de producir estimaciones de la aptitud aeróbia y anaeróbia para esa modalidad, así como establecer estimaciones no invasivas de la contribución de los sistemas aeróbico e anaeróbico para diferentes distancias recorridas. Por lo tanto, 11 atletas de canotaje ($16,0 \pm 1,2$ años; $174,0 \pm 2,4$ cm; $65,2 \pm 4,4$ kg), del sexo masculino, correrán diferentes distancias (500, 1.000 e 1.790 m), a máxima velocidad posible, en embarcaciones de tipo K-1, en un lago con aguas calmas. Las informaciones obtenidas fueran inicialmente convertidas en cantidades generadas de trabajo (kJ) y potencia interna (W). Posteriormente, los valores individuales estimados fueron aplicados a las tres ecuaciones pre-

1. Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício. Centro de Educação Física e Desportos. Universidade Estadual de Londrina.
2. Associação de Proteção Ambiental e Ecoesportes Patrulha das Águas – Londrina.
3. Instituto de Biociências. Departamento de Educação Física. Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, SP.

Recebido em 13/11/03

2ª versão recebida em 11/1/04

Aceito em 21/1/04

Endereço para correspondência:

Fábio Yuzo Nakamura
Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício
Centro de Educação Física e Desportos
Universidade Estadual de Londrina
Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário
86051-990 – Londrina, PR – Brasil
E-mail: fabioy_nakamura@yahoo.com.br

dictivas de la potencia crítica (PCrit) y capacidad de trabajo anaerobio (CTAnaer). Por fin, los valores producidos fueron transformados en unidades de equivalentes de oxígeno para la estimación de la contribución aeróbica (equivalente de O_2 para a PCrit x tiempo para la distancia) y anaeróbica (equivalente de O_2 para a CTAnaer x tiempo para la distancia), a diferentes distancias. La contribución aeróbica relativa encontrada para las diferentes distancias analizadas (500, 1.000 e 1.790 m) fue de 60,6, 78,6 e 89,4%, respectivamente. Los resultados encontrados confirmaron las informaciones producidas anteriormente por otras investigaciones, lo que sugiere que los procedimientos adoptados en este estudio pueden realizar estimaciones confiables sobre la participación de las vías energéticas en el desempeño del canotaje.

Palabras-clave: Canotaje. Potencia crítica. Vías metabólicas. Desempeño.

INTRODUÇÃO

A canoagem de velocidade, uma modalidade esportiva muito difundida no continente europeu, ainda é pouco conhecida no Brasil, apesar de o país possuir um número abundante de rios e lagos considerados bastante adequados para essa prática, em diversas regiões. Todavia, em virtude dos resultados expressivos obtidos recentemente por atletas brasileiros em competições internacionais, a canoagem de velocidade vem atraindo a atenção da mídia e dos adeptos do esporte, de maneira geral.

Embora no cenário internacional a canoagem venha sendo disputada desde os Jogos Olímpicos de Berlim (1936), na Alemanha, poucas são as investigações disponíveis na literatura sobre essa modalidade. Uma possível explicação para esse fato é que em modalidades praticadas em ambiente aberto, como a canoagem, o comportamento de diversas variáveis a serem investigadas pode ser influenciado por elementos do clima, tais como o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar.

Assim, os poucos estudos desenvolvidos sobre a canoagem procuraram caracterizar o perfil antropométrico de atletas⁽¹⁾, avaliar indicadores de aptidão física específicos para a modalidade⁽²⁾, bem como tratar de aspectos bioenergéticos associados a esforços submáximos e máximos sob condições laboratoriais controladas^(3,4).

O desempenho em competição de modalidades esportivas cíclicas máximas, tal como a canoagem, depende da capacidade do organismo de regenerar o ATP consumido na contração muscular a taxas e em quantidades suficientes para a realização do trabalho externo. Admite-se que a capacidade para sustentar a intensidade de um exercício

máximo é dependente da capacidade anaeróbia que, quando se esgota, determina a exaustão⁽⁵⁾.

A relação entre a potência e a duração do esforço até a exaustão tem sido objeto de muitos estudos recentes. Nesse sentido, o modelo de potência crítica vem sendo um dos modelos mais frequentemente adotados, uma vez que parece descrever adequadamente a resposta dos sistemas aeróbio e anaeróbio ao exercício máximo exaustivo, além do que sua validade fisiológica tem sido atestada por diversos estudos^(6,7).

Vale ressaltar que os dois parâmetros do modelo hiperbólico, a potência crítica e a capacidade de trabalho anaeróbio, descrevem, respectivamente, a máxima potência que pode ser sustentada aerobicamente durante o exercício físico e, também, a capacidade anaeróbia máxima, visto que tais parâmetros correlacionam-se com outros indicadores da aptidão aeróbia e anaeróbia, bem como são sensíveis aos efeitos de treinamentos específicos.

Originalmente formulada por Monod e Scherrer⁽⁷⁾ para exercícios monoarticulares, estudos subsequentes têm apontado que a relação hiperbólica entre a potência e o tempo até a exaustão pode ser estendida a esforços físicos que envolvem deslocamentos, admitindo-se a existência de uma relação linear entre a velocidade e a potência. Na canoagem, em particular, o trabalho interno realizado pelo organismo, principalmente pelos membros superiores, deve ser utilizado para vencer a resistência que a água oferece contra o avanço da embarcação. Nessas condições, a relação entre a velocidade e a potência não ocorre de forma linear, sobretudo em velocidades mais elevadas⁽⁴⁾.

Portanto, com o propósito de estimar a contribuição dos sistemas aeróbio e anaeróbio no desempenho da canoagem, este estudo procurou combinar dois diferentes modelos de desempenho bioenergético humano^(4,7). Para tanto, os parâmetros do modelo da potência crítica foram estimados convertendo-se a velocidade de deslocamento de esforços máximos a unidades de potência, trabalho mecânico e equivalentes de oxigênio.

METODOLOGIA

Sujeitos

Onze atletas de canoagem de velocidade ($16,0 \pm 1,2$ anos; $174,0 \pm 2,4$ cm; $65,2 \pm 4,4$ kg), do sexo masculino, de nível competitivo nacional, das categorias cadete e júnior, com experiência prática nessa modalidade superior a um ano, participaram voluntariamente desta investigação. Após serem informados sobre os objetivos do presente estudo e procedimentos aos quais seriam submetidos, os participantes e seus responsáveis assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Testes de canoagem

Os atletas percorreram diferentes distâncias (500, 1.000 e 1.790m), na máxima velocidade possível, em embarcações do tipo K-1 (comprimento máximo de 5,20m e massa mínima de 12kg), em um lago com águas calmas. Cada um dos três testes foi precedido por um breve aquecimento, quando os atletas percorreram cerca de 1.000 metros em um ritmo escolhido livremente.

Ao final do aquecimento, os sujeitos eram posicionados em um ponto predeterminado para a largada da distância a ser percorrida no dia. Ao sinal sonoro emitido por um dos investigadores, os atletas eram incentivados a percorrer no menor tempo possível a distância, o qual era registrado por relógio digital com precisão de segundos. O mesmo procedimento foi repetido nas três ocasiões de testagem.

Todos os três testes foram aplicados ao longo de um período de sete dias, com um intervalo mínimo de 24 horas entre cada um deles. Na tentativa de reduzir o possível impacto da velocidade do vento, optou-se pela realização dos testes somente em dias ensolarados, com pouco vento, tanto a favor quanto contra o sentido do movimento linear dos caiaques. Vale ressaltar que em apenas um dos sete dias choveu. Os testes programados para esse dia foram adiados até que as condições climáticas adequadas fossem restabelecidas.

Cálculos

Os dados individuais de tempo para as diferentes distâncias (500, 1.000 e 1.790m) e as respectivas velocidades médias foram registrados para ser analisados por meio de equações propostas na literatura^(4,6).

Com base nessas informações, o trabalho interno necessário para percorrer a distância fixa de um metro foi estimado pela equação 1, proposta por Zamparo *et al.*⁽⁴⁾, para as diferentes velocidades médias de deslocamento na água, registradas nas distâncias de 500, 1.000 e 1.790 metros.

$$C_k = 0,02 \cdot v^{2,26} \quad (\text{equação 1})$$

onde C_k representa o custo energético de deslocamento na canoagem ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-1}$) ao passo que v é a velocidade de deslocamento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). Portanto, de acordo com a equação 1, o custo energético por unidade de distância percorrida relaciona-se através de uma função de potência com a velocidade de deslocamento.

A partir da conversão de unidades de medida promovida pela equação 1, foi possível estimar o trabalho mecânico interno necessário para que fossem completadas as distâncias de 500, 1.000 e 1.790m, bem como a potência mecânica interna. Para tanto, o trabalho interno total foi calculado pela simples multiplicação de C_k pela distância percorrida, enquanto que a potência foi obtida por meio da

divisão do trabalho mecânico interno pelo tempo de esforço, em segundos.

Na seqüência, os dados individuais tempo de esforço, trabalho e potência foram aplicados em três modelos matematicamente equivalentes⁽⁶⁾, previstas pelo modelo de potência crítica⁽⁷⁾, que são apresentadas a seguir:

$$\text{tempo} = \text{CTAnaer}/(\text{potência} - \text{PCrit}) \quad (\text{equação 2})$$

$$\text{trabalho} = \text{CTAnaer} + (\text{PCrit} \cdot \text{tempo}) \quad (\text{equação 3})$$

$$\text{potência} = \text{PCrit} + [\text{CTAnaer} \cdot (1/\text{tempo})] \quad (\text{equação 4})$$

As estimativas da potência crítica (PCrit), em watts (W), e da capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer), em joules (J), foram então convertidas em equivalente de O_2 , pela relação conhecida entre o volume de O_2 metabolizado e o trabalho mecânico ($20,9 \text{ kJ} \cdot \text{IO}_2^{-1}$). Dessa forma, puderam ser obtidas as estimativas, respectivamente, do equivalente de O_2 para a potência crítica ($\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$), que representa o custo de oxigênio médio no exercício realizado na PCrit, e do déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD), que seria uma quantidade fixa de estoque energético anaeróbio disponível para o esforço supramáximo (acima da PCrit).

As contribuições energéticas aeróbia e anaeróbia foram estimadas admitindo-se que o MAOD foi alcançado em todas as distâncias, já que elas foram percorridas em velocidade máxima. Assim, o valor do MAOD constitui a contribuição energética anaeróbia absoluta no exercício. A contribuição aeróbia foi estimada multiplicando-se o $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ pelo tempo de esforço em cada uma das distâncias.

Tratamento estatístico

Os dados foram tratados inicialmente por procedimentos descritivos. Para as estimativas dos parâmetros da potência crítica (PCrit e CTAnaer), foram calculados o coeficiente de correlação de determinação (r^2) e os erros padrões de estimativa (EPE) para cada um dos parâmetros. Análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas foi empregada para as comparações entre os resultados obtidos a partir dos três testes adotados (500, 1.000 e 1.790m), bem como para as comparações entre as diferentes equações (1, 2 e 3) previstas pelo modelo de potência crítica. O teste *post hoc* de Scheffé, para comparações múltiplas, foi utilizado para a identificação das diferenças entre as médias. O nível de significância preestabelecido foi de $P < 0,05$.

RESULTADOS

Os tempos necessários para os canoístas completarem as distâncias de 500, 1.000 e 1.790m e as respectivas velocidades médias de deslocamento são apresentados na tabela 1. Os valores da velocidade média diminuíram signifi-

cativamente com o aumento das distâncias percorridas ($P < 0,05$). O decréscimo encontrado foi na ordem de ~4% quando a distância foi duplicada (500 *versus* 1.000m) e de ~8% quando comparadas às distâncias de 500 e 1.790m. Vale ressaltar que, embora a diminuição da velocidade média tenha sido proporcionalmente maior quando comparadas as distâncias de 500 *versus* 1.000m do que quando comparadas as distâncias de 1.000 *versus* 1.790m, diferenças estatisticamente significantes foram verificadas em todas as comparações, acompanhando as modificações observadas no tempo de execução dos testes ($P < 0,05$).

TABELA 1
Valores médios (\pm DP) da duração dos testes máximos de 500, 1.000 e 1.790m e da velocidade empregada nas diferentes distâncias

Distância (m)	Tempo (s)	Velocidade (m.s ⁻¹)
500	151,4 \pm 16,5	3,34 \pm 0,39
1.000	315,8 \pm 33,6*	3,20 \pm 0,36*
1.790	591,1 \pm 62,5#	3,06 \pm 0,34#

* diferença significativa com relação a 500m ($P < 0,05$).

diferença significativa com relação a 500 e 1.000m ($P < 0,05$).

As estimativas do C_k , do trabalho mecânico interno e da potência mecânica interna, a partir da equação proposta por Zamparo *et al.*⁽⁴⁾, encontram-se na tabela 2. Diferenças estatisticamente significantes foram verificadas tanto no C_k ($P < 0,05$) quanto no trabalho interno ($P < 0,05$) e na potência mecânica interna ($P < 0,05$) entre as diferentes distâncias. Uma redução no C_k (9% e 18%), quando analisado de forma relativa à distância percorrida em metros, e na potência mecânica interna absoluta (13% e 25%), acompanhada de um aumento no trabalho interno absoluto (81% e 193%), foi constatada nas comparações entre 500 e 1.000m e entre 500 e 1.790m, respectivamente ($P < 0,05$).

TABELA 2
Valores médios (\pm DP) da estimativa do custo energético (C_k), do trabalho mecânico interno e da potência mecânica interna em testes máximos de 500, 1.000 e 1.790m

Distância (m)	C_k (kJ.m ⁻¹)	Trabalho interno (kJ)	Potência interna (W)
500	0,311 \pm 0,085	155,5 \pm 42,6	1.070 \pm 431
1.000	0,282 \pm 0,074*	282,1 \pm 74,2*	928 \pm 359*
1.790	0,255 \pm 0,066#	455,8 \pm 117,4#	800 \pm 301#

* diferença significativa com relação a 500m ($P < 0,05$).

diferença significativa com relação a 500 e 1.000m ($P < 0,05$).

A figura 1 ilustra os valores de trabalho mecânico interno, da potência mecânica interna e do tempo de esforço, de um atleta investigado, aplicados às equações 2, 3 e 4, previstas pelo modelo de potência crítica. Por inspeção visual, os dados de desempenho parecem estar bem ajustados às equações utilizadas. Esse fato pôde ser confirmado, também, pelos elevados valores de coeficiente de determinação (r^2) apresentados na tabela 3.

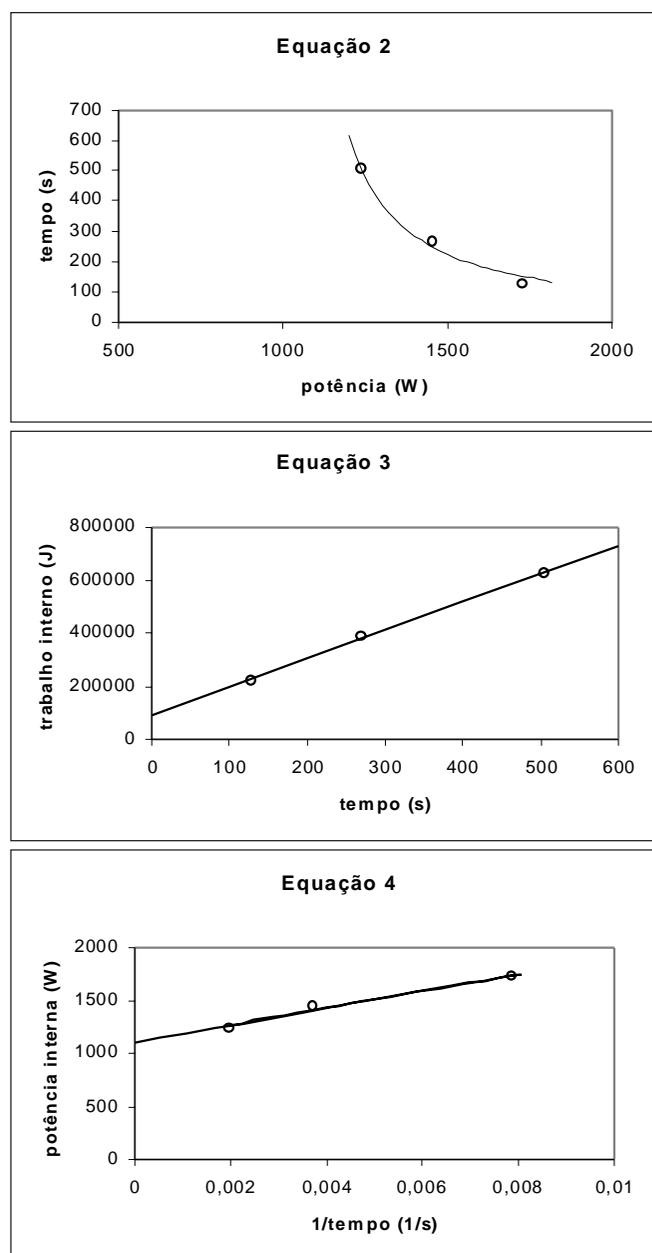


Fig. 1 – Ilustrações da aplicação das equações 2, 3 e 4 do texto aos dados de trabalho mecânico interno, potência mecânica interna e duração dos esforços de um canoísta analisado

TABELA 3
Valores médios (\pm DP) da potência crítica (PCrit), da capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer), do erro padrão de estimativa (EPE) e do coeficiente de determinação (r^2) fornecidos pelas equações (2, 3 e 4) previstas pelo modelo de potência crítica

Equação	PCrit (W)	EPE (1)	CTAnaer (kJ)	EPE (2)	r^2
(2)	682 \pm 250	15,6 \pm 11,2	67,0 \pm 27,3	10,1 \pm 6,5	0,987 \pm 0,012
(3)	702 \pm 258	39,8 \pm 27,5*	58,9 \pm 22,7*	15,3 \pm 9,9 ^s	0,998 \pm 0,002
(4)	732 \pm 270 [#]	48,1 \pm 33,6*	49,9 \pm 20,0 [#]	10,7 \pm 7,0	0,963 \pm 0,037 [#]

* diferença significativa com relação a 500m ($P < 0,05$).

diferença significativa com relação a 500 e 1.000m ($P < 0,05$).

\$ diferença significativa com relação a 500 e 1.790m.

Nota: EPE (1) referente a PCrit; EPE (2) referente a CTAnaer.

A tabela 3 contém informações sobre a PCrit e a CTAnaer estimadas pelas equações 2, 3 e 4, acompanhadas pelos respectivos erros padrões de estimativa (EPE) e pelo coeficiente de determinação (r^2). Foram detectadas diferenças significantes, tanto nas estimativas da PCrit fornecidas pelas diferentes equações ($P < 0,05$), com os maiores valores sendo encontrados pela equação 4 ($P < 0,05$), quanto nas estimativas da CTAnaer ($P < 0,05$), com os maiores valores sendo encontrados pela equação 2 ($P < 0,05$). O EPE médio da PCrit fornecido pela equação 2 foi menor ($P < 0,05$) do que aqueles verificados nas equações 3 e 4, ao passo que o EPE médio da CTAnaer produzido pela equação 3 foi maior ($P < 0,05$) do que aqueles verificados nas equações 2 e 4. Com relação aos valores de r^2 , constataram-se associações significativamente mais elevadas nas equações 2 e 3 quando comparadas com a equação 4 ($P < 0,05$).

A conversão dos valores da PCrit e da CTAnaer para equivalente de O_2 produziu valores estimados de EqO_{2PCrit} e de MAOD (tabela 4). Diferenças significativas foram verificadas nas comparações entre as equações, tanto para o EqO_{2PCrit} ($P < 0,05$) quanto para o MAOD ($P < 0,05$). O maior valor do EqO_{2PCrit} foi encontrado pela equação 4 ($P < 0,05$), aproximadamente 7% e 4% maior do que os valo-

res gerados pelas equações 2 e 3, respectivamente. Em contrapartida, o MAOD encontrado pela equação 2 foi significativamente maior ($P < 0,05$) do que o estimado pelas equações 3 (14%) e 4 (34%).

A tabela 5 apresenta as estimativas do custo de O_2 total da distância (somatório das contribuições absolutas dos sistemas aeróbio e anaeróbio de transferência energética), bem como a contribuição aeróbia e anaeróbia estimada para as distâncias de 500, 1.000 e 1.790m, a partir da aplicação dos pressupostos do modelo de potência crítica⁽⁷⁾, combinados com a equação proposta por Zamparo *et al.*⁽⁴⁾, para o cálculo do C_k . Verificaram-se diferenças estatisticamente significantes, tanto no custo de O_2 ($P < 0,05$) quanto no percentual de contribuição dos sistemas aeróbio e anaeróbio ($P < 0,05$). O custo de O_2 na distância de 500m foi 39% e 64% menor do que o observado nas distâncias de 1.000m e 1.790m, respectivamente. Assim, os resultados indicaram menor contribuição do sistema aeróbio para os 500m

TABELA 5
Valores médios (\pm DP) do custo energético total em equivalente de O_2 das distâncias de 500, 1.000 e 1.790m e contribuição aeróbia e anaeróbia para as diferentes distâncias

Distância (m)	Custo de O_2 (l)	Contribuição aeróbia (%)	Contribuição anaeróbia (%)
500	8,0 \pm 2,2 (6,5-9,5)	60,6 \pm 9,2 (54,4-66,8)	39,4 \pm 9,2 (28,7-41,1)
1.000	13,1 \pm 3,4*	78,6 \pm 4,9*	21,4 \pm 4,9*
1.790	22,4 \pm 5,8 [#]	89,4 \pm 2,6 [#]	10,6 \pm 2,6 [#]
	(18,5 - 26,3)	(87,7-91,1)	(8,9-12,3)

TABELA 4
Valores médios (\pm DP) do equivalente de O_2 para a potência crítica (EqO_{2PCrit}) e máximo acumulado déficit de oxigênio (MAOD)

Equação	EqO_{2PCrit} (l.min ⁻¹)	MAOD (l)
(2)	1,96 \pm 0,72	3,21 \pm 1,31
(3)	2,02 \pm 0,74	2,82 \pm 1,08*
(4)	2,10 \pm 0,78 [#]	2,39 \pm 0,96 [#]

* diferença significativa com relação a 500m ($P < 0,05$).

diferença significativa com relação a 500 e 1.000m ($P < 0,05$).

Nota: Valores estimados a partir das diferentes equações (2, 3 e 4) previstas pelo modelo de potência crítica.

* diferença significativa com relação a 500m ($P < 0,05$).

diferença significativa com relação a 500 e 1.000m ($P < 0,05$).

Nota: Os valores entre parênteses representam os limites do intervalo de confiança de 95%.

e, conseqüentemente, maior contribuição do sistema anaeróbio (23% e 32%, quando comparada com as distâncias de 1.000m e 1.790m, respectivamente).

DISCUSSÃO

A canoagem de velocidade é uma modalidade esportiva praticada em águas calmas, em caiaques para um (K-1), dois (K-2) ou quatro (K-4) tripulantes, sendo que as distâncias oficiais de competição são de 200, 500 e 1.000m. Neste estudo os atletas foram investigados em embarcações do tipo K-1.

A contribuição dos sistemas energéticos, no presente estudo, foi estimada a partir de diferentes distâncias percorridas por canoístas competitivos. Além disso, a combinação entre dois modelos matemáticos, um bioenergético genérico chamado de potência crítica e um outro específico para a estimativa do custo energético na canoagem, foi testada na tentativa de produzir parâmetros de aptidão aeróbia e anaeróbia específicos para a canoagem de velocidade.

O primeiro desses modelos, conhecido como modelo de potência crítica⁽⁷⁾, pressupõe a existência de dois parâmetros bioenergéticos (PCrit e CTAnaer) relacionados ao desempenho em diferentes tipos de exercício físico. A PCrit representa a potência máxima que pode ser mantida por um longo período de tempo à custa do metabolismo aeróbio^(7,8), enquanto que a CTAnaer representa a quantidade máxima de trabalho gerado a partir das reservas intramusculares de fosfagênios de alta energia e da glicólise anaeróbia⁽⁷⁾. Desse modo, a PCrit coincide com o máximo estado estável de $\dot{V}O_2$ e de lactato⁽⁹⁾, podendo ser utilizada como um indicador de capacidade aeróbia⁽¹⁰⁾.

Por outro lado, a CTAnaer pode ser equiparada quantitativamente com o MAOD, além de possuir boa correlação com esse índice⁽¹¹⁾, sendo assim considerada como uma medida válida da capacidade anaeróbia⁽¹²⁾.

Já o segundo modelo foi desenvolvido especificamente para a canoagem de velocidade⁽⁴⁾. Mediante medidas diretas do $\dot{V}O_2$ e do lactato sanguíneo e da estimativa das concentrações dos fosfagênios musculares, os autores do modelo propuseram uma equação para a predição do custo energético do deslocamento humano em caiaque em diferentes velocidades.

Portanto, a abordagem proposta no presente estudo pode ser considerada original, uma vez que busca combinar dois modelos matemáticos distintos de desempenho bioenergético e mecânico.

A equação de Zamparo *et al.*⁽⁴⁾ para determinação do custo energético da canoagem foi empregada para que pudessem ser preditos o trabalho interno e a potência interna

produzida em cada uma das distâncias percorridas pelos canoístas. Esses dados, conjuntamente com as respectivas durações dos testes, foram utilizados para a resolução das equações 2, 3 e 4, as quais forneceram estimativas da PCrit e da CTAnaer. As estimativas produzidas não são convencionais, uma vez que refletem parâmetros internos e não aqueles mensurados externamente, conforme proposta de Monod e Scherrer⁽⁷⁾.

Um dos critérios para que as estimativas fornecidas pelas equações 2, 3 e 4 possam ser confiáveis é que as diferenças entre os valores da PCrit e da CTAnaer produzidos pelas equações não sejam significativas⁽⁶⁾. Nesse sentido, seria desejável que a variabilidade entre as equações fosse inferior a 10%, sobretudo, para que a CTAnaer pudesse ser considerada uma medida precisa da capacidade anaeróbia⁽¹¹⁾, cuja medida válida é fornecida pelo MAOD.

Neste estudo, a presença de diferenças significativas entre as estimativas da CTAnaer e, conseqüentemente, do MAOD entre as três equações equivalentes reflete a presença de prováveis erros sistemáticos nos dados empíricos referentes aos testes. Isso pode ser uma indicação de que a equação proposta por Zamparo *et al.*⁽⁴⁾ ou o modelo da potência crítica não são adequados para as condições deste estudo.

A variabilidade entre as estimativas de CTAnaer das três equações neste estudo foi superior à preconizada por Hill e Smith⁽¹¹⁾, alcançando 25% quando comparados o menor e o maior valor médio (equações 4 e 2, respectivamente). Em contrapartida, os valores de PCrit variaram apenas 7%. Como a diferença entre os parâmetros fornecidos pelas diferentes equações foi significativa, a utilização aleatória de qualquer um deles nas análises subseqüentes poderia influenciar a interpretação dos resultados. Desse modo, a equação 2 foi adotada como referencial de análise neste estudo, visto que posiciona de forma matematicamente correta as variáveis dependente (tempo) e independente (potência), o que não ocorre com as outras duas equações, sendo assim considerada por alguns pesquisadores⁽¹³⁾ como a mais adequada dentre as três equações empregadas.

O EPE produzido pelas três equações utilizadas também deveria ser inferior a 10% para que a CTAnaer refletisse de forma precisa o MAOD, tendo em vista que um elevado EPE implica erros aleatórios consideráveis na modelagem dos resultados dos testes exaustivos, de acordo com as equações do modelo de potência crítica⁽¹¹⁾. No presente estudo, o EPE da CTAnaer encontrado variou entre 15% e 25%, ao passo que a variação do EPE da PCrit foi de 2% a 6%.

Os resultados indicam que a CTAnaer é mais suscetível à variação devido a erros sistemáticos e aleatórios nos resultados dos testes tratados a partir da equação de Zamparo *et al.*⁽⁴⁾. Esses resultados corroboram os achados de Moysés *et al.*⁽¹⁴⁾ que, ao investigarem o modelo de potência crítica

em corrida bidirecional de 20m, relataram valores de erro aleatório e sistemático superiores para a CTAnaer quando comparados com aqueles associados a PCrit.

As estimativas da PCrit e da CTAnaer, geradas pela equação 2, foram utilizadas para a obtenção do $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ e do MAOD. O intervalo de confiança do MAOD estimado no presente estudo compreende as médias encontradas por Faina *et al.*⁽¹⁵⁾ (3,2 l e 3 l, respectivamente), em canoístas de elite submetidos a esforço em cicloergômetro de braços, adaptado para simular o movimento e a frequência de remadas, típicos da modalidade. Vale ressaltar que nesse estudo os pesquisadores determinaram o MAOD conforme as recomendações propostas originalmente por Medbo *et al.*⁽¹²⁾, mediante a utilização de procedimentos de calorimetria indireta para a obtenção do $\dot{V}\text{O}_2$.

Por outro lado, o $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ encontrado neste estudo ($1,96 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) não pôde ser comparado com os resultados de outros estudos disponíveis na literatura por não se tratar de uma medida considerada usual. Vale destacar que o $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ é uma estimativa da contribuição aeróbia média por unidade de tempo, ao longo de todo o exercício, que não leva em consideração a inércia do $\dot{V}\text{O}_2$. Portanto, a medida do $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ superestima o valor do $\dot{V}\text{O}_2$ real no início do exercício e subestima no final.

Na etapa final deste estudo, o $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ e o MAOD foram empregados para a estimativa da contribuição percentual dos sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio durante as diferentes distâncias percorridas à máxima velocidade pelos canoístas. Assumindo o pressuposto do modelo de potência crítica, segundo o qual o $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ e o MAOD são fixos em atividades exaustivas, a contribuição percentual do sistema aeróbio aumentou de acordo com o aumento da distância percorrida. Conseqüentemente, a contribuição percentual do sistema anaeróbio foi maior nas distâncias mais curtas.

As estimativas encontradas para a distância de 500m foram semelhantes às relatadas por Zamparo *et al.*⁽⁴⁾ (60% e 40% de contribuição aeróbia e anaeróbia, respectivamente). Por outro lado, nos 1.000m, Zamparo *et al.*⁽⁴⁾ observaram uma contribuição aeróbia ligeiramente superior à encontrada neste estudo (83% *versus* 79%), ainda que dentro do intervalo de confiança estabelecido em nosso trabalho para essa variável.

Na figura 2, os dados obtidos no presente estudo foram sobrepostos a uma compilação de dados da literatura realizada por Gastin⁽¹⁶⁾, acerca da contribuição relativa do sistema aeróbio em diferentes exercícios máximos. Observa-se que o intervalo de confiança do presente estudo está contido nos dados compilados. Esses resultados indicam que estimativas de contribuição energética segundo o procedimento utilizado neste estudo resultam em valores com-

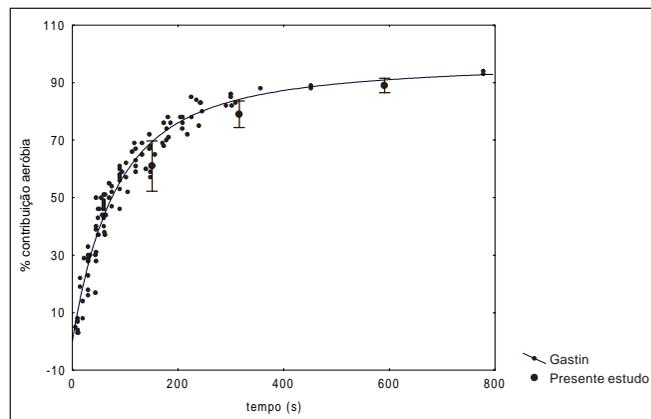


Fig. 2 – Contribuição relativa do metabolismo aeróbio em esforços de diferentes durações. Dados oriundos de trabalho de revisão de literatura publicado por Gastin¹⁶.

paráveis àqueles relatados na literatura para outras formas de exercício.

CONCLUSÕES

As informações produzidas pelo presente estudo sugerem que a associação entre o modelo de potência crítica e a equação proposta por Zamparo *et al.*⁽⁴⁾, para a determinação do custo energético da canoagem, fornece estimativas interessantes sobre a aptidão aeróbia e anaeróbia representadas pelo $\text{EqO}_{2\text{PCrit}}$ e MAOD, respectivamente. Além disso, os pressupostos adotados neste estudo parecem permitir, também, a predição das contribuições relativas dos sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio em diferentes distâncias na canoagem de velocidade, sem que sejam necessários procedimentos invasivos ou de determinação direta de variáveis fisiológicas.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Gobbo LA, Papst RR, Carvalho FO, Souza CF, Cuatrin S, Cyrino ES. Perfil antropométrico da seleção brasileira de canoagem. *Rev Bras Ciên Mov* 2002;10:7-12.
2. Fontes EB, Borges TO, Altimari LR, Melo JC, Okano AH, Cyrino ES. Influência do número de coordenadas e da seleção de distâncias na determinação da velocidade crítica na canoagem de velocidade. *Rev Bras Ciên Mov* 2002;10:S161.
3. Pendergast DR, Bushnell D, Wilson DW, Cerretelli P. Energetics of kayaking. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1989;59:342-50.
4. Zamparo P, Capelli C, Guerrini G. Energetics of kayaking at submaximal and maximal speeds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80: 542-8.
5. Morton RH, Billat V. Maximal endurance time at $\text{VO}_{2\text{max}}$. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1496-504.

-
6. Hill DW. The critical power concept: a review. *Sports Med* 1993;16:237-54.
 7. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-38.
 8. Moritani T, Nagata A, DeVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics* 1981;24:339-50.
 9. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 1988;31:1265-79.
 10. Poole DC, Ward SA, Whipp BJ. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;59:421-9.
 11. Hill DW, Smith JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:23-37.
 12. Medbo JJ, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol* 1988;64:50-60.
 13. Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO, Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1430-8.
 14. Moysés EP, Nakamura FY, Nakamura PM. Confiabilidade e validade dos parâmetros do modelo de potência crítica em testes "vai-e-vem" de 20 metros. *Motriz* 2003;9:S53-4.
 15. Faina M, Billat V, Squadrone R, De Angelis M, Koralsztein JP, Dal Monte A. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;76:13-20.
 16. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med* 2001;31:725-41.