

## LIMITAÇÕES DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA APLICADO A EXERCÍCIO INTERMITENTE

### LIMITATIONS OF THE CRITICAL POWER MODEL APPLIED TO INTERMITTENT EXERCISE

Nilo Massaru Okuno\*  
Luiz Augusto Buoro Perandini\*\*  
Herbert Gustavo Simões\*\*\*  
Fábio Yuzo Nakamura\*\*\*\*

#### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi testar a equivalência entre as estimativas de PC e CTA obtidas em testes contínuos ( $PC_c$  e  $CTA_c$ ) e intermitentes ( $PC_i$  e  $CTA_i$ ). Dez indivíduos do sexo masculino realizaram duas familiarizações, quatro testes preditivos contínuos e quatro testes preditivos intermitentes. A  $PC_c$  ( $151 \pm 30$  W) foi significativamente maior do que a  $PC_i$  ( $136 \pm 20$  W) ( $P < 0,05$ ), e a  $CTA_c$  ( $23911 \pm 3135$  J) foi menor do que a  $CTA_i$  ( $28850 \pm 8549$  J) ( $P < 0,05$ ), com correlações altas entre elas ( $r = 0,80$  e  $0,74$ ). Desta forma, pode-se concluir que o modelo de potência crítica intermitente não provê estimativas válidas de  $PC_i$  e  $CTA_i$ , sendo que os parâmetros foram diferentes dos estimados em protocolos contínuos.

**Palavras-chave:** Modelo de potência crítica. Exercício contínuo. Exercício intermitente.

#### INTRODUÇÃO

Morton e Billat (2004) propuseram uma equação que ajustaria os pressupostos do modelo de potência crítica ao exercício intermitente. Em teoria, os parâmetros potência crítica (PC) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) obtidos a partir da equação não linear potência-tempo [tempo =  $CTA / (potência - PC)$ ] (equação 1) deveriam ser equivalentes aos obtidos pela equação formulada a partir das variáveis independentes dos exercícios intermitentes:

$$t = n (t_w + t_r) + ((CTA_i - n ((P_w - PC_i) t_w - (PC_i - P_r) t_r)) / (P_w - PC_i)) \quad (\text{equação 2}),$$

em que  $t$  = tempo total de tiros + pausas,  $n$  = número de ciclos de tiros e pausas completos,  $t_w$  = duração de cada tiro,  $t_r$  = duração de cada pausa,  $P_w$  = potência dos tiros,  $P_r$  = potência mantida nas pausas,  $PC_i$  = potência crítica do exercício intermitente, e  $CTA_i$  = capacidade de trabalho anaeróbio do exercício intermitente.

As condições para a aplicação da equação de Morton e Billat (2004) são as seguintes:  $0 \leq P_r < PC_i < P_w < PC_i + CTA_i / t_w$ .

Apesar de a equação de Morton e Billat (2004) ser teoricamente robusta, algumas evidências têm levantado questões sobre sua validade e generabilidade.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi testar a equivalência entre as estimativas de

\* Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento. Doutorando em Educação Física, Escola de Educação Física e Esporte – Universidade de São Paulo

\*\* Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento. Mestre. Professor do curso de graduação em Educação Física do Centro Universitário Padre Anchieta, UniAnchieta.

\*\*\* Grupo de Estudos do Desempenho Humano e das Respostas Fisiológicas ao Exercício. Doutor. Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Educação Física, e dos cursos de graduação em Fisioterapia e Educação Física da Universidade Católica de Brasília.

\*\*\*\* Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento. Doutor. Professor do Programa Associado de Pós-Graduação em Educação Física UEM/UEL - Centro de Educação Física e Esporte - Universidade Estadual de Londrina

PC e CTA obtidas em testes contínuos ( $PC_c$  e  $CTA_c$ ) e as estimativas fornecidas por meio da equação de Morton e Billat (2004) em testes intermitentes ( $PC_i$  e  $CTA_i$ ) com pausas passivas.

## METODOLOGIA

Participaram do estudo 10 indivíduos do sexo masculino, com idade média de  $24,4 \pm 3,7$  anos, massa corporal média  $76,5 \pm 11,7$  kg e estatura média de  $176,6 \pm 4,1$  cm. Previamente aos testes, os sujeitos foram informados dos procedimentos aos quais seriam submetidos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição, através do Parecer número 100/06.

Antes de iniciar o estudo, os sujeitos foram orientados a não realizar atividade física vigorosa nas 24 horas antecedentes aos testes. O estudo foi dividido em três etapas: (1) duas familiarizações; (2) testes preditivos contínuos; (3) testes preditivos intermitentes - realizadas nessa mesma ordem. Os testes foram feitos em dias diferentes, com um intervalo de descanso variando entre 24 e 96 horas. A temperatura do laboratório foi controlada entre 20 e 24°C.

### Familiarização

Para adaptar os participantes ao tipo de esforço exigido nos testes, foram inicialmente realizadas, em um cicloergômetro de frenagem mecânica Biotec 2100 (Cefise), duas sessões de testes retangulares em dias diferentes. A altura do selim foi ajustada individualmente para permitir que os joelhos atingissem extensão quase completa durante cada revolução do pedal.

Anteriormente a cada teste, foi realizado um aquecimento com duração de cinco minutos no próprio cicloergômetro, sem a imposição de nenhuma resistência mecânica, seguido de uma pausa com duração de três minutos. As cargas impostas nos testes foram selecionadas na tentativa de levar o indivíduo à exaustão em um período compreendido entre dois e quinze minutos. A cadência estabelecida nos testes de familiarização e nos testes subsequentes foi de ~60 rpm.

Estes testes serviram como parâmetro para a escolha das cargas nas fases subsequentes do estudo, mas foram descartados para qualquer outro tipo de análise.

### Testes preditivos contínuos

Os sujeitos realizaram quatro testes preditivos com cargas aleatorizadas para a estimativa dos parâmetros do modelo de potência crítica. As cargas foram baseadas nas potências e tempos até à exaustão obtidos nos testes de familiarização. A exaustão durante os testes ocorreu entre dois e quinze minutos. Não foram dadas informações sobre as cargas impostas e a expectativa de duração dos testes.

A estimativa da  $PC_c$  e  $CTA_c$  foi realizada por meio da função hiperbólica do modelo de dois parâmetros (equação 1).

### Testes preditivos intermitentes

Quatro testes preditivos intermitentes foram realizados com períodos de alternância entre os esforços e as recuperações passivas a cada 30 segundos. As potências utilizadas nos protocolos intermitentes foram escolhidas de forma a levar os indivíduos à exaustão entre dois e quinze minutos de esforço (excluindo os períodos de pausas). A  $PC_i$  e a  $CTA_i$  foram estimadas por meio da equação proposta por Morton e Billat (2004) (equação 2).

### Análise estatística

A normalidade dos dados foi analisada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os dados foram caracterizados por média e desvio-padrão (DP). O teste t de Student para amostras dependentes foi utilizado para comparar os valores de PC e CTA estimados de maneira contínua e intermitente. A relação entre as variáveis foi verificada por meio da correlação de Pearson. A significância das análises foi assumida quando  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

As médias de potência e tempo até à exaustão nos testes preditivos contínuos e intermitentes estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Média  $\pm$  DP das potências e tempo até à exaustão nos testes preditivos contínuos e intermitentes.

Testes preditivos contínuos		Testes preditivos intermitentes	
Potência	Tempo	Potência	Tempo
287 $\pm$ 38	142 $\pm$ 26	405 $\pm$ 50	185 $\pm$ 31
248 $\pm$ 39	260 $\pm$ 26	369 $\pm$ 42	259 $\pm$ 45
212 $\pm$ 34	419 $\pm$ 72	339 $\pm$ 42	393 $\pm$ 57
187 $\pm$ 32	685 $\pm$ 118	311 $\pm$ 39	652 $\pm$ 137

A  $PC_c$  foi significativamente maior do que a  $PC_i$ , e a  $CTA_c$  foi menor do que a  $CTA_i$  (Tabela 1). Apesar disso, as correlações entre  $PC_c$  e  $PC_i$  ( $r = 0,80$ ;  $P < 0,01$ ), e  $CTA_c$  e  $CTA_i$  ( $r = 0,74$ ;  $P = 0,01$ ) foram altas. O coeficiente de determinação para a estimativa da  $PC_c$  e  $CTA_c$  foi de 0,990, e para  $PC_i$  e  $CTA_i$  foi de 0,998.

**Tabela 2** – Valores de média e DP dos parâmetros estimados de maneira contínua e intermitente.

	$PC_c$ (W)	$PC_i$ (W)	$CTA_c$ (J)	$CTA_i$ (J)
Média	151*	136	23911*	28850
DP	30	20	3135	8549

\* Diferença significativa em relação à mesma variável estimada de maneira intermitente ( $P < 0,05$ ).

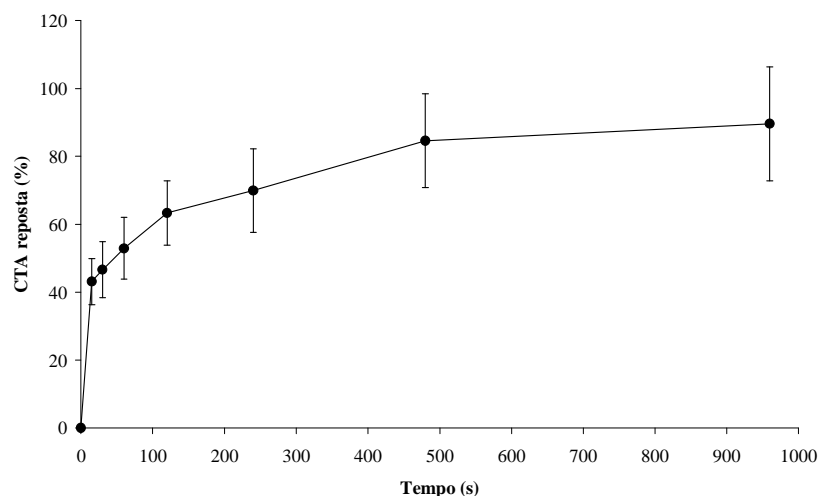
## DISCUSSÃO

O presente estudo demonstrou que a equação proposta por Morton e Billat (2004) para exercícios intermitentes subestima a PC e superestima a CTA quando comparadas aos parâmetros estimados de maneira contínua. Esses resultados contrariam os pressupostos do modelo de potência crítica intermitente, pois os parâmetros estimados de maneira contínua e os estimados de maneira intermitente deveriam ser equivalentes.

Entre os trabalhos que testaram a validade do modelo de potência crítica intermitente podemos encontrar o de Hobbs e Smith (2006), e o de Midgley, McNaughton e Carroll (2007).

Hobbs e Smith (2006), após realizarem a estimativa dos parâmetros de modelo de potência crítica em exercícios contínuos, submetem os sujeitos a três exercícios intermitentes com diferentes regimes de esforço e pausa (60:60 s, 60:120 s, 120:60 s). A intensidade nos exercícios intermitentes foi estimada pela equação de Morton e Billat (2004), de forma a permitir que o indivíduo conseguisse realizar cinco ciclos completos de esforço e pausa. Os autores demonstraram que o número de ciclos completos nos regimes de 60:120 s e 120:60 s foi menor do que o predito. Já Midgley, McNaughton e Carroll (2007) verificaram que, substituindo-se os parâmetros utilizados na equação de potência crítica intermitente por medidas fisiológicas (limiar de lactato e MAOD, ao invés da  $PC_i$  e  $CTA_i$ ), os valores preditos de tempo até à exaustão apresentaram uma grande variabilidade e uma baixa concordância quando comparados aos valores observados, apesar de não terem encontrado diferenças significativas no tempo até à exaustão (predito: 23,1  $\pm$  24,5 min; observado: 20,8  $\pm$  7,7 min).

Apesar de ser observado no presente estudo que a  $PC_i$  foi inferior a  $PC_c$ , e de alguns trabalhos demonstrarem que a  $PC_c$  superestima o máximo estado estável de lactato (BRICKLEY; DOUST; WILLIAMS, 2002; DEKERLE et al., 2003), de acordo com os pressupostos matemáticos adotados por Morton e Billat (2004) os achados do presente estudo se contrapõem à validade do modelo de potência crítica intermitente. Morton e Billat (2004) assumiram que a taxa de reposição da CTA entre os esforços seria calculada pela diferença simples entre  $PC_i$  e  $P_r$  (equação 2); no entanto, Moura et al. (2002) demonstraram que a taxa de reposição da CTA é mais rápida nos instantes iniciais de recuperação. O Gráfico 1 ilustra esse comportamento. Isso implica que a reposição do compartimento anaeróbio é dependente do período de recuperação entre os esforços, e não somente da intensidade.



**Gráfico 1** – Reposição da capacidade de trabalho anaeróbio ao longo do tempo (adaptado de Moura et al., 2002).

Dupont et al. (2002) propuseram um modelo alternativo de potência crítica intermitente que produz um valor de  $PC_i$  maior do que a  $PC_c$  (BERTHOIN et al., 2006; OKUNO, 2007). A validade do modelo foi recentemente demonstrada por Okuno (2007), pois a  $PC_i$  não diferiu do máximo estado estável de lactato determinado em exercícios intermitentes, com o qual apresentou alta correlação. Com isso, sugere-se que esse modelo seja adotado em estudos futuros.

Conclui-se que, de acordo com os pressupostos matemáticos assumidos por Morton e Billat (2004), o modelo de potência crítica intermitente proposto não provê estimativas válidas de  $PC_i$  e  $CTA_i$ , sendo que

os parâmetros foram diferentes dos estimados em protocolos contínuos, contrariando as previsões iniciais do modelo. Não obstante, mais estudos são necessários, procurando demonstrar o significado fisiológico do modelo de potência crítica intermitente. Além disso, modelos alternativos para a interpretação do desempenho em protocolos intermitentes devem ser investigados.

#### Agradecimentos

À Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pela concessão de bolsa de estudo.

---

### LIMITATIONS OF THE CRITICAL POWER MODEL APPLIED TO INTERMITTENT EXERCISE

#### ABSTRACT

The purpose of the present study was to test the equivalence between PC and CTA estimates obtained in continuous ( $PC_c$  e  $CTA_c$ ) and intermittent trials ( $PC_i$  e  $CTA_i$ ). Ten male subjects performed: two practice trials, four continuous predictive trials and four intermittent predictive trials. The  $PC_c$  ( $151 \pm 30$  W) was significantly higher than  $PC_i$  ( $136 \pm 20$  W) ( $P < 0.05$ ) and the  $CTA_c$  ( $23911 \pm 3135$  J) was lower than  $CTA_i$  ( $28850 \pm 8549$  J) ( $P < 0.05$ ), with high correlations between them ( $r = 0.80$  and  $0.74$ ). Therefore, the intermittent critical power model does not provide valid estimates of  $PC_i$  e  $CTA_i$ , considering that these parameters were different than the continuous ones.

**Keywords:** Critical power model. Continuous exercise. Intermittent exercise.

---

#### REFERÊNCIAS

- BERTHOIN, S. et al. Critical velocity during continuous and intermittent exercises in children. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 98, no. 2, p. 132-138, 2006.
- BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C. A. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 88, p. 146-151, 2002.
- DEKERLE, J. et al. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 89, p. 281-288, 2003.
- DUPONT, G. et al. Critical velocity and time spent at high level of  $VO_2$  for short intermittent runs at supramaximal velocities. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Ottawa, v. 27, no. 2, p. 103-115, 2002.

HOBBS, J. W.; SMITH, J. C. Use of the critical power model to prescribe the elements of intermittent exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 38, no. 5, p. S514, 2006.

MIDGLEY, A. W.; McNAUGHTON, L. R.; CARROLL, S. Physiological determinants of time to exhaustion during intermittent treadmill running at  $v\dot{V}O_{2max}$ . **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 28, no. 4, p. 273-280, 2007.

MORTON, R. H.; BILLAT, L. V. The critical power model for intermittent exercise. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 91, no. 2-3, p. 303-307, 2004.

MOURA, R. F.; et al. Comportamento cinético da reposição da capacidade de trabalho anaeróbio. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO

ESPORTE, 25., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Celafiscs, 2002. p. 72.

OKUNO, N. M. **Utilização do modelo de potência crítica e limiar de esforço percebido em exercícios intermitentes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação Física)–Centro de Educação Física e Esporte, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

Recebido em 23/04/2008

Revisado em 06/10/2008

Aceito em 01/12/2008

---

**Endereço para correspondência:** Fábio Yuzo Nakamura. Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento. Centro de Educação Física e Esporte. Universidade Estadual de Londrina. Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário, CEP 86051-990 - Londrina, PR, Brasil. E-mail: fabioy\_nakamura@yahoo.com.br