

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

DANIEL MÜLLER HIRAI

---

**EFEITOS DA ALTERAÇÃO DA  
CADÊNCIA DE PEDALADA  
SOBRE O COMPONENTE LENTO  
DA CINÉTICA DO CONSUMO DE  
OXIGÊNIO**

---

Londrina  
2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**DANIEL MÜLLER HIRAI**

---

---

**EFEITOS DA ALTERAÇÃO DA  
CADÊNCIA DE PEDALADA  
SOBRE O COMPONENTE LENTO  
DA CINÉTICA DO CONSUMO DE  
OXIGÊNIO**

---

---

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física – UEM/UEL para obtenção do título de Mestre em Educação Física.

**Orientador: Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura**

Londrina  
2008

DANIEL MÜLLER HIRAI

**EFEITOS DA ALTERAÇÃO DA CADÊNCIA DE  
PEDALADA SOBRE O COMPONENTE LENTO DA  
CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO**

Este exemplar corresponde a defesa de  
Dissertação de Mestrado defendida por  
Daniel Müller Hirai e aprovada pela  
Comissão julgadora em: 14/03/2008.

Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura  
Orientador

Londrina  
2008

**COMISSÃO JULGADORA**

---

Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura  
Orientador

---

Prof. Dr. Jorge Roberto Perrout de Lima

---

Prof. Dr. Jefferson Rosa Cardoso

À minha família

# Agradecimentos

*Ao Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura, pela imensa contribuição à minha formação acadêmica e inspiradoras discussões.*

*Ao Prof. Dr. Jorge Pinto Ribeiro, por disponibilizar o laboratório (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) para a realização da coleta de dados deste trabalho.*

*Ao Prof. Dr. Marco Aurélio Vaz, por disponibilizar equipamentos (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) que viabilizaram parte da coleta de dados deste trabalho.*

*Ao Prof. Dr. Emerson Franchini, por disponibilizar o laboratório (Universidade de São Paulo) para que parte deste trabalho fosse conduzido.*

*Ao Prof. Dr. Antonio Fernando Brunetto, pela oportunidade de contato com a ciência.*

*Aos Docentes que fizeram parte da Banca Examinadora desta Dissertação de Mestrado.*

*Aos grandes amigos e co-autores, Leonardo Franklin Ferreira, Bruno Tesini Roseguini e Bruno Moreira Silva, pela camaradagem e apoio desde o primórdio.*

*Aos amigos e colaboradores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que auxiliaram na coleta de dados e participaram como sujeitos deste trabalho. Em especial, Gaspar Rogério Chiappa, Cristiano Nardin Alves, Fernando Diefenthaler e Felipe Pivetta Carpes. Foi um privilégio trabalhar com vocês.*

*À Lú, pelo amor e paciência com os papiros.*

*Por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante este período.*

HIRAI, Daniel Müller. **Efeitos da alteração da cadência de pedalada sobre o componente lento da cinética do consumo de oxigênio**. 2008. \_\_f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Centro de Educação Física e Esporte. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

## RESUMO

---

---

O presente estudo investigou os efeitos de diferentes cadências de pedalada sobre o componente lento da cinética do consumo de oxigênio ( $\dot{V}_{O_2}$ ) durante exercício de intensidade pesada de mesma carga de trabalho relativa. Foi levantada a hipótese de que a cadência elevada (e presumivelmente o aumento do recrutamento das fibras musculares do tipo II) estaria associada ao aumento da amplitude do componente lento, eletromiografia de superfície (EMG) e concentração de lactato sanguíneo ([La]). Nove indivíduos do gênero masculino (idade =  $28,0 \pm 5,3$  anos) realizaram testes retangulares em cadências de 35 e 115 rpm. Testes retangulares de cadência alternada foram realizados no intuito de examinar os efeitos do recrutamento adicional de fibras musculares do tipo II sobre o componente lento. Todos os testes retangulares foram realizados com carga de trabalho relativa a 50% da diferença entre o limiar ventilatório e o  $\dot{V}_{O_{2\text{pico}}}$ . A carga de trabalho da linha de base foi calculada de modo a prover valores similares de  $\dot{V}_{O_2}$  de linha basal entre as cadências. O  $\dot{V}_{O_2}$  pulmonar foi mensurado respiração a respiração; dados relativos à EMG de superfície do músculo vasto lateral foram analisados através da raiz quadrada da média (RMS) em unidades normalizadas. A amplitude do componente primário da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  ( $A'_{11}$ ) atingiu maiores valores durante 115 rpm ( $1,6 \pm 0,4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) em relação a 35 ( $1,2 \pm 0,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e 35-115 rpm ( $1,3 \pm 0,3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ). A amplitude do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  foi maior em altas cadências ( $0,51 \pm 0,16$  e  $0,52 \pm 0,21 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  durante 115 e 35-115 rpm, respectivamente) em relação à 35 rpm ( $0,25 \pm 0,07 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Maior aumento progressivo da RMS em função do tempo e [La] foram observados durante os testes de 115 e 35-115 rpm. Não houve alterações nas constantes de tempo e tempos de atraso nas diferentes cadências. As alterações nas respostas do  $\dot{V}_{O_2}$ , EMG de superfície e [La] provavelmente são oriundas de modificações no recrutamento muscular. Em conjunto, os resultados sugerem que o recrutamento adicional de fibras musculares (com predomínio de fibras do tipo II) esteja associado ao componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ .

Palavras-Chave: cinética do consumo de oxigênio; componente lento; eletromiografia de superfície



HIRAI, Daniel Müller. **Effects of pedal frequency on the slow component of pulmonary oxygen uptake kinetics**. 2008. \_\_f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Centro de Educação Física e Esporte. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

## **ABSTRACT**

---

---

This study investigated the effects of different pedal frequencies on the slow component of pulmonary oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2}$ ) kinetics during heavy exercise of the same external power. We hypothesized that higher pedal frequency (and presumably enhanced fast-twitch muscle fiber recruitment) would be associated with greater  $\dot{V}_{O_2}$  slow component amplitude, surface electromyography (EMG) and blood lactate concentration ([La]). Nine subjects [ $28.0 \pm 5.3$  years (SD)] performed square-wave transitions to heavy exercise at 35 and 115 rpm. Furthermore, alternated cadences square-wave transitions (35-115 rpm) were performed to examine the effects of additional fast-twitch muscle fiber recruitment on the  $\dot{V}_{O_2}$  slow component. Exercise work rate was set at 50% of the difference between cadence-specific estimated lactate threshold and peak  $\dot{V}_{O_2}$ . Baseline work rate was designed to provide similar baseline  $\dot{V}_{O_2}$  between pedal frequencies. Pulmonary  $\dot{V}_{O_2}$  was measured breath-by-breath, surface EMG signal was extracted from the vastus lateralis muscle to obtain normalized root mean square (RMS). The amplitude of the  $\dot{V}_{O_2}$  primary component was greater at 115 rpm ( $1.6 \pm 0.4$  L.min<sup>-1</sup>) compared with 35 ( $1.2 \pm 0.5$  L.min<sup>-1</sup>) and 35-115 rpm ( $1.3 \pm 0.3$  L.min<sup>-1</sup>). The amplitude of the  $\dot{V}_{O_2}$  slow component was greater at higher pedal frequencies ( $0.51 \pm 0.16$  and  $0.52 \pm 0.21$  L.min<sup>-1</sup> at 115 and 35-115 rpm, respectively) than at 35 rpm ( $0.25 \pm 0.07$  L.min<sup>-1</sup>). Greater RMS increase with time and [La] values were observed at 115 and 35-115 rpm. Altering pedal frequency had no effects on time constants or time delays. We conclude that pedal frequency altered  $\dot{V}_{O_2}$ , surface EMG and [La] responses by modifying muscle recruitment. In addition, our data suggest that a progressive recruitment of muscle fibers (likely fast-twitch) is associated with the onset of the  $\dot{V}_{O_2}$  slow component.

Keywords: oxygen uptake kinetics; slow component; surface electromyography

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	(a) Comportamento temporal das respostas do $\dot{V}_{O_2}$ nos diferentes domínios de exercício; (b) representação esquemática da relação $\dot{V}_{O_2}$ -WR	5
<b>Figura 2 -</b>	Parâmetros da cinética do $\dot{V}_{O_2}$ durante a transição do repouso para o exercício retangular em intensidade supra-LV (domínio intenso)	7
<b>Figura 3 -</b>	Representação esquemática da relação entre <i>input</i> e <i>output</i>	9
<b>Figura 4 -</b>	Comportamento da cinética do $\dot{V}_{O_2}$ durante o repouso ( $t = -6.00 \rightarrow 0$ min) e protocolo retangular (repouso $\rightarrow$ 40%LV $\rightarrow$ 80%LV)	13
<b>Figura 5 -</b>	Relação entre potência e velocidade	18
<b>Figura 6 -</b>	Comportamento do $\dot{V}_{O_2}$ durante teste submáximo de ajuste da carga de trabalho na linha de base ( $WR_{BL}$ ) de um indivíduo representativo	26
<b>Figura 7 -</b>	Representação esquemática dos diferentes protocolos retangulares	28
<b>Figura 8 -</b>	Comportamento do $\dot{V}_{O_2}$ em função do tempo nas diferentes cadências dos testes de esforço progressivo de um sujeito representativo	36
<b>Figura 9 -</b>	Comportamento do $\dot{V}_{O_2}$ em função do tempo nas diferentes cadências dos testes retangulares de um sujeito representativo	38
<b>Figura 10 -</b>	Aplicação do modelo exponencial e resíduos resultantes da descrição das respostas do $\dot{V}_{O_2}$ em função do tempo em teste retangular do protocolo C de um sujeito representativo	39
<b>Figura 11 -</b>	Valores médios da amplitude absoluta dos diferentes componentes da cinética do $\dot{V}_{O_2}$ e $\Delta EE\dot{V}_{O_2}$ nos protocolos retangulares	41
<b>Figura 12 -</b>	Valores médios $\pm$ desvio-padrão das respostas da concentração de lactato sanguíneo em três momentos (início do exercício, $TD_2$ e final do exercício) nos diferentes protocolos retangulares	43
<b>Figura 13 -</b>	Valores médios $\pm$ desvio-padrão das respostas da eletromiografia de superfície (RMS normalizado) nos diferentes protocolos retangulares	45
<b>Figura 14 -</b>	Comportamento do $\dot{V}_{O_2}$ em função do tempo em exercício de extensão de joelho a 60 rpm e 100 rpm	54

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 -</b>	Valores médios $\pm$ desvio-padrão das respostas referentes aos testes de esforço progressivo de diferentes cadências	35
<b>Tabela 2 -</b>	Valores médios $\pm$ desvio-padrão das respostas referentes aos diferentes protocolos de testes retangulares	40

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

---



---

$A'_0$	amplitude da Fase I
$A'_1$	$(A'_0 + A_1)$
$A'_2$	amplitude do componente lento
$A_1$	amplitude da Fase II
ATP	trifosfato de adenosina
CIVM	contração isométrica voluntária máxima
Cr	creatina
EMG	eletromiografia
iEMG	eletromiografia integrada
LDH	lactato desidrogenase
LV	limiar ventilatório
MDF	frequência mediana
PCr	fosfato de creatina
$Q_m$	fluxo sanguíneo muscular
RMS	raiz quadrada da média
$TD_1$	tempo de atraso da Fase II
$TD_2$	tempo de atraso do componente lento
t <sub>lim</sub>	tempo até a exaustão
VL	vasto lateral
$VO_2$	consumo de oxigênio
$VO_{2(115)}$	consumo de oxigênio na linha de base a 115 rpm
$VO_{2(b)}$	consumo de oxigênio na linha de base
$VO_{2pico}$	consumo máximo de oxigênio
WR	carga de trabalho
$WR_{BL}$	carga de trabalho na linha de base
$WR_{max}$	carga máxima de trabalho
$\Delta EEVO_2$	$(A'_1 + A'_2)$
$\tau_0$	constante de tempo da Fase I
$\tau_1$	constante de tempo da Fase II
$\tau_2$	constante de tempo do componente lento

# SUMÁRIO

---

---

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1 Cinética do VO<sub>2</sub></b> .....	3
<b>2.2 Abordagem matemática de sistemas fisiológicos</b> .....	8
<b>2.3 Sistemas lineares</b> .....	9
<b>2.4 Dinâmica das trocas gasosas pulmonares e mecanismos de controle</b> ....	10
<b>2.5 Componente lento da cinética do VO<sub>2</sub></b> .....	13
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	21
<b>3.1 Geral</b> .....	21
<b>3.2 Específicos</b> .....	21
<b>4. MÉTODOS</b> .....	22
<b>4.1 Amostra</b> .....	22
<b>4.2 Procedimentos gerais</b> .....	23
<b>4.3 Testes de esforço progressivo</b> .....	24
<b>4.4 Testes retangulares</b> .....	25
<b>4.5 Cinética do consumo de oxigênio</b> .....	29
<b>4.6 Verificação de linearidade do sistema</b> .....	30
<b>4.7 Amostra sanguínea para dosagem da concentração de lactato</b> .....	31
<b>4.8 Eletromiografia de superfície</b> .....	31
<b>4.9 Análise estatística</b> .....	33
<b>5 RESULTADOS</b> .....	34
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	47
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	59
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>ANEXOS</b> .....	69

# 1 INTRODUÇÃO

A transição do repouso para o exercício requer um fino ajuste dos sistemas pulmonar e cardiovascular no sentido de aumentar o suprimento de oxigênio à mitocôndria muscular, atendendo assim à demanda metabólica imposta via fosforilação oxidativa. A cinética do consumo de oxigênio ( $\dot{V}_{O_2}$ ), por determinar a magnitude do déficit de oxigênio e a dependência de fontes finitas de energia (glicólise e fosfocreatina), possui impacto direto na tolerância ao exercício. Além disso, a compreensão dos fatores limitantes e/ou determinantes da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  é fundamental para a elaboração de programas de reabilitação e de treinamento que aperfeiçoem o desempenho físico de pacientes e atletas (Jones & Poole, 2005).

Exercícios realizados em intensidades supra-limiar de lactato distinguem-se pelo aumento da relação entre  $\dot{V}_{O_2}$  e intensidade ( $\dot{V}_{O_2}$ -WR), ou seja, por uma cinética mais complexa devido à manifestação do componente lento (Gaesser & Poole, 1996). O componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  está relacionado ao processo de fadiga e não possui seus mecanismos causais elucidados. Uma das principais hipóteses na atualidade refere-se ao maior recrutamento das fibras musculares do tipo II como deflagrador deste processo. Baseando-se nas características da relação potência-velocidade das fibras musculares, a utilização de diferentes cadências de exercício em cicloergômetro representa um interessante modelo experimental, pois potencialmente modula o recrutamento muscular dos diferentes tipos de fibras e permite a investigação da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  nestas circunstâncias (Barstow *et al.*, 1996). Adicionalmente, a análise da concentração sanguínea de lactato e das respostas eletromiográficas neste tipo de protocolo provêm informações

relevantes na identificação de prováveis mecanismos responsáveis pela manifestação do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ .

Estudos prévios investigaram o efeito da cadência de pedalada sobre os parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  em protocolos retangulares realizados no domínio intenso de exercício (Barstow *et al.*, 1996; Migita & Hirakoba, 2006; Pringle *et al.*, 2003b). Contudo, a divergência nos resultados e diferenças metodológicas dificultam a compreensão destas respostas. Migita & Hirakoba (2006) e Pringle *et al.* (2003b) reportaram aumento da amplitude do componente lento em altas cadências, enquanto que Barstow *et al.* (1996) indicam ausência de alterações entre diferentes cadências. Parte desta incongruência provavelmente advém da (i) utilização de apenas um teste incremental para a determinação da carga de trabalho a ser empregada em protocolos retangulares de diferentes cadências; (ii) realização de apenas uma ou duas transições de exercício nos protocolos retangulares; (iii) ausência de ajuste da diferença do custo de  $O_2$  resultante do aumento do trabalho interno encontrado em maiores cadências (Barstow *et al.*, 1996; Migita & Hirakoba, 2006); e (iv) emprego de insuficiente amplitude de cadências para ocasionar alteração do padrão de recrutamento muscular (Barstow *et al.*, 1996). Além de contornar as referidas limitações, o presente estudo utiliza um novo protocolo de exercício, que tem como objetivo investigar o(s) mecanismo(s) fisiológico(s) envolvido(s) no desenvolvimento do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  mediante a aplicação do princípio de superposição (Fujihara *et al.*, 1973; Shelhamer, 2006) e alteração da cadência de pedalada (Barstow *et al.*, 1996; Migita & Hirakoba, 2006; Pringle *et al.*, 2003b).

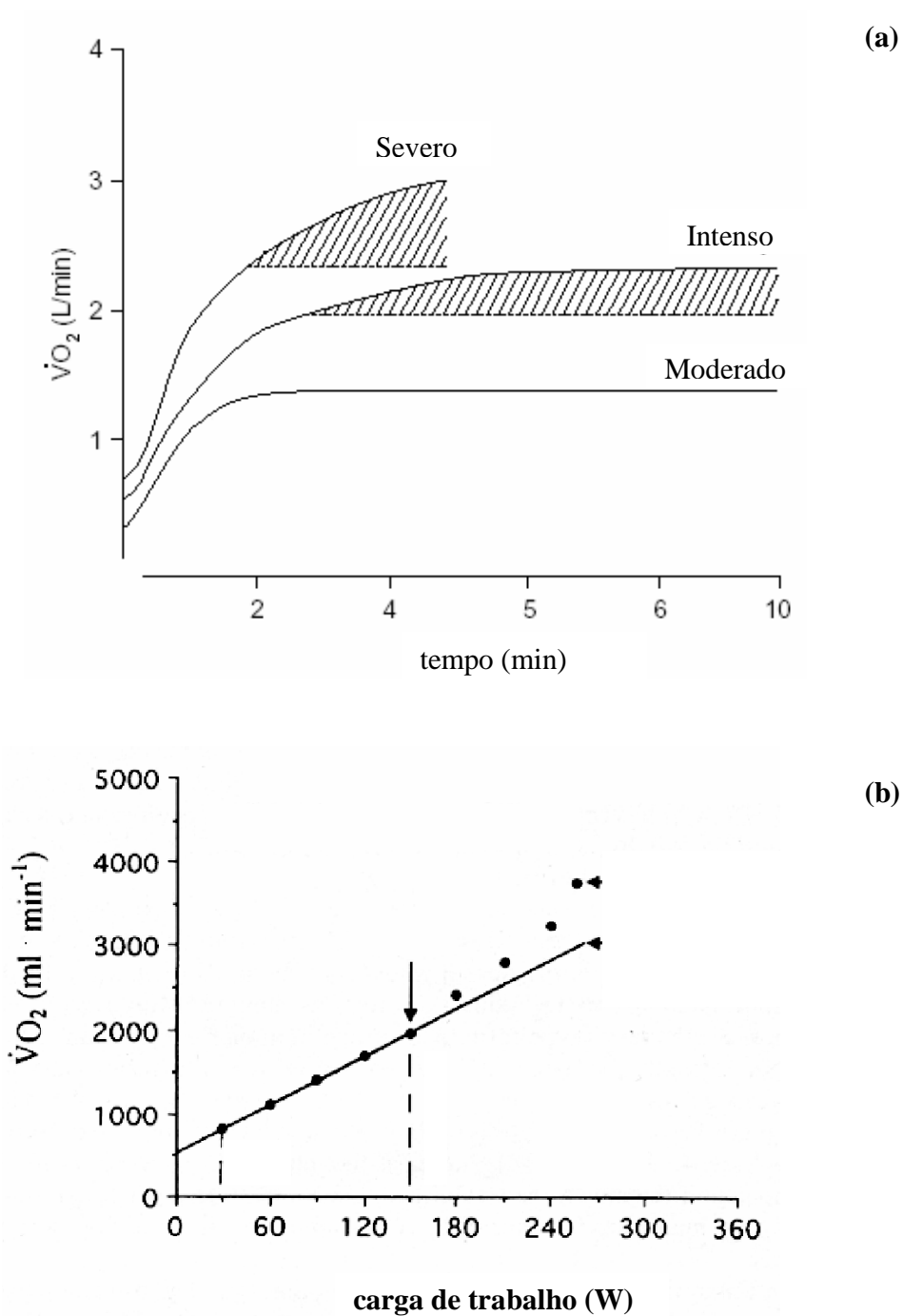
## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Cinética do $\dot{V}_{O_2}$

O aumento da demanda metabólica induzido pela transição do repouso para o exercício é determinado pela carga de trabalho. A partir do perfil das respostas do  $\dot{V}_{O_2}$  e da concentração de lactato sanguíneo, três domínios de esforço podem ser caracterizados (Gaesser & Poole, 1996) (Figura 1a). O domínio moderado é compreendido por intensidades inferiores ao limiar de lactato, sendo que o exercício realizado em teste retangular nestas intensidades revela um padrão temporal mono-exponencial do  $\dot{V}_{O_2}$  em direção ao estado estável, após curto período de atraso (fase I – componente inicial ou cardiodinâmico) (Barstow & Molé, 1987; Whipp *et al.*, 1982). A constante de tempo ( $\tau$ ) do componente primário (fase II) reflete a extração de oxigênio da musculatura ativa (Barstow *et al.*, 1990; Rossiter *et al.*, 1999). Em intensidades superiores ao limiar de lactato (domínio intenso), a cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  apresenta uma resposta mais complexa devido à manifestação do componente lento, que se sobrepõe à fase II e ocasiona um retardo da ocorrência do estado estável, além de conduzir a um  $\dot{V}_{O_2}$  maior que aquele predito pela relação sub-limiar de lactato entre  $\dot{V}_{O_2}$  e intensidade (Figura 1b) (Linnarsson, 1974; Gaesser & Poole, 1996; Whipp *et al.*, 1982; Zoladz & Korzeniewski, 2001; Zoladz *et al.*, 1995). Nestas intensidades, a concentração de lactato aumenta além dos níveis de repouso, porém ainda atinge estado estável. A potência crítica (Monod & Scherrer, 1965) demarca o limite entre o domínio intenso e severo de exercício (Gaesser & Poole, 1996; Poole *et al.*, 1988), a partir da qual se



observa a ausência de estabilização da concentração de lactato sanguíneo e do  $\dot{V}O_2$ . O componente lento ocasiona um aumento substancial do  $\dot{V}O_2$  em direção ao seu valor máximo, quando o tempo de exercício for suficiente para sua manifestação completa (Hill *et al.*, 2002).

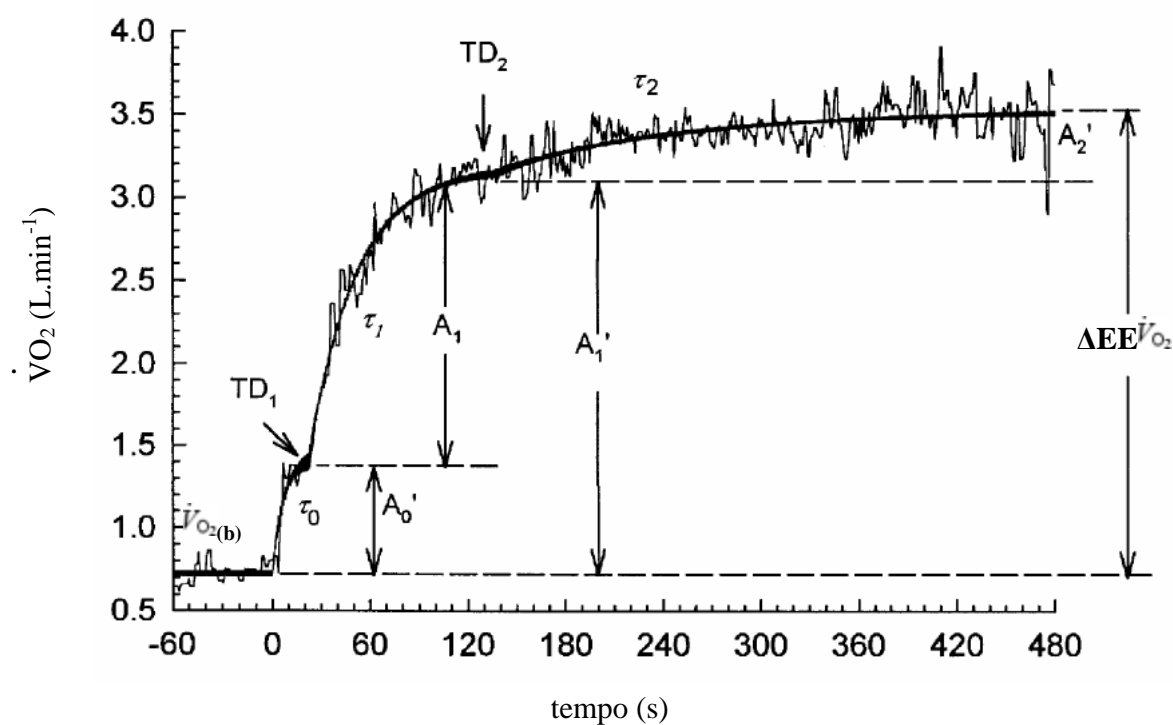


**Figura 1.** (a) Comportamento das respostas do  $\dot{V}O_2$  nos diferentes domínios de exercício. A área demarcada representa a contribuição do componente lento da cinética do  $\dot{V}O_2$  (adaptado de Xu & Rhodes, 1999); (b) representação esquemática da relação  $\dot{V}O_2$ -WR. A seta delimita as porções sub- e supra-limiar de lactato (adaptado de Zoladz & Korzeniewski, 2001).

Tradicionalmente, a cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  tem sido descrita na literatura por meio de funções exponenciais. Em relação ao domínio intenso (e a partir das respostas das trocas gasosas pulmonares), o comportamento do  $\dot{V}_{O_2}$  pode ser investigado por meio de equações tri-exponenciais, abrangendo os componentes inicial, primário e lento (Figura 2). O componente inicial da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  ( $t = 0 \rightarrow TD_1$ ) reflete o aumento abrupto da circulação pulmonar ocasionado pelo aumento do retorno venoso devido à retirada vagal e efeito da “bomba muscular” no início do exercício (Whipp *et al.*, 1982). O componente primário ( $t = TD_1 \rightarrow TD_2$ ) reflete a chegada do sangue venoso misto na circulação pulmonar, sendo dependente do débito cardíaco e da diferença artério-venosa de oxigênio. Deste modo, o componente primário da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  de trocas gasosas pulmonares é considerado como indicador do metabolismo oxidativo da musculatura ativa (Barstow *et al.*, 1990; Rossiter *et al.*, 2002; Whipp *et al.*, 1982). O componente lento ( $t \geq TD_2$ ) está associado ao processo de fadiga e, apesar de não elucidados, provavelmente possui seus mecanismos causais localizados na própria musculatura (Poole *et al.*, 1991; Rossiter *et al.*, 2002). Atualmente, o envolvimento do recrutamento das fibras musculares do tipo II tem sido destacado na literatura como possível mecanismo deflagrador deste processo (Barstow *et al.*, 1996; Gaesser & Poole, 1996; Jones & Poole, 2005; Migita & Hirakoba, 2006; Pringle *et al.*, 2005).

O ajuste inicial do sistema cardio-respiratório durante a transição do repouso para o exercício dinâmico não é adequado para suprir a demanda oxidativa da musculatura inteiramente pelo consumo do oxigênio atmosférico. Durante a transição, parte da demanda deve ser alcançada pela depleção dos estoques de oxigênio (oxi-hemoglobina, oxi-mioglobina e  $O_2$  dissolvido no sangue), fosfocreatina e pela contribuição do metabolismo glicolítico. A proporção da energia

total derivada do oxigênio atmosférico aumenta em função do tempo visando a atingir o estado-estável, quando teoricamente toda a demanda é suprida por esta fonte. Dessa forma, quanto mais rápido o organismo atingir o estado-estável do  $\dot{V}_{O_2}$  menor será o déficit de oxigênio. Este ajuste pode ser avaliado pela constante de tempo do componente primário ( $\tau_1$ ) da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , que descreve a taxa na qual o  $\dot{V}_{O_2}$  aumenta em direção ao estado-estável (como tempo necessário para atingir 63% da amplitude).



**Figura 2.** Parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  durante a transição do repouso para o exercício retangular em intensidade supra-LV (domínio intenso). 0, 1 e 2 denotam os componentes inicial, primário e lento;  $\dot{V}_{O_2(b)}$ , A,  $\tau$  e TD os valores do período de linha de base, as assíntotas das amplitudes dos

termos exponenciais, as constantes de tempo e os tempos de atraso independentes, respectivamente;  $A'_1 = (A'_0 + A_1)$ ;  $\Delta EE \dot{V}_{O_2} = (A'_1 + A'_2)$  (adaptado de Barstow *et al.*, 1996).

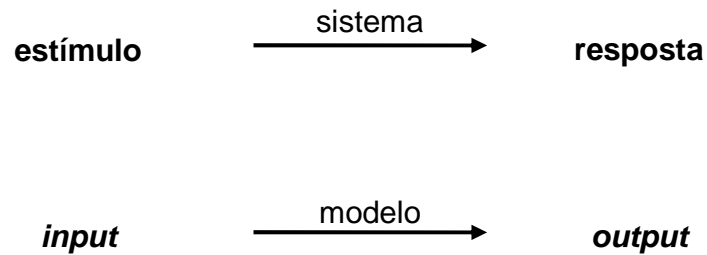
## 2.2 Abordagem matemática de sistemas fisiológicos

A utilização de modelos matemáticos na descrição de processos biológicos dinâmicos visa à identificação da estrutura e dos mecanismos fisiológicos do sistema (Barstow & Molé, 1991; Fujihara *et al.*, 1973; Lamarra, 1990; Leigh, 2004; Linnarsson, 1990; Swanson, 1990, Voit *et al.*, 2005). Modelos referentes à função respiratória, especialmente com relação à cinética das trocas gasosas pulmonares, potencialmente provêm maior compreensão acerca dos mecanismos envolvidos no suprimento e na utilização do oxigênio pela musculatura ativa.

Nesse sentido, a definição de dois termos torna-se essencial: (a) sistema e (b) modelo (*transfer function*) (Lamarra, 1990). Um sistema é caracterizado por no mínimo uma variável de entrada (*input*) e uma variável de saída (*output*), sendo seu comportamento interno (*black box*) determinante da relação entre estas variáveis. O coração, por exemplo, possui como *output* o débito cardíaco e como *input* os estímulos mecânicos, neurais e humorais/químicos (Lamarra, 1990). Um sistema pode ser composto de várias partes, com funções distintas, porém complementares, organizadas hierarquicamente.

Modelo é uma relação matemática que caracteriza o comportamento de um sistema, ou seja, que relaciona o *output* ao *input* (Figura 3) (Lamarra, 1990). Portanto, modelo pode ser definido como uma abstração da realidade, contendo as características consistentes com seu propósito. Dessa forma, mediante a aplicação de diferentes *inputs* é possível investigar as

propriedades dinâmicas de sistemas fisiológicos a partir da análise de seus respectivos *outputs*, determinando a relação entre ambos (Wigertz, 1971).



**Figura 3.** Representação esquemática da relação entre *input* e *output* (adaptado de Lamarra, 1990).

### 2.3 Sistemas dinâmicos lineares

Sistemas dinâmicos lineares são basicamente definidos por duas propriedades (Shelhamer, 2006):

1. Proporcionalidade. Se o *input*  $x(t)$  produz o *output*  $y(t)$ , então a influência de um fator  $a$  sobre o *input* produzirá em *output* a mesma influência:  $ax(t) \rightarrow ay(t)$ . Deste modo, o *output* é proporcional ao *input*.
  
2. Superposição. Descreve o fato do *output* de sistemas lineares compostos de múltiplos componentes ser completamente compreendido e predito examinando-se cada componente de modo individual, e definindo a relação entre *input* e *output*. Assim, o

comportamento global do sistema é constituído pela soma de suas partes. Se o *input*  $x_1(t)$  produz o *output*  $y_1(t)$ , e um diferente *input*  $x_2(t)$  produz o *output*  $y_2(t)$ , então o somatório dos diferentes *inputs* produzirá o somatório dos diferentes *outputs*:  $x_1(t) + x_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$ . Isto significa que os dois diferentes *inputs* não interagem entre si quando presentes em sistemas lineares. Esta propriedade permite a determinação da resposta de um sistema linear a vários *inputs* complexos a partir da análise individual de cada *input*; produzindo o *output* quando do somatório dos primeiros.

Em contraste, qualquer sistema que viole as propriedades descritas acima será classificado como não-linear. Assim, excetuando a ausência de linearidade, sistemas não-lineares não apresentam nenhuma outra característica em comum (Leigh, 2004). Consequentemente, este tipo de sistema não pode ser totalmente compreendido ou ter suas respostas previstas a partir da análise individual de seus componentes (Goldberger, 1996).

## 2.4 Dinâmica das trocas gasosas pulmonares e mecanismos de controle

A aplicação dos princípios de controle de sistemas em respostas dinâmicas ao exercício permite a exploração dos mecanismos de controle envolvidos em sistemas fisiológicos (Hughson, 1990; Leigh, 2004; Linnarsson, 1990). Uma variedade de *inputs* (protocolos de imposição de carga externa: impulso, rampa, senoidal, retangular e pseudo-aleatório) tem sido utilizada para a avaliação do controle do sistema cardiorespiratório em humanos mediante avaliação dos respectivos *outputs* (cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ ) (Casaburi *et al.*, 1977; Cautero *et al.*, 2005; Fujihara *et al.*, 1973; Hughson *et al.*, 1988; Hughson *et al.*, 1990; Lamarra, 1990). A maioria destes protocolos

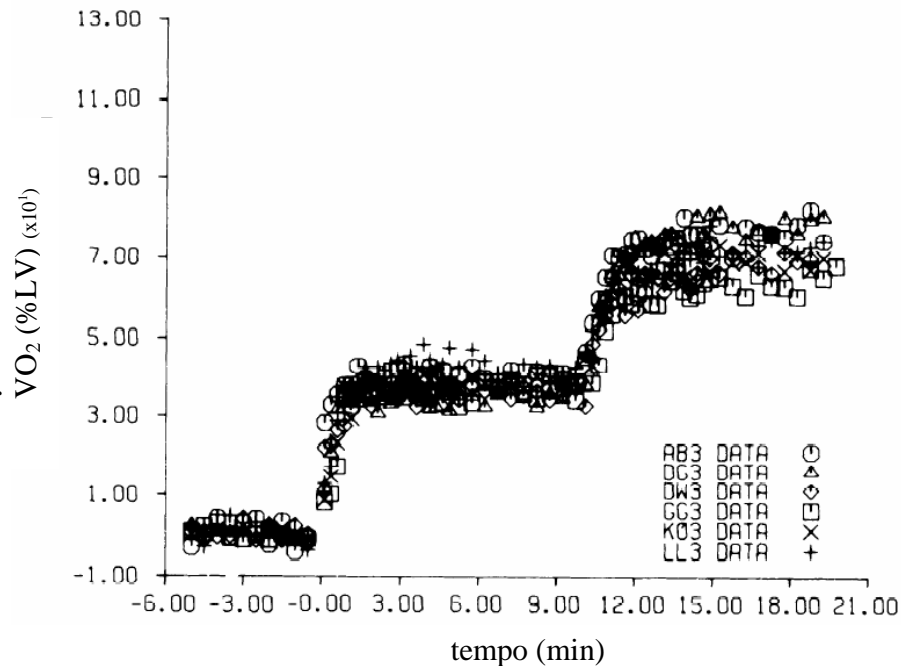
requer a manutenção da cadência enquanto a carga de trabalho é alterada. Em sistemas dinâmicos lineares, a amplitude (aumento do  $\dot{V}_{O_2}$  acima da linha de base) deveria ser diretamente proporcional à magnitude do *input* (carga de trabalho externa), e a resposta cinética ( $\tau$ ) deveria ser fixa diante das diferentes imposições de carga (tipos de protocolo) (Hughson *et al.*, 1988). Deste modo, a resposta a um determinado *input* (como o exercício retangular de certa intensidade) poderia ser predito a partir das respostas conhecidas a outro *input* (por exemplo: retangular a partir do impulso) (Fujihara *et al.*, 1973). Esta característica preditiva em sistemas lineares é fundamentada no princípio de superposição.

A relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR reflete a complexa interação do sistema (organismo) frente à demanda metabólica imposta pelo exercício (Whipp & Wasserman, 1972; Whipp *et al.*, 1981) (Figura 1b). Diversos parâmetros fisiológicos derivados dos testes incrementais (rampa) são análogos aos encontrados nos testes retangulares (Jones & Carter, 2004; Markovitz *et al.*, 2004; Whipp *et al.*, 1981): (a) a inclinação da reta (*slope*) da relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR em testes incrementais é análoga ao ganho do componente primário ( $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta WR$ ) em exercícios moderados constantes; (b) o MRT (*mean response time*) de exercícios incrementais pode prover informação em relação à adaptação do metabolismo oxidativo ( $TD_1 + \tau_1$ ) em testes constantes e (c) o aumento do  $\dot{V}_{O_2}$  observado durante exercícios incrementais na relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR e o componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  provavelmente são regidos pelos mesmos mecanismos.

A resposta da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  em intensidades sub-limiar de lactato é geralmente considerada como linear (Barstow & Molé, 1991; Cautero *et al.*, 2005; Gasser & Poole, 1996; Lamarra, 1990; Linnarsson, 1990; Whipp & Wasserman, 1972), sugerindo que seu



comportamento respeitaria os princípios de proporcionalidade e superposição. Assim, o  $\tau$  do componente primário em resposta ao *input* de mesma magnitude deveria se manter constante independentemente do tipo de protocolo imposto nestas intensidades. Entretanto, Hughson & Morrissey (1982) reportaram indícios de não-linearidade durante a realização de protocolo retangular (Figura 4), uma vez que a transição repouso  $\rightarrow$ 40%LV forneceu menores valores de  $\tau$  em relação à transição 40%LV  $\rightarrow$ 80%LV. Adicionalmente, a não-linearidade observada mediante testes de superposição em diferentes protocolos (comparação do protocolo de impulso e retangular através da integral das respostas do teste de impulso) e a constatação de diferentes valores de  $\tau$  em cargas realizadas em intensidades sub-limiar de lactato revelam possível não-linearidade na regulação do sistema (Hughson *et al.*, 1988). Em conjunto, estes achados sugerem o desenvolvimento adicional de fator(es) de limitação da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  nestas intensidades – domínio moderado (Hughson, 1990). No entanto, Cauteiro *et al.* (2005) alertam que tais conclusões devem ser tomadas com cautela, uma vez que diferentes metodologias aplicadas nos estudos poderiam ser responsáveis pelas disparidades encontradas (algoritmos para o cálculo do  $\dot{V}_{O_2}$  e diferentes modelos para caracterização da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ ). Além disso, a impossibilidade de imposição de um protocolo de impulso real (tempo de duração nula e amplitude infinita) é contornada com a utilização de pulso de curta duração ( $\Delta t$  obrigatoriamente menor que qualquer parâmetro cinético do sistema) (Fujihara *et al.*, 1973), fato que pode dificultar ou até certo ponto inviabilizar a verificação do princípio de superposição nestes casos.



**Figura 4.** Comportamento da cinética do  $\dot{V}O_2$  durante o repouso ( $t = -6.00 \rightarrow 0$  min) e protocolo retangular (repouso  $\rightarrow$  40%LV  $\rightarrow$  80%LV), sugerindo não-linearidade do sistema em exercício moderado (adaptado de Hughson & Morrissey, 1982).

## 2.5 Componente lento da cinética do $\dot{V}O_2$

A manifestação do componente lento a partir de intensidades supra-limiar de lactato ocasiona um aumento da relação  $\dot{V}O_2$ -WR, dependente do tempo e da intensidade (Poole & Richardson, 1997; Zoladz *et al.*, 1995) e, portanto, invalida a predição das respostas a partir de sua porção sub-limiar (Figura 1b). A quebra de linearidade presente na porção supra-limiar de lactato da relação  $\dot{V}O_2$ -WR pode ser evidenciada a partir da alteração de seu *slope* (pré =  $9,1 \pm 0,4$  e pós =  $9,8 \pm 0,5$   $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{W}^{-1}$ ;  $p < 0,01$ ) mediante realização de protocolos de exercícios incrementais prévios (Jones & Carter, 2004). Assim, o limiar de lactato parece delimitar as

intensidades (domínios de exercício) onde se observam características predominantemente lineares daquelas que exibem um comportamento mais complexo (Whipp & Ward, 1990). Entretanto, o conceito de linearidade é geralmente estendido para toda a relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR (Carter *et al.*, 2006; Hughson *et al.*, 2000; McArdle *et al.*, 2003; Medbo *et al.*, 1988; Noakes, 1997; Powers & Howley, 2000), negligenciando a existência do componente lento e sugerindo eficiência constante (Gaesser & Poole, 1996). A estimativa do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) (Medbø *et al.*, 1988) e da constante de tempo do componente primário ( $\tau_1$ ) em exercícios supra-máximos (Carter *et al.*, 2006; Hughson *et al.*, 2000) são exemplos de algumas situações onde se observa a admissão de linearidade, gerando respostas que violariam pressupostos fisiológicos (Bangsbo, 1996; Hill, 1996; Hirai *et al.*, 2008; Nakamura & Franchini, 2006).

Diversos estudos procuraram estabelecer o vínculo entre o aumento da relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR em testes incrementais e a manifestação do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  em exercícios retangulares (Barstow *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 2004; Jones & Carter, 2004; Marles *et al.*, 2006; Pedersen *et al.*, 2002; Zoladz & Korzeniewski, 2001; Zoladz *et al.*, 1995). Segundo Zoladz *et al.* (1995), os mecanismos responsáveis pela quebra da linearidade da relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR (provavelmente o aumento do recrutamento das fibras musculares do tipo II) levariam também à manifestação do componente lento. Baseando-se nesta hipótese, o efeito do exercício prévio (Gerbino *et al.*, 1996) nos protocolos incremental e retangular deveria ser o mesmo (Hughson *et al.*, 1988). Marles *et al.* (2006) reportam dissociação destas respostas do  $\dot{V}_{O_2}$  após realização de exercício retangular prévio, sugerindo que estes eventos fisiológicos não estariam relacionados. No entanto, a caracterização do componente lento em intervalo pré-definido ( $\Delta\dot{V}_{O_2[6-3]}$ ) no estudo

pode ter subestimado sua amplitude, consequentemente induzindo conclusões equivocadas (Bearden & Moffat, 2001). Adicionalmente, a própria alteração do *slope* da relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR nas diferentes intensidades de exercício (porção sub- ou supra-limiar de lactato) poderia fornecer informações relevantes sobre a possível influência dos diferentes tipos de fibras musculares na cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  (Jones & Poole, 2005). Em conflito com a maioria das evidências reportadas na literatura, Pérez *et al.* (2003) demonstraram redução do *slope* supra-limiar de lactato ( $9,8 \pm 0,2$  e  $8,6 \pm 0,5$  ml.min<sup>-1</sup>.W<sup>-1</sup>; p<0,05) após realização de programa de estimulação elétrica crônica, que resultou no aumento relativo da quantidade de fibras do tipo II do quadríceps. Deste modo, investigações futuras são necessárias para a melhor compreensão destas respostas em exercício incremental.

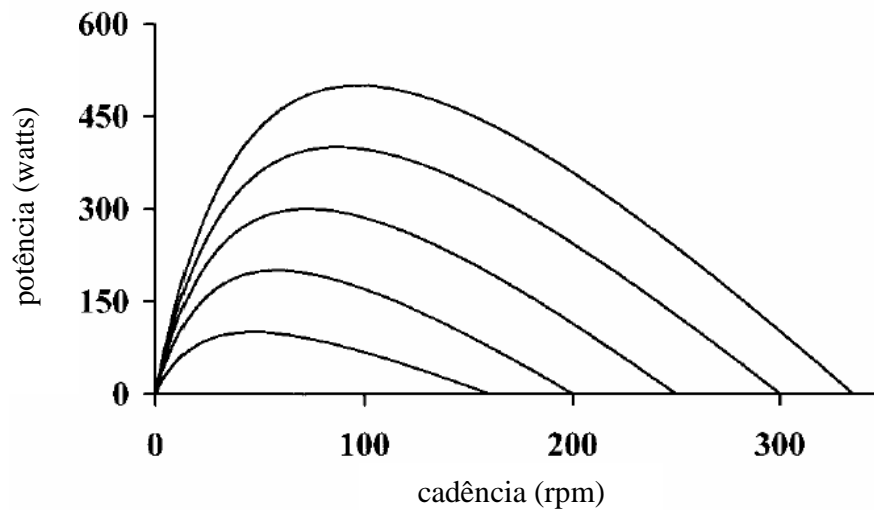
O componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  está relacionado ao processo de fadiga (Poole *et al.*, 1994a), tornando a resolução de seus mecanismos fisiológicos crucial para a compreensão dos fatores envolvidos na tolerância ao exercício. Diversas hipóteses foram propostas acerca de sua etiologia; entretanto, esta ainda permanece obscura (Gaesser & Poole, 1996; Jones & Poole, 2005). O aumento da temperatura (efeito Q<sub>10</sub>) e a elevação do trabalho ventilatório (Hagberg *et al.*, 1978) como possíveis mediadores do fenômeno foram refutados (Koga *et al.*, 1997, Poole *et al.*, 1991). Devido à forte correlação temporal do perfil da concentração de lactato com o componente lento, foi sugerido que a acidose láctica pudesse ter relação de causa e efeito com o mesmo (Poole *et al.*, 1988; Roston *et al.*, 1987; Whipp & Wasserman, 1986). Porém, a infusão de lactato (Poole *et al.*, 1994b) e epinefrina (Gaesser *et al.*, 1994), a ingestão de bicarbonato (Santalla *et al.*, 2003), a presença de componente lento em pacientes portadores da síndrome de McArdle (Ong *et al.*, 2004) e a manifestação do componente lento em domínio moderado através

da manipulação do recrutamento muscular a partir da depleção de glicogênio (Krustrup *et al.*, 2004a) demonstram claras evidências de dissociação entre a acidose / concentração de lactato e o desenvolvimento do componente lento. Poole *et al.* (1991) e Rossiter *et al.* (2002) demonstraram que aproximadamente 86-90% do componente lento é oriundo da musculatura ativa, restringindo a potencial participação de outros fatores na manifestação do componente lento. Em conjunto, estas evidências direcionam o foco da discussão para a possibilidade de aspectos relacionados ao recrutamento específico de fibras musculares e/ou mecanismos energéticos intrínsecos estarem envolvidos no processo.

Segundo Barstow *et al.* (1996) e Pringle *et al.* (2003a), a distribuição das fibras do tipo I possui forte correlação com a contribuição relativa do componente lento durante a transição do repouso ao exercício em cicloergômetro, realizada nos domínios intenso ( $r = -0,83$ ) e severo ( $r = -0,64$ ). Devido à menor eficiência (Crow & Kushmerick, 1982) e ao aumento do recrutamento das fibras do tipo II em proporção à intensidade de exercício (Vollestad & Blom, 1985), o possível envolvimento destas fibras na manifestação do componente lento tem sido destacado na literatura (Barstow *et al.*, 1996; Gaesser & Poole, 1996; Jones & Poole, 2005; Pringle *et al.*, 2003b). Recentemente, Krustrup *et al.* (2004a) fortaleceram esta hipótese: após a depleção seletiva de glicogênio de fibras do tipo I foi demonstrada a manifestação do componente lento em exercício moderado devido ao recrutamento de fibras do tipo II. Além disso, este trabalho também demonstrou pela primeira vez o componente lento em domínio moderado de esforço, corroborando com os estudos que apontam dissociação entre sua etiologia e a acidose promovida pelo acúmulo de lactato (Gaesser *et al.*, 1994; Poole *et al.*, 1994b; Ong *et al.*, 2004; Santalla *et al.*, 2003). Mensurando as concentrações de glicogênio e fosfocreatina de diferentes tipos de fibras musculares durante protocolo retangular realizado em cicloergômetro (70 rpm; 70% $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ),

Krustrup *et al.* (2004b) reforçaram o possível envolvimento das fibras do tipo II na manifestação do componente lento. O estudo demonstra que os dois principais tipos de fibras são recrutados desde a transição até o final do exercício, com um recrutamento adicional de ambos (porém com predomínio das fibras do tipo II) que coincide temporalmente com a manifestação do componente lento.

A partir da relação entre potência e velocidade de contração das fibras musculares esqueléticas (Figura 5), foi sugerido que a contribuição relativa das fibras do tipo II na geração de potência seria maior com a elevação da cadência para a mesma carga de trabalho externa (MacIntosh *et al.*, 2000; Sargeant, 1994; Sargeant, 2007). Portanto, a alteração da cadência para a mesma carga de trabalho durante o exercício realizado no domínio intenso constituiria um interessante modelo experimental para a investigação do efeito do padrão de recrutamento das fibras musculares sobre o componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  (Barstow *et al.*, 1996). Estudos prévios (Barstow *et al.*, 1996; Migita & Hirakoba, 2006; Pringle *et al.*, 2003b) apontaram evidências conflitantes após a aplicação de diferentes rotações em exercícios executados em cicloergômetro. Barstow *et al.* (1996) reportaram a ausência de efeitos no componente lento a partir da aplicação de diferentes cadências compreendidas entre 45 e 90 rpm. Entretanto, foi sugerido que a amplitude das rotações utilizadas não tenha sido suficiente para alterar o padrão de recrutamento muscular e que limitações metodológicas pudessem comprometer a interpretação dos resultados (Pringle *et al.*, 2003b). Assim, mediante incorporação de algumas modificações metodológicas e emprego de um intervalo maior de cadências (aproximadamente 35 a 115 rpm), foi observada maior amplitude do componente lento durante a realização do exercício nas maiores rotações (Migita & Hirakoba, 2006; Pringle *et al.*, 2003b).



**Figura 5.** Relação entre potência e velocidade de contração das fibras musculares esqueléticas. Cada curva representa o recrutamento progressivo da musculatura (adaptado de MacIntosh *et al.* 2001).

A despeito da diferença reportada nas amplitudes dos componentes da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , Migita & Hirakoba (2006) não encontraram alterações em índices da eletromiografia (EMG) de superfície (eletromiografia integrada – iEMG; e frequência mediana – MDF) durante a manifestação do componente lento em diferentes cadências em cicloergômetro. De fato, diversos estudos que investigaram o componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  mediante análises da EMG reportaram resultados conflitantes (Bernasconi *et al.*, 2006; Borrani *et al.*, 2001; Cannon *et al.*, 2007; Cleuziou *et al.*, 2004; Deley *et al.*, 2006; Garland *et al.*, 2006; Migita & Hirakoba, 2006; Saunders *et al.*, 2000; Scheuermann *et al.*, 2001; Shinohara & Moritani, 1992), provavelmente devido à complexidade inerente das respostas neuromusculares, diversidade de metodologias aplicadas, diferentes músculos avaliados, aptidão física dos sujeitos investigados e intensidades e tipos de exercício empregados. Ainda que seja impossível a identificação direta do tipo de fibra

recrutada mediante análise da EMG de superfície durante o exercício, esta técnica constitui uma importante ferramenta para a investigação não-invasiva do comportamento neuromuscular (Jones & Poole, 2005), principalmente quando aliada às respostas da cinética do  $\dot{V}O_2$  e da concentração de lactato sanguíneo. Especificamente, o aumento dos valores normalizados da raiz quadrada da média (RMS – *root mean square*) é considerado um importante índice para a avaliação do recrutamento adicional de fibras musculares durante o exercício (Bernasconi *et al.*, 2006).

Apesar do aumento da concentração de lactato sanguíneo durante o exercício ter origem multifatorial (Rowell & Shepherd, 1996; Svedahl & MacIntosh, 2003), dependendo de (i) regulação bioquímica (envolvendo principalmente a lactato desidrogenase – LDH); (ii) da atividade simpática (o aumento da concentração de epinefrina estimula a glicólise); (iii) do balanço entre a produção e a remoção de lactato (dependente principalmente do fluxo sanguíneo e da quantidade de massa muscular “inativa”); e (iv) da intensidade, tipo e duração do exercício; o recrutamento adicional das fibras musculares do tipo II pode ser considerado como um dos principais fatores responsáveis pelo aumento de sua concentração (Billat *et al.*, 2003; Philp *et al.*, 2005). Mannion *et al.* (1995) reportaram correlação ( $r = 0,60$ ) entre a distribuição relativa das fibras do tipo II e a concentração de lactato sanguíneo após a realização de exercícios dinâmicos e isométricos, suportando esta hipótese. Desta forma, devido às diferentes características contráteis e metabólicas relacionadas aos tipos de fibras (Achten *et al.*, 1990; He *et al.*, 2000; McArdle *et al.*, 2003), prováveis diferenças encontradas na concentração de lactato sanguíneo em diferentes cadências de pedalada poderiam ser interpretadas como indicadoras do recrutamento de fibras musculares do tipo II (Pringle *et al.*, 2003b).



Portanto, a modulação do recrutamento de diferentes tipos de fibras musculares (através da alteração da cadência) poderia influenciar as respostas da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , EMG e concentração de lactato sanguíneo e prover informações relevantes à melhor compreensão dos mecanismos envolvidos na manifestação do componente lento. Se o recrutamento progressivo das fibras musculares do tipo II estiver associado ao componente lento, a cadência elevada induzirá maior amplitude do componente lento e maiores alterações nos índices eletromiográficos e na concentração de lactato sanguíneo.

Além dos protocolos retangulares convencionais (Barstow *et al.*, 1996; Migita & Hirakoba, 2006; Pringle *et al.*, 2003b), o presente estudo utilizou um protocolo retangular de cadência alternada, que visou à verificação de linearidade do sistema mediante aplicação do princípio de superposição. Neste caso, a linearidade corroboraria a hipótese de envolvimento do recrutamento progressivo de fibras musculares do tipo II no desenvolvimento do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ .

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Geral**

Avaliar os efeitos da alteração da cadência de pedalada sobre os parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , eletromiografia de superfície e concentração de lactato sanguíneo em protocolos retangulares, de cadência constante e alternada.

### **3.2 Específicos**

Avaliar os efeitos de diferentes cadências de pedalada sobre o limiar ventilatório, carga de trabalho máxima e  $\dot{V}_{O_2\text{-pico}}$  em protocolos incrementais;

Verificar a hipótese de linearidade do sistema mediante aplicação do princípio de superposição em protocolo retangular de cadência alternada.

# 4 MÉTODOS

## 4.1 Amostra

Admitindo-se uma diferença mínima esperada de 150 mL e desvio-padrão da diferença de 125 mL para a amplitude do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  ( $A'_{2}$ ),  $\beta = 0,20$  ( $Z_{\beta} = 1,28$ ) e  $\alpha = 0,05$  ( $Z_{\alpha} = 1,96$ ); obtém-se  $n = 7,3$  a partir de cálculo do tamanho da amostra (Equação 1) (Rosner, 2000):

$$(Eq. 1) \quad n_{/grupo} = [(z_{\alpha/2} + z_{\beta})d_{\Delta} / \Delta]^2$$

Desta forma, foram recrutados para o desenvolvimento deste estudo nove indivíduos saudáveis do gênero masculino, de acordo com os seguintes critérios de inclusão: idade compreendida entre 20 e 35 anos; não fumantes; não etilistas; não possuem histórico de doenças que contra-indicasse esforço físico; prática regular de atividade física; não serem atletas profissionais. Todos os participantes assinaram termo de consentimento (Anexo 1) devidamente aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas de Porto Alegre - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HCPA - UFRGS) (nº. 06-562).

## 4.2 Procedimentos gerais

Todos os indivíduos foram submetidos a dois testes de esforço progressivo em cicloergômetro (um teste para cada cadência em dias alternados – 35 e 115 rpm) para análise das trocas gasosas pulmonares e determinação da capacidade de exercício. Após intervalo mínimo de 24 horas, foi realizado um teste retangular submáximo por dia, totalizando 10 testes retangulares destinados à determinação dos parâmetros da cinética do  $\dot{V}O_2$ . Durante testes retangulares pré-definidos foram também coletadas amostras sanguíneas para dosagem da concentração sanguínea de lactato e dados referentes à eletromiografia de superfície.

Os indivíduos foram orientados a não executarem atividades físicas extenuantes no dia anterior e a não ingerirem alimentos nas duas horas prévias à realização dos testes. Todos os testes de exercício foram realizados aproximadamente no mesmo horário para cada indivíduo e em ambiente de temperatura controlada (aproximadamente 20°C). Havia incentivo verbal por parte dos investigadores (Wilmore, 1968) e, caso a cadência não fosse mantida (tolerância  $\leq 5$  rpm) por mais de cinco segundos, o teste era interrompido. Todos os indivíduos possuíam experiência prévia com os procedimentos adotados no presente estudo (testes de esforço progressivo; testes retangulares; procedimentos de coleta dos dados relacionados ao  $\dot{V}O_2$ , amostra sanguínea para dosagem da concentração de lactato e eletromiografia de superfície).

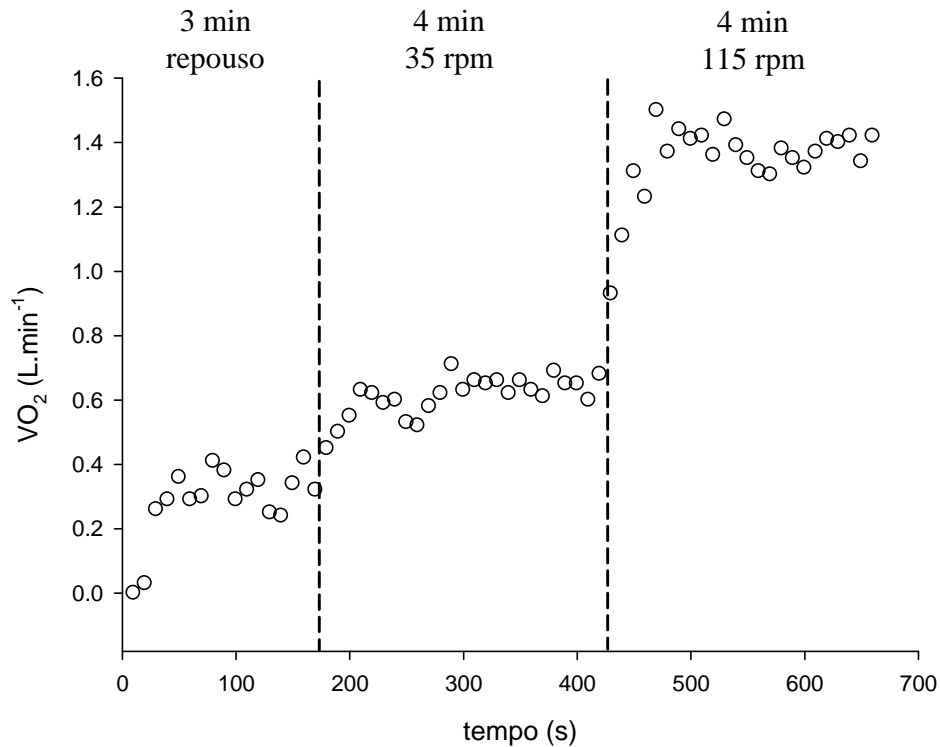
### 4.3 Testes de esforço progressivo

Os testes de esforço progressivo foram conduzidos em cicloergômetro eletromagnético (*Ergoline er900, Jaeger, Germany*), sendo que para cada cadência foram determinados os respectivos valores do limiar ventilatório (LV) e do  $\dot{V}_{O_2\text{pico}}$ . O protocolo consistiu de 3 minutos iniciais em repouso, seguidos de 3 minutos pedalando com resistência inicial de 20 W e incrementos de carga de 20 W.min<sup>-1</sup> até a exaustão voluntária, ou incapacidade de manutenção da cadência pré-estabelecida (tolerância  $\leq 5$  rpm). A ordem de realização de cada teste de exercício foi determinada por sorteio simples, e os indivíduos foram orientados a manter uma cadência constante de 35 ou 115 rpm, mediante auxílio de *feedback* visual (velocímetro do cicloergômetro).

As trocas gasosas pulmonares foram mensuradas respiração a respiração (*MetaLyzer 3B, Cortex, Germany*) durante todos os testes. O LV foi determinado através do método *V-slope* (Wasserman *et al.*, 1999) a partir da média dos valores de  $\dot{V}_{O_2}$  a cada 10s (Barker *et al.*, 2006) e o  $\dot{V}_{O_2\text{pico}}$  estabelecido a partir da média dos valores do  $\dot{V}_{O_2}$  dos 30s prévios à exaustão. O equipamento foi calibrado antes de cada teste (testes de esforço progressivo e testes retangulares) de acordo com a padronização do fabricante, utilizando-se gases de concentração conhecida de O<sub>2</sub> (16%) e CO<sub>2</sub> (5%) e seringa de volume conhecido (3L).

#### 4.4 Testes retangulares

Os testes de exercício retangulares foram realizados em cicloergômetro eletromagnético (*Ergoline er900, Jaeger, Germany*). Com o intuito de ajustar as cargas de trabalho de modo a se obterem os mesmos valores de  $\dot{V}_{O_2}$  de linha de base para as diferentes cadências, os indivíduos cumpriram uma sessão de exercício submáximo com resistência fixa de 20W (a menor carga de trabalho disponível no ergômetro) previamente à execução dos testes retangulares, para a realização do cálculo da carga de trabalho na linha de base ( $WR_{BL}$ ) dos protocolos de baixa cadência e cadência alternada (Pringle *et al.*, 2003b). A sessão consistiu de 3 minutos iniciais em repouso, seguidos de dois estágios de 4 minutos para cada cadência (Figura 6). A média do  $\dot{V}_{O_2}$  dos últimos 2 minutos (valores a cada 10s) de cada estágio foi adotada como equivalente ao custo de  $O_2$  na linha de base das respectivas cadências.



**Figura 6.** Comportamento do  $\dot{V}O_2$  durante teste submáximo de ajuste da carga de trabalho na linha de base ( $WR_{BL}$ ) de um indivíduo representativo (valores de  $\dot{V}O_2$  a cada 10s). A carga externa imposta era de 20W e o protocolo consistiu de 3 minutos iniciais em repouso, 4 minutos pedalando a 35 rpm e 4 minutos pedalando a 115 rpm. A média do  $\dot{V}O_2$  dos últimos 2 minutos ( $VO_{2(115)}$ ) era utilizada na regressão linear da porção sub-limiar da relação  $\Delta\dot{V}O_2/\Delta WR$  do teste de esforço progressivo de 35 rpm, com intuito de calcular a carga na linha de base a ser utilizada nos testes retangulares de baixa cadência.

A  $WR_{BL}$  foi calculada por meio de regressão linear (Equação 2) da porção sub-limiar da relação  $\Delta\dot{V}O_2/\Delta WR$  do teste de esforço progressivo a 35 rpm, substituindo-se y pelo valor do custo de  $O_2$  na linha de base a 115 rpm ( $VO_{2(115)}$ ). Portanto, durante o período de linha de base do teste retangular de menor cadência e de cadência alternada, a resistência foi ajustada de modo a anular

a diferença do custo de  $O_2$  resultante do aumento do trabalho interno encontrado em maiores cadências. Adicionalmente, este protocolo teve como objetivo a familiarização dos sujeitos à alteração da cadência de pedalada, necessária para a realização de testes subseqüentes.

$$(Eq. 2) \quad y = ax + b$$

$$VO_{2(115)} = aWR_{BL} + b$$

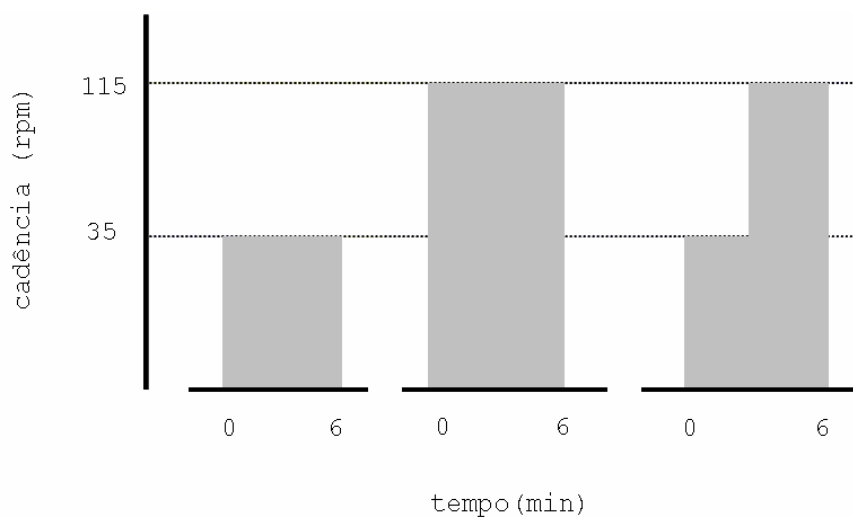
$$WR_{BL} = (VO_{2(115)} - b) / a$$

Posteriormente, cada indivíduo foi submetido a três diferentes protocolos retangulares em cicloergômetro, que consistiram de 3 minutos de repouso, 4 minutos de linha de base, seguidos da transição abrupta da carga de trabalho relativa a 50% da diferença entre o LV e o  $\dot{V}_{O_2\text{pico}}$  ( $50\%\Delta$ ) por 10 minutos, ou até a exaustão voluntária/incapacidade de manutenção da cadência. Estes protocolos retangulares tinham como objetivo a estimativa dos parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , análise da eletromiografia de superfície e coleta da amostra sanguínea para dosagem da concentração de lactato. A análise da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  e da eletromiografia foi realizada durante os primeiros 6 minutos de exercício, enquanto que a coleta da amostra sanguínea para dosagem da concentração de lactato foi realizada em três momentos: início do exercício ( $t = 0$ ),  $TD_2$  e final do exercício (aos 10 minutos ou no momento da exaustão –  $t_{lim}$ ).

Para aumentar a confiabilidade da estimativa dos parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , foram realizadas três transições de exercício para cada protocolo retangular, com intervalo mínimo de 24 horas entre cada teste (Lamarra *et al.*, 1987; Whipp *et al.*, 1982).



Os três protocolos retangulares a  $50\% \Delta$  se distinguiram pela cadência imposta no exercício (Figura 7), seguindo o seguinte padrão: (A) 35 rpm; (B) 115 rpm e (C) 35 rpm durante as Fases I e II + 115 rpm durante a Fase III da cinética do  $\dot{V}O_2$  (“protocolo de cadência alternada”). A alteração da cadência de pedalada no protocolo C ocorreu no valor de tempo equivalente a  $TD_2$ , estabelecida previamente no protocolo A por meio da análise da cinética do  $\dot{V}O_2$ . Assim, apenas a ordem dos testes retangulares dos protocolos A e B foi determinada por meio de sorteio simples. Os indivíduos receberam notificação verbal aproximadamente a 3s da alteração da cadência no protocolo C. A cadência deveria ser mantida com o mínimo de oscilação (tolerância  $\leq 5$  rpm) mediante auxílio de *feedback* visual (velocímetro do cicloergômetro).



**Figura 7.** Representação esquemática dos diferentes protocolos retangulares (A, B e C; respectivamente).

#### 4.5 Cinética do consumo de oxigênio

A análise do padrão temporal do  $\dot{V}_{O_2}$  foi realizada a partir das respostas das trocas gasosas pulmonares dos testes de carga constante. Os dados foram mensurados respiração a respiração. Foram excluídos aqueles valores maiores que quatro desvios-padrão da média móvel (baseada em cinco respirações) (Ozyener *et al.*, 2001; Rossiter *et al.*, 2002), e a seguir os dados foram interpolados linearmente a cada segundo e alinhados ao tempo de início do exercício ( $t = 0$ ). Procedimentos de regressão não-linear (*Marquardt-Levenberg*) foram utilizados no intuito de descrever a média dos valores dos 6 minutos de exercício obtidos a partir das repetidas transições de cada protocolo em termos de funções exponenciais, objetivando-se minimizar a soma dos resíduos ao quadrado. O modelo matemático para a variável consistiu de três funções exponenciais, cada uma representando uma fase distinta da resposta. A primeira função exponencial começou com o início do exercício ( $t = 0$ ), enquanto que as outras funções começaram após tempos de atraso independentes (Equação 3):

$$\begin{aligned}
 \text{(Eq. 3)} \quad \dot{V}O_{2(t)} &= \dot{V}O_{2(b)} + A_0(1 - e^{-t/\tau_0}) && \text{Fase I (componente inicial)} \\
 &+ A_1(1 - e^{-(t-TD_1)/\tau_1}) && \text{Fase II (componente primário)} \\
 &+ A_2(1 - e^{-(t-TD_2)/\tau_2}) && \text{Fase III (componente lento)}
 \end{aligned}$$

onde  $\dot{V}O_{2(b)}$  são os valores do período linha de base;  $A_0$ ,  $A_1$ , e  $A_2$  as assíntotas das amplitudes dos termos exponenciais;  $\tau_0$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  as constantes de tempo; e  $TD_1$  e  $TD_2$  os tempos de atraso

independentes. A fase I é encerrada no início da fase II ( $TD_1$ ), sendo designados os valores para aquele momento ( $A'_0$ ) (Equação 4).

$$(Eq. 4) \quad A'_0 = A_0(1 - e^{(-TD_1)/\tau_0})$$

A relevância fisiológica da amplitude do componente primário durante a fase II ( $A'_1$ ) foi definida como a soma de  $A'_0$  e  $A_1$ . A amplitude do componente lento ( $A'_2$ ) foi determinada pelo aumento do  $\dot{V}O_2$  a partir de  $TD_2$  até o final da modelagem (6 min) (Figura 2).

#### 4.6 Verificação de linearidade do sistema

A verificação de linearidade do sistema foi realizada a partir da comparação das amplitudes dos componentes primário ( $A_1$ ) e lento ( $A'_2$ ) dos diferentes protocolos retangulares. Baseado no princípio de superposição, (i) haveria equivalência da  $A_1$  dos protocolos A e C e (ii) equivalência da  $A'_2$  dos protocolos B e C, classificando o sistema como linear. Assim, a Equação 5 descreveria o protocolo C (alternado) como somatório dos diferentes *inputs* ( $x_A(t)$  e  $x_B(t)$ , correspondendo respectivamente à fase II e componente lento) provenientes dos protocolos A e B.

$$(Eq. 5) \quad x_1(t) + x_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$$

$$x_A(t) + x_B(t) \rightarrow y_A(t) + y_B(t)$$

$$(início - TD_2)_A + (TD_2 - fim)_B \rightarrow A_{1(A)} + A'_{2(B)}$$

#### 4.7 Amostra sanguínea para dosagem da concentração de lactato

A coleta sanguínea para a dosagem da concentração de lactato ([La]) foi realizada no lóbulo da orelha direita imediatamente após a assepsia, perfuração com lanceta descartável e descarte da primeira gota. Foram coletados 25 $\mu$ L de sangue por meio de tubo capilar heparinizado, que em seguida foram armazenados em tubo *ependorff* contendo 50 $\mu$ L de solução de fluoreto de sódio a 1%, e acondicionados em freezer para posterior análise da [La] sanguíneo (YSI 1500, *Yellow Springs Instruments, USA*). As amostras sanguíneas foram coletadas em um teste de cada protocolo de exercício retangular (A, B e C) nos seguintes momentos: início do exercício ( $t = 0$ ),  $TD_2$  e final do exercício ( $t_{lim}$  ou 10 min). O procedimento de coleta das amostras sanguíneas teve duração aproximada de 10s em todos os testes.

#### 4.8 Eletromiografia de superfície

Eletromiografia de superfície (EMG) foi empregada em um teste de cada protocolo de exercício retangular (A, B e C) para a análise da atividade neuromuscular no músculo vasto lateral (VL) do membro inferior esquerdo.

Após preparação do local com tricotomia e limpeza com álcool para redução da impedância (Merletti, 1997; De Luca, 1997), eletrodos circulares passivos diferenciais de Ag/AgCl (configuração bipolar) de 22 mm de diâmetro (*Meditrace, USA*) foram posicionados no ventre muscular, em paralelo às fibras musculares, com distância entre os eletrodos de aproximadamente três centímetros (Hermens *et al.*, 2000). O eletrodo de referência foi colocado na superfície anterior da tíbia contra-lateral e os cabos dos eletrodos fixados aos indivíduos por meio de fita adesiva, a fim de reduzir ruídos provenientes da movimentação dos mesmos durante o exercício. O local de colocação dos eletrodos foi demarcado para possibilitar seu reposicionamento nos testes subseqüentes.

Os sinais brutos foram pré-amplificados (impedância de entrada = 10 GOhm; razão de rejeição do modo comum de 115 dB, ganho de amplificação total 1000x) e posteriormente filtrados numa frequência de corte com banda de 10-450 Hz (*five order Butterworth digital filter*). Foi empregado um eletromiógrafo de oito canais (*AMT-8, Bortec Biomedical, Canada*) composto por um conversor analógico-digital de 16 bits e frequência de aquisição de 2000 Hz. Antes de cada teste, foi realizado um procedimento de contração isométrica voluntária máxima (CIVM) (Kendall & McCreary, 1987) no intuito de normalizar os sinais: três tentativas de 5s de duração com 1 min de intervalo foram realizadas, e o maior valor foi utilizado como referência. Durante os testes de CIVM, os sujeitos receberam incentivo verbal por parte dos investigadores. O método utilizado para a análise da amplitude do potencial elétrico durante os diferentes protocolos retangulares (média a cada 60 s durante 6 min de exercício) foi o da raiz quadrada da média (RMS – *root mean square*).

#### 4.9 Análise Estatística

A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Respostas relacionadas aos testes incrementais foram comparadas pelo *teste t* de Student para amostras pareadas ou *teste T* de Wilcoxon. Regressão linear simples foi utilizada para o cálculo da carga de trabalho inicial ajustada ( $WR_{BL}$ ) nos testes referentes aos protocolos A e C. A comparação das respostas dos parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  nos diferentes protocolos retangulares foi realizada mediante teste de análise de variância de medidas repetidas (*post-hoc* de Bonferroni). Análise de variância para dois fatores (cadência e tempo) de medidas repetidas foi empregada para investigar eventuais diferenças nos índices eletromiográficos e na concentração de lactato sanguíneo (*post-hoc* de Newman-Keuls). Foi aplicado o teste de esfericidade de Mauchly W., e caso necessário correções posteriores foram realizadas mediante teste de Greenhouse-Geisser. A significância estatística foi adotada em 5%.

## **5 RESULTADOS**

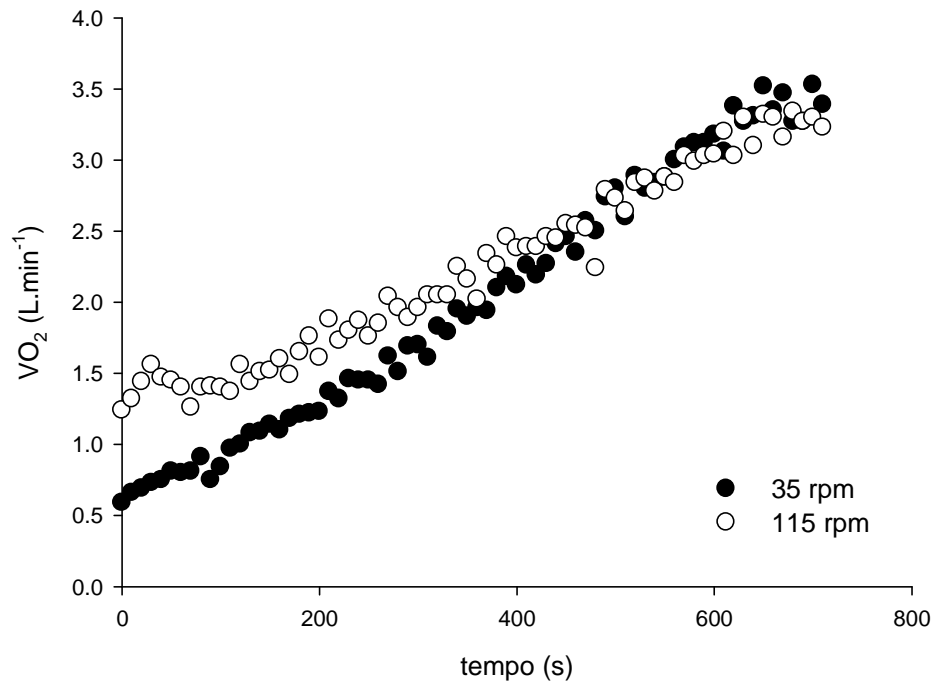
Participaram deste estudo nove indivíduos do gênero masculino (idade =  $28,0 \pm 5,3$  anos; massa corporal =  $77,5 \pm 10,3$  kg e estatura =  $180,0 \pm 6,2$  cm). As respostas referentes aos testes de esforço progressivo são apresentadas na Tabela 1. Os valores referentes ao LV (expresso em W,  $L \cdot \text{min}^{-1}$  e  $\% \dot{V}_{O_2 \text{ pico}}$ ),  $WR_{\text{max}}$  e  $\dot{V}_{O_2 \text{ pico}}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$  e  $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) não apresentaram diferenças significantes entre os protocolos incrementais. Consequentemente, a ausência de diferença significantes nos valores de  $50\% \Delta$  (expresso em W e  $\% WR_{\text{max}}$ ) entre as duas cadências possibilitou a realização do protocolo retangular de cadência alternada (protocolo C), sendo que a carga imposta nos protocolos retangulares (A, B e C) foi baseada no valor de  $50\% \Delta$  dos testes de esforço progressivo de 115 rpm ( $190,5 \pm 47,9$  W). O comportamento típico do  $\dot{V}_{O_2}$  nos testes de esforço progressivo de um sujeito representativo pode ser observado na Figura 8.

**Tabela 1.** Valores médios  $\pm$  desvio-padrão das respostas referentes aos testes de esforço progressivo de diferentes cadências.

	<b>35 rpm</b>	<b>115 rpm</b>
<b>LV, W</b>	148,8 $\pm$ 37,5	137,7 $\pm$ 30,7
<b>LV, L.min<sup>-1</sup></b>	2,1 $\pm$ 0,5	2,4 $\pm$ 0,5
<b>LV, %<math>\dot{V}_{O_2}</math> pico</b>	58,0 $\pm$ 8,4	68,5 $\pm$ 6,0
<b>WR<sub>max</sub>, W</b>	256,8 $\pm$ 49,4	243,3 $\pm$ 68,7
<b><math>\dot{V}_{O_2}</math> pico, L.min<sup>-1</sup></b>	3,5 $\pm$ 0,7	3,5 $\pm$ 0,7
<b><math>\dot{V}_{O_2}</math> pico, mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup></b>	45,6 $\pm$ 7,0	46,4 $\pm$ 6,9
<b>50%<math>\Delta</math>, W</b>	202,8 $\pm$ 36,5	190,5 $\pm$ 47,9
<b>50%<math>\Delta</math>, %WR<sub>max</sub></b>	79,4 $\pm$ 7,2	78,9 $\pm$ 4,5

*Definição das abreviações:* LV = limiar ventilatório; WR<sub>max</sub> = carga máxima; 50% $\Delta$  = carga de trabalho relativa a 50% da diferença entre o LV e o  $\dot{V}_{O_2}$  pico.



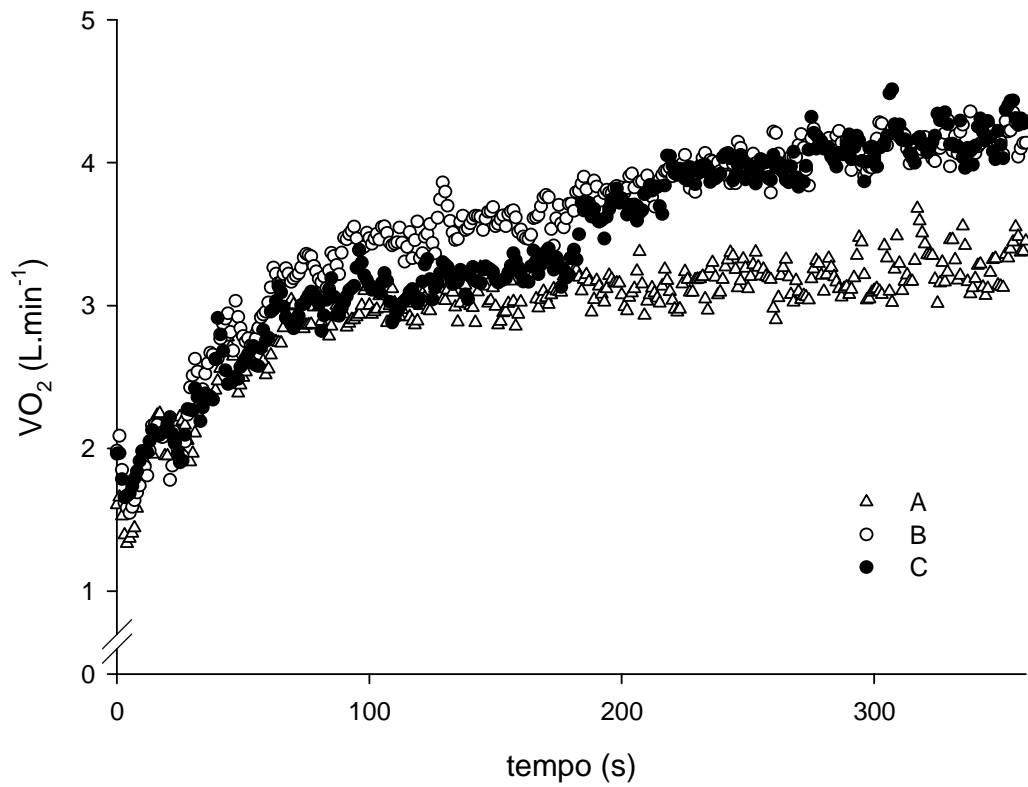


**Figura 8.** Comportamento do  $\dot{V}_{O_2}$  nas diferentes cadências dos testes de esforço progressivo de um sujeito representativo.

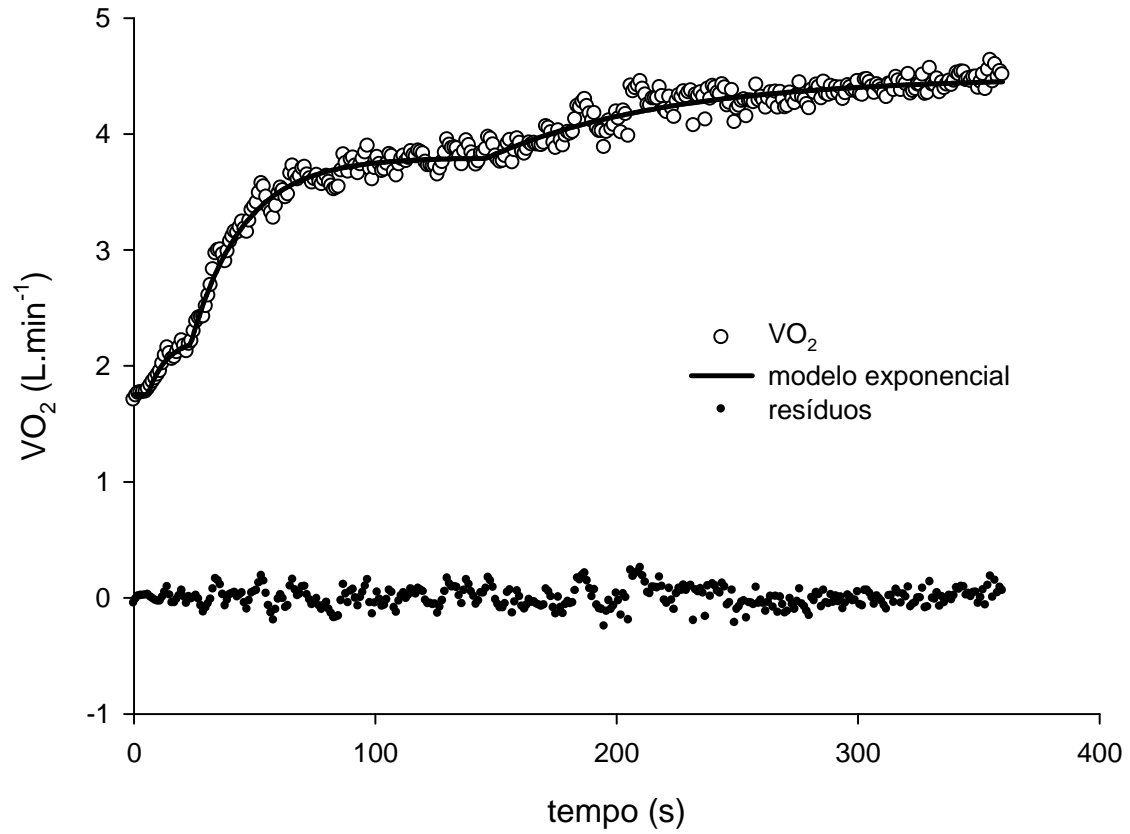
O comportamento típico do  $\dot{V}_{O_2}$  e a aplicação do modelo exponencial nos testes retangulares de um sujeito representativo podem ser observados nas Figuras 9 e 10, respectivamente. As respostas referentes aos testes retangulares são apresentadas na Tabela 2. A carga de trabalho na linha de base nos testes retangulares A e C ( $WR_{BL} = 86,6 \pm 15,0$  W) resultou no mesmo  $\dot{V}_{O_{2(b)}}$  do protocolo B, auxiliando a correção do aumento do custo de  $O_2$  relacionado ao maior trabalho interno em altas cadências. Os valores de  $A'_0$ ,  $TD_1$ ,  $\tau_1$  e  $TD_2$  não apresentaram diferenças significantes entre os protocolos retangulares. A amplitude da Fase II da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  ( $A'_1$ ) foi maior no protocolo B ( $1,6 \pm 0,4$  L.min<sup>-1</sup>), enquanto que a amplitude do componente lento ( $A'_2$ ) foi menor no protocolo A ( $0,2 \pm 0,0$  L.min<sup>-1</sup>) (Figura 11). As amplitudes do

componente lento ( $A'_2$ ) nas respectivas cadências atingiram valores correspondentes a  $18,1 \pm 5,3$ ;  $25,1 \pm 5,4$  e  $28,0 \pm 7,2$  %EE $\dot{V}_{O_2}$ , sendo maiores em B e C. O  $\dot{V}_{O_2}$  total atingido nos testes retangulares foi diferente do valor do  $\dot{V}_{O_2\text{pico}}$ .

Fundamentado no princípio de superposição, a constatação de equivalência dos valores de  $A_1$  entre os protocolos A e C ( $\sim 0,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e de  $A'_2$  entre os protocolos B e C ( $\sim 0,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) sugerem linearidade do sistema (Equação 5).



**Figura 9.** Comportamento do  $\dot{V}O_2$  nas diferentes cadências dos testes retangulares de um sujeito representativo (A – 35 rpm, B – 115 rpm, C – alternado).



**Figura 10.** Aplicação do modelo exponencial e resíduos resultantes da descrição das respostas do  $\dot{V}O_2$  em teste retangular do protocolo C de um sujeito representativo.

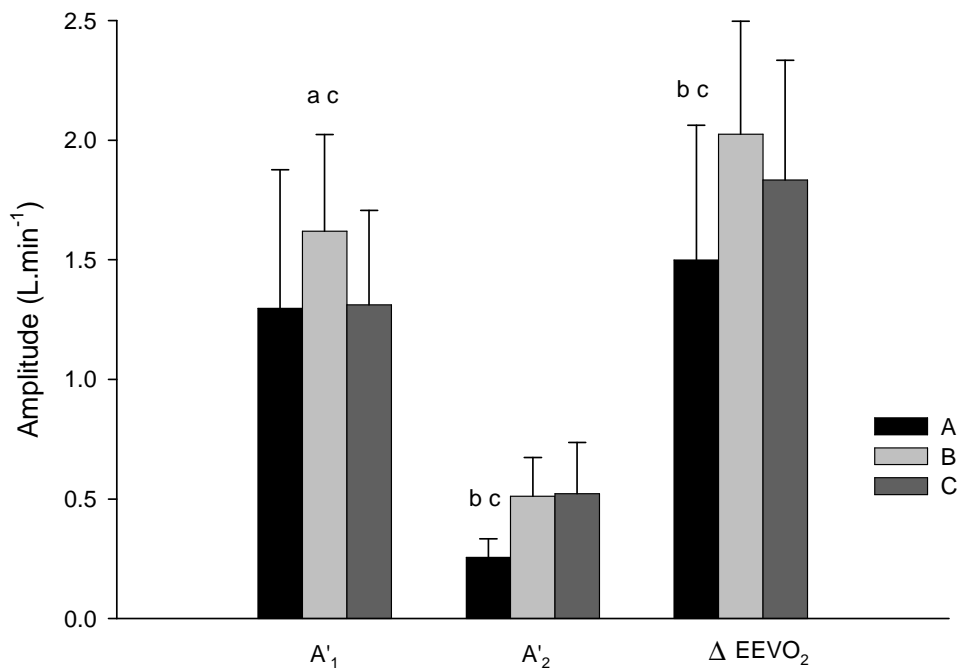
**Tabela 2.** Valores médios  $\pm$  desvio-padrão das respostas referentes aos diferentes protocolos de testes retangulares (A – 35 rpm, B – 115 rpm, C – alternado).

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>WR<sub>BL</sub>, W</b>	86,6 $\pm$ 15,0	20,0 $\pm$ 0,0 <sup>a c</sup>	86,6 $\pm$ 15,0
<b><math>\Delta</math>WR, W</b>	103,8 $\pm$ 43,9	170,5 $\pm$ 47,9 <sup>a c</sup>	103,8 $\pm$ 43,9
<b><math>\dot{V}_{O_2(b)}</math>, L.min<sup>-1</sup></b>	1,4 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,2	1,4 $\pm$ 0,2
<b>A'<sub>0</sub>, L.min<sup>-1</sup></b>	0,4 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,1
<b>TD<sub>1</sub>, s</b>	28,0 $\pm$ 7,7	25,2 $\pm$ 4,6	27,1 $\pm$ 8,0
<b>A<sub>1</sub>, L.min<sup>-1</sup></b>	0,8 $\pm$ 0,3	1,1 $\pm$ 0,3 <sup>a c</sup>	0,8 $\pm$ 0,3
<b>A'<sub>1</sub>, L.min<sup>-1</sup></b>	1,2 $\pm$ 0,5	1,6 $\pm$ 0,4 <sup>a c</sup>	1,3 $\pm$ 0,3
<b><math>\tau_1</math>, s</b>	33,5 $\pm$ 17,5	34,2 $\pm$ 9,3	40,0 $\pm$ 21,1
<b>TD<sub>2</sub>, s</b>	180,7 $\pm$ 56,3	140,2 $\pm$ 24,7	184,7 $\pm$ 52,1
<b>A'<sub>2</sub>, L.min<sup>-1</sup></b>	0,2 $\pm$ 0,0 <sup>b c</sup>	0,5 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,2
<b>A'<sub>2</sub>, %EE<math>\dot{V}_{O_2}</math></b>	18,1 $\pm$ 5,3 <sup>b c</sup>	25,1 $\pm$ 5,4	28,0 $\pm$ 7,2
<b><math>\Delta</math>EE<math>\dot{V}_{O_2}</math>, L.min<sup>-1</sup></b>	1,4 $\pm$ 0,5 <sup>b c</sup>	2,0 $\pm$ 0,4	1,8 $\pm$ 0,5
<b><math>\dot{V}_{O_2}</math> total, L.min<sup>-1</sup></b>	2,9 $\pm$ 0,6 <sup>b c</sup>	3,3 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 0,6
<b>ganho de A'<sub>1</sub>, mL.min<sup>-1</sup>.W<sup>-1</sup></b>	12,4 $\pm$ 1,7	9,6 $\pm$ 1,6 <sup>a c</sup>	13,3 $\pm$ 2,3
<b>ganho de A'<sub>2</sub>, mL.min<sup>-1</sup>.W<sup>-1</sup></b>	2,4 $\pm$ 0,6 <sup>b c</sup>	3,1 $\pm$ 0,6	4,9 $\pm$ 1,8

<sup>a</sup> diferente de A; <sup>b</sup> diferente de B; <sup>c</sup> diferente de C ( $P < 0,05$ )

*Definição das abreviações:* WR<sub>BL</sub> = carga de trabalho basal;  $\Delta$ WR = carga de trabalho externa imposta;  $\dot{V}_{O_2(b)}$  =  $\dot{V}_{O_2}$  da linha de base; A'<sub>0</sub> = amplitude da Fase I; TD<sub>1</sub> = tempo de atraso da Fase II; A<sub>1</sub> = amplitude da Fase II; A'<sub>1</sub> = (A'<sub>0</sub> + A<sub>1</sub>);  $\tau_1$  = constante de tempo da Fase II; TD<sub>2</sub> = tempo

de atraso do componente lento;  $A'_2$  = amplitude do componente lento;  $\Delta EE\dot{V}_{O_2} = (A'_1 + A'_2)$ ;  $\dot{V}_{O_2}$  total =  $(\dot{V}_{O_2(b)} + A'_1 + A'_2)$ , ganho de  $A'_1 = A'_1/\Delta WR$ ; ganho de  $A'_2 = A'_2/\Delta WR$ .

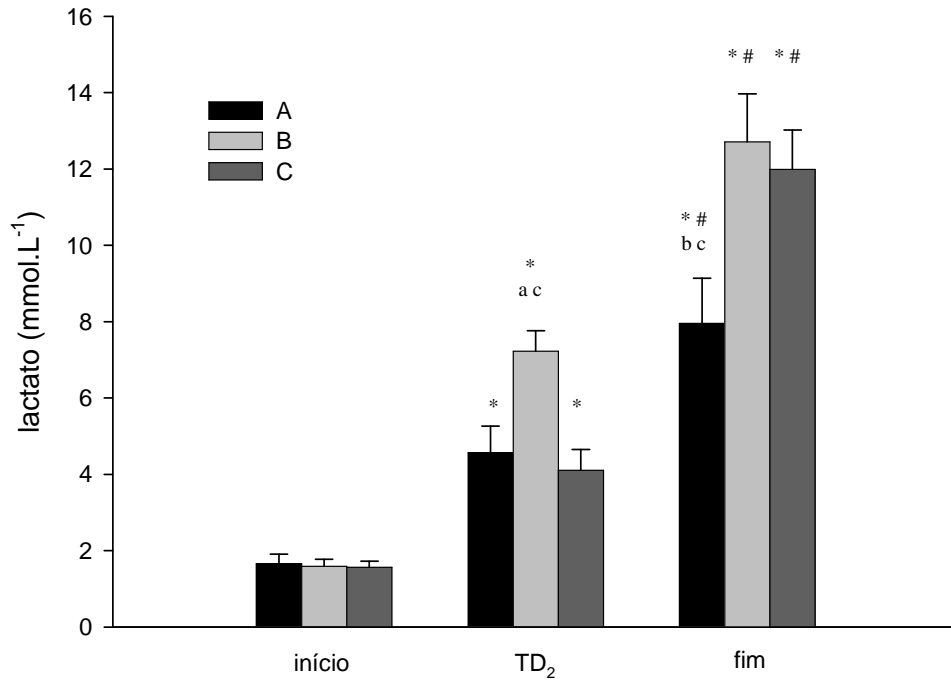


**Figura 11.** Valores médios da amplitude absoluta dos diferentes componentes da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  e  $\Delta EE\dot{V}_{O_2}$  nos protocolos retangulares (A – 35 rpm, B – 115 rpm, C – alternado).

<sup>a</sup> diferente de A; <sup>b</sup> diferente de B; <sup>c</sup> diferente de C ( $P < 0,05$ )

*Definição das abreviações:*  $A'_1 = (A'_0 + A_1)$ ;  $A'_2$  = amplitude do componente lento;  $\Delta EE\dot{V}_{O_2} = (A'_1 + A'_2)$ .

A Figura 12 ilustra o comportamento da [La] sanguíneo em três momentos dos testes retangulares: início do exercício ( $t = 0$ ), TD<sub>2</sub> e final do exercício (t<sub>lim</sub> ou 10 min). A ausência de diferenças significantes entre os valores de TD<sub>2</sub> (Tabela 2) permite a análise das respostas da [La] ao final da Fase II da cinética do  $\dot{V}O_2$  (antes da manifestação do componente lento) entre os diferentes protocolos. A [La] aumentou progressivamente durante o exercício em todos os protocolos, apresentando maiores valores durante o TD<sub>2</sub> no protocolo B e menores valores no fim do exercício no protocolo A. Houve interação entre cadências e momentos de coleta na análise da [La].



**Figura 12.** Valores médios  $\pm$  desvio-padrão das respostas da concentração de lactato sanguíneo em três momentos (início do exercício, TD<sub>2</sub> e final do exercício) nos diferentes protocolos retangulares (A – 35 rpm, B – 115 rpm, C – alternado).

<sup>a</sup> diferente de A; <sup>b</sup> diferente de B; <sup>c</sup> diferente de C ( $P < 0,05$ )

\* diferente do início; # diferente de TD<sub>2</sub> ( $P < 0,05$ )

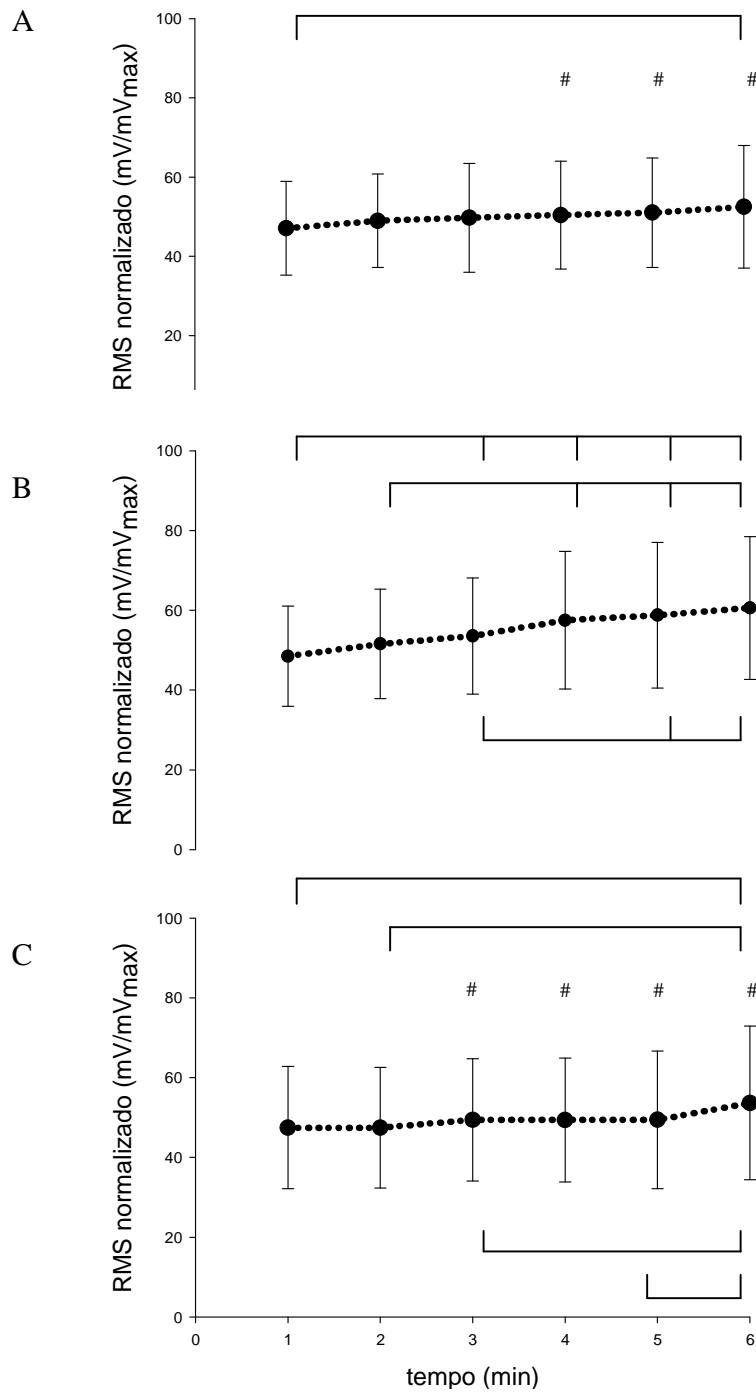
Cadência:  $F = 26,21$ ;  $P < 0,05$

Tempo:  $F = 86,16$ ;  $P < 0,05$

Cadência x Tempo:  $F = 14,33$ ;  $P < 0,05$



Na Figura 13, são relatadas as respostas da EMG de superfície do músculo vasto lateral (expresso em RMS normalizado;  $mV/mV_{max}$ ) nos diferentes protocolos retangulares. O protocolo B apresentou maiores valores em relação aos protocolos A e C a partir do quarto e terceiro minutos, respectivamente. Foram observados aumentos significantes no RMS normalizado em função do tempo para cada protocolo, sendo estes pronunciados durante os protocolos B e C. Houve interação entre cadências e momentos de coleta na atividade EMG.



**Figura 13.** Valores médios  $\pm$  desvio-padrão das respostas da eletromiografia de superfície (RMS normalizado) nos diferentes protocolos retangulares (A – 35 rpm, B – 115 rpm, C – alternado).

□  $P < 0,05$

# diferente de B ( $P < 0,05$ )

Cadência:  $F = 1,14$ ;  $P > 0,05$

Tempo:  $F =$  ;  $P < 0,05$

Cadência x Tempo:  $F = 3,59$ ;  $P < 0,05$

## **6 DISCUSSÃO**

No presente estudo, os efeitos da alteração da cadência de pedalada sobre as respostas da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , EMG e [La] foram analisados mediante aplicação de protocolos retangulares (A e B) e protocolo retangular alternado (C), visando obter melhor compreensão sobre o(s) mecanismo(s) fisiológico(s) envolvido(s) no desenvolvimento do componente lento. Os maiores valores referentes à amplitude do componente lento ( $A'_2$ ), EMG de superfície (RMS normalizado) e [La] durante o exercício realizado em altas cadências e a verificação de linearidade por meio da aplicação do princípio de superposição, sugerem o possível envolvimento do recrutamento adicional de fibras musculares do tipo II na manifestação do componente lento.

Estudos prévios de Barstow *et al.* (1996), Migita & Hirakoba (2006) e Pringle *et al.* (2003b) empregaram protocolos retangulares de diferentes cadências de pedalada com o intuito de alterar o padrão de recrutamento muscular (MacIntosh *et al.*, 2000; Sargeant, 1994), e assim investigar a associação das fibras musculares do tipo II com o componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ . No entanto, a divergência dos resultados destes trabalhos não permite a confirmação/refutação desta hipótese. Migita & Hirakoba (2006) e Pringle *et al.* (2003b) reportaram aumento da  $A'_2$  em altas cadências, enquanto que Barstow *et al.* (1996) indicaram ausência de alterações. A incongruência dos resultados é ainda mais evidente quando analisadas as  $A'_1$ : Barstow *et al.* (1996), Pringle *et al.* (2003b) e Migita & Hirakoba (2003) reportaram respectivamente diminuição, ausência de alteração e aumento de  $A'_1$  em altas cadências. Provavelmente, estas diferenças são provenientes de possíveis limitações metodológicas: (i) utilização de apenas um teste incremental para a determinação da carga de trabalho a ser

empregada em protocolos retangulares de diferentes cadências; (ii) realização de apenas uma ou duas transições de exercício nos protocolos retangulares; (iii) ausência de ajuste da diferença do custo de O<sub>2</sub> resultante do aumento do trabalho interno encontrado em maiores cadências (Barstow *et al.*, 1996; Migita & Hirakoba, 2006); e (iv) emprego de insuficiente amplitude de cadências (45-90 rpm) para ocasionar alteração do padrão de recrutamento muscular (Barstow *et al.*, 1996).

O emprego de um teste de esforço progressivo para cada cadência tem como objetivo estabelecer as cargas de trabalho específicas para os testes retangulares. Estas cargas ( $\Delta 50\%$ ) são calculadas a partir dos valores de LV e  $\dot{V}_{O_2\text{-pico}}$  (expressos em W). Barker *et al.* (2006) demonstraram que o LV do teste de esforço progressivo de alta cadência (100 rpm) é menor em relação ao de baixa cadência (60 rpm). Entretanto, corroborando os achados de Barstow *et al.* (1996), tanto o valor do LV quanto o de  $\Delta 50\%$  não apresentaram diferenças entre as cadências empregadas no presente estudo (35 e 115 rpm), o que tornou viável a realização do protocolo C. Provavelmente, a influência das características das amostras avaliadas possa ter levado às diferenças encontradas nos valores de LV entre o presente estudo (indivíduos fisicamente ativos) e o de Barker *et al.* (2006) (atletas). Apesar dos valores de  $\Delta 50\%$  não terem apresentado diferença entre as cadências no presente estudo, Pringle *et al.* (2003b) recomendam a realização de um teste de esforço progressivo para a precisa determinação da carga a ser imposta em cada cadência.

Outra preocupação metodológica adotada no presente estudo foi a realização de três transições de exercício para cada protocolo retangular, com o objetivo de aumentar a confiabilidade da estimativa dos parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  (Lamarra *et al.*, 1987; Whipp *et*

*al.*, 1982). Além disso, o ajuste da diferença do custo de O<sub>2</sub> resultante do aumento do trabalho interno encontrado em maiores cadências foi realizado de acordo com o procedimento empregado por Pringle *et al.* (2003b). Basicamente, este procedimento corrige o maior valor de  $\dot{V}_{O_{2(b)}}$  da alta cadência (custo de O<sub>2</sub> relacionado à movimentação dos membros inferiores – trabalho interno) por meio da utilização da WR<sub>BL</sub> (calculada pela regressão linear da relação  $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta WR$ ) na baixa cadência. Desta forma, a transição do repouso para o exercício durante os protocolos retangulares é realizada a partir do mesmo  $\dot{V}_{O_{2(b)}}$  (~1,4 L.min<sup>-1</sup>). Por fim, a utilização de grande amplitude de cadências (35-115 rpm), na tentativa de promover alterações no padrão de recrutamento muscular, provavelmente possibilita a verificação dos seus efeitos sobre parâmetros da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  (Pringle *et al.*, 2003b).

O tipo de intervenção utilizada no presente estudo (alteração da cadência de pedalada em protocolos retangulares) tem como propósito modificar o padrão de recrutamento muscular e avaliar sua influência sobre a cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ , especialmente sobre o componente lento. A partir da relação entre potência e velocidade das fibras musculares esqueléticas (Figura 5), infere-se que o aumento da cadência de pedalada para a mesma carga de trabalho externa ocasiona o recrutamento adicional de fibras musculares do tipo II durante o exercício (MacIntosh *et al.*, 2000; Sargeant, 1994; Sargeant, 2007). Teoricamente, potência pode ser definida como o produto entre força e velocidade; portanto se a velocidade de contração é alterada, a força exercida deve ser inversamente alterada para a manutenção da potência (protocolo retangular). O aumento da cadência de pedalada levaria ao aumento da velocidade de contração (predispondo ao recrutamento de fibras do tipo II) e à diminuição da força muscular (predispondo ao recrutamento de fibras do tipo I). Assim, os concomitantes efeitos da cadência de pedalada sobre a velocidade

de contração e força muscular tornam problemática a predição do padrão de recrutamento de diferentes fibras musculares (McDaniel *et al.*, 2002).

Mediante utilização de técnica de quantificação do conteúdo de glicogênio intramuscular como indicador do padrão de recrutamento muscular (PAS, *periodic acid-Schiff*), três estudos forneceram resultados contraditórios. Gollnick *et al.* (1974) reportaram ausência de alterações em diferentes velocidades e intensidades de exercício (30-120 rpm e 30-150%  $\dot{V}_{O_{2-pico}}$ ). Ahlquist *et al.* (1992) reportaram maior recrutamento de fibras musculares do tipo II durante exercício de baixa cadência (50 vs. 100 rpm; 85%  $\dot{V}_{O_{2-pico}}$ ); sugerindo que a força exercida, em detrimento da velocidade de contração, determinaria o recrutamento das fibras do tipo II. Beelen *et al.* (1993) demonstraram maior depleção de glicogênio das fibras do tipo II após exercício de intensidade equivalente a 90%  $\dot{V}_{O_{2-pico}}$  a 120 rpm, quando comparado ao exercício realizado a 60 rpm. Entretanto, a utilização da PAS como indicador do padrão do recrutamento muscular deve ser feita com cautela, principalmente quando envolvida em exercícios de curta duração (Kernell *et al.*, 1995). Altenburg *et al.* (2007) demonstraram pobre acurácia na PAS em comparação ao método de quantificação da razão intramuscular de fosfocreatina-creatina (PCr/Cr), mesmo após a realização de 45 minutos de exercício (90 rpm; 75%  $\dot{V}_{O_{2-pico}}$ ). Deste modo, torna-se questionável a interpretação e extrapolação dos resultados apresentados por Gollnick *et al.* (1974), Ahlquist *et al.* (1992) e Beelen *et al.* (1993).

Apesar de intenso debate na literatura acerca desta questão, o acúmulo de evidências sugere maior contribuição das fibras musculares do tipo II na geração de potência em altas cadências (Beelen & Sargeant, 1991; Jones & Poole, 2005; MacIntosh *et al.*, 2000; Pringle *et al.*,

2003b; Sargeant, 1994; Sargeant, 2007). Utilizando protocolo de exercícios prévios, Beelen & Sargeant (1991) reportaram maior redução do pico de potência após exercício realizado a 120 rpm em comparação com 60 rpm, sugerindo que o exercício prévio de alta cadência tenha resultado na fadiga específica das fibras musculares do tipo II. Por meio de protocolo semelhante, Pringle *et al.* (2003b) demonstraram maior redução no pico de potência a 115 rpm em relação à cadência de 35 rpm. Ainda que o presente estudo não forneça evidências diretas do efeito da cadência de pedalada sobre o padrão de recrutamento muscular, os maiores valores de  $A'_{2}$ , RMS e [La] nos protocolos B e C parecem indicar o aumento da contribuição das fibras do tipo II na geração de potência durante altas cadências.

A realização de exercício requer um adequado fluxo sanguíneo que atenda às demandas metabólicas musculares. A contração muscular exerce efeitos diretos sobre o fluxo sanguíneo muscular ( $\dot{Q}_M$ ), dependente do tipo e intensidade de exercício e da velocidade de contração (Lutjemeier *et al.*, 2005). Hoelting *et al.* (2001) reportaram que o aumento da velocidade de contração (40 vs. 80 cpm) resultou em reduzido  $\dot{Q}_M$  durante exercício de extensão de joelho na posição supina. A alteração do  $\dot{Q}_M$  poderia modular um maior recrutamento de fibras musculares do tipo II (Pringle *et al.*, 2003b), influenciando a interpretação dos resultados e atuando como fator de confusão na investigação dos mecanismos fisiológicos envolvidos na manifestação do componente lento, por meio do modelo experimental baseado na alteração de cadência. No entanto, Ferreira *et al.* (2006) demonstraram similares valores de extração de  $O_2$  microvascular (NIRS – *near-infrared spectroscopy*) do músculo vasto lateral durante exercício incremental em cicloergômetro a 60 e 100 rpm, sugerindo ausência de comprometimento do  $\dot{Q}_M$  em altas cadências. Ferguson *et al.* (2001) reportaram similares valores na diferença artério-venosa de  $O_2$

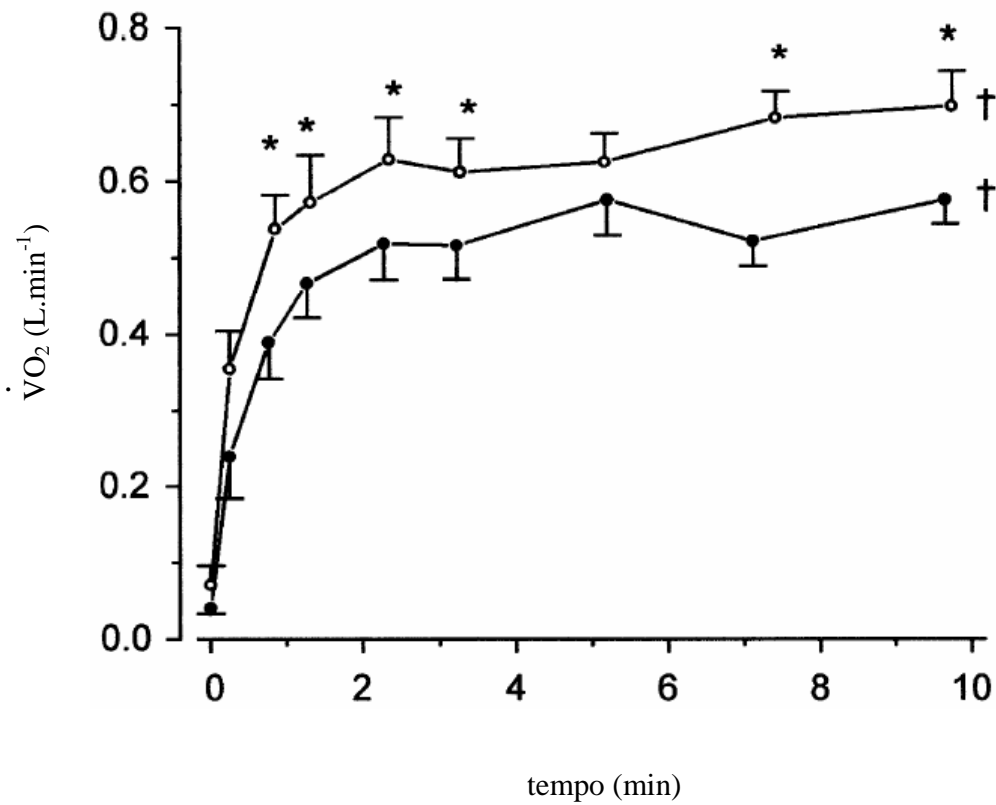


entre diferentes cadências (60 e 100 rpm) durante a extensão de joelho, além de demonstrarem que o  $\dot{Q}_M$  é maior na situação de alta velocidade de contração muscular. Muito provavelmente, a redução da pressão de perfusão proveniente da posição supina no protocolo de Hoelting *et al.* (2001) tenha levado à alteração do  $\dot{Q}_M$  nas altas velocidades de contração. Em conjunto, essas evidências sugerem que o recrutamento das fibras musculares do tipo II em altas cadências não seria modulado por algum mecanismo que envolva a redução do  $\dot{Q}_M$ .

A constatação de maiores valores de  $\dot{V}_{O_2}$  durante exercícios executados em altas cadências também poderia estar relacionada ao maior trabalho total realizado, devido ao aumento do trabalho interno nestas situações (Barker *et al.*, 2006; Ferguson *et al.*, 2001; McDaniel *et al.*, 2002). Trabalho interno refere-se ao trabalho realizado para superar a inércia e a força gravitacional vinculadas ao movimento dos segmentos corporais em relação ao centro de gravidade (Winter, 1979). Para contornar essa situação, Ferguson *et al.* (2000) propõem um método de ajuste da potência externa entre as diferentes cadências, no intuito de se obter o mesmo valor de trabalho total. O ajuste é realizado por meio do cálculo dos momentos produzidos para superar as forças inercial e gravitacional em exercício de extensão de joelho. Entretanto, a realização deste ajuste torna-se problemática em cicloergômetro, pela própria natureza da atividade e pela dificuldade em quantificar a massa muscular envolvida no exercício. Assim, visando a minimizar o efeito do aumento do trabalho interno em altas cadências de pedalada no presente estudo, algumas estratégias “indiretas” de ajuste foram aplicadas. Dentre elas, (i) a  $WR_{BL}$  foi ajustada de modo a fornecer o mesmo valor de  $\dot{V}_{O_2(b)}$ , de acordo com preconização de Pringle *et al.* (2003b); (ii) a utilização de cargas de trabalho ( $\Delta 50\%$ ) pertencentes à “zona de convergência” da relação  $\dot{V}_{O_2}$ -WR de diferentes cadências (Barker *et al.*,

2006; Ferreira *et al.*, 2006; Zoladz *et al.*, 2000), que provavelmente possuem similares custos metabólicos; e (iii) a utilização de cargas de trabalho ( $\Delta 50\%$ ) pertencentes à aparente “zona de convergência” de trabalho total em diferentes cadências (Ferguson *et al.*, 2000), teoricamente reduzindo o efeito da influência do trabalho interno.

O ajuste “indireto” aplicado no presente estudo parece ter sido satisfatório, uma vez que as respostas do  $\dot{V}_{O_2}$  se assemelham às obtidas por estudo envolvendo exercício de extensão de joelho em diferentes cadências (60 e 100 rpm;  $60\% \dot{V}_{O_{2\text{pico}}}$  - Ferguson *et al.*, 2001) com ajuste da potência externa preconizado por Ferguson *et al.* (2000). Apesar da ausência de análise da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$  no referido estudo, a suposta  $A'_1$  e a  $A'_2$  do exercício de alta cadência são claramente maiores em relação à menor cadência (Figura 14), corroborando os resultados do presente estudo (Figura 9).



**Figura 14.** Comportamento do  $\dot{V}O_2$  em exercício de extensão de joelho a (●) 60 rpm e (○) 100 rpm (adaptado de Ferguson *et al.*, 2001).

\* diferente de 60 rpm ( $P < 0,05$ )

† diferente do valor referente a 3 min ( $P < 0,05$ )

Mediante biópsia do vasto lateral, Barstow *et al.* (1996) reportaram que indivíduos com alta distribuição relativa de fibras do tipo II apresentavam menor ganho de  $A'_1$  em relação aos indivíduos que possuíam baixa distribuição destas mesmas fibras. No presente estudo, o aumento da cadência de pedalada resultou em resultados semelhantes, sendo o ganho de  $A'_1$  menor no protocolo B (Tabela 2), sugerindo que a manipulação da velocidade de contração tenha modulado o recrutamento das fibras musculares. Segundo Sargeant (1999), a proximidade com a sua

respectiva velocidade de eficiência máxima e a maior contribuição na geração de força em altas intensidades de exercício, poderiam maximizar a eficiência das fibras do tipo II, possivelmente ocasionando a redução do ganho de  $A'_1$ . Assumindo que altas cadências tenham efetivamente modulado um maior recrutamento das fibras musculares do tipo II, os resultados do presente estudo são consistentes com evidências que demonstram correlação entre a distribuição destas fibras e a  $A'_2$  (Barstow *et al.*, 1996; Pringle *et al.*, 2003a).

Investigando fibras musculares animais, diversos estudos sugeriram que as fibras do tipo II possuem maior custo de ATP para geração de força e maior custo de  $O_2$  para a ressíntese de ATP, em relação às fibras do tipo I (Crow & Kushmerick, 1982; Reggiani *et al.*, 1997; Szentesi *et al.*, 2001). Dessa forma, o recrutamento adicional das fibras do tipo II, mediante alteração da cadência, resultaria em um custo adicional de  $O_2$ , levando à manifestação do componente lento de maior amplitude em altas cadências (Barstow *et al.*, 1996; Jones & Poole, 2005; Pringle *et al.*, 2003b).

He *et al.* (2000) analisaram fibras musculares humanas (vasto lateral) *in vitro* e reportaram não haver diferenças nas respectivas eficiências máximas, apenas nas velocidades de contração em que ocorreriam. A eficiência máxima das fibras do tipo II era atingida em maiores velocidades de contração quando comparadas às fibras do tipo I. Entretanto, o referido estudo foi conduzido com relativa baixa carga de trabalho e velocidade de contração nas fibras do tipo I. Por outro lado, Ratkevicius *et al.* (1998) reportaram que o custo de ATP para geração de força durante contrações voluntárias (recrutamento predominante de fibras do tipo I) era menor quando comparado à contração por estimulação elétrica (supostamente recrutando ambos os tipos de fibras). Segundo Jones & Poole (2005), o acúmulo de evidências aponta para a existência de

diferença na eficiência das fibras musculares, corroborando a hipótese de envolvimento das fibras do tipo II na manifestação do componente lento. No entanto, evidências recentes (Altenburg *et al.*, 2007; Krstrup *et al.*, 2004b) demonstraram associação temporal do recrutamento adicional de ambos os tipos de fibras musculares (com predomínio das fibras do tipo II) com o componente lento, alertando para a possível participação das fibras do tipo I no processo. Portanto, apesar das fibras do tipo II potencialmente possuírem um papel mais significativo na etiologia do componente lento, parece mais adequado vincular o mesmo ao recrutamento adicional de fibras musculares, ao invés de recrutamento adicional das fibras musculares do tipo II. De acordo com esta hipótese, foram encontrados no presente estudo maiores valores de  $A'_2$ , RMS e [La] em altas cadências (protocolo B e C).

A verificação de linearidade do sistema também corroboraria o envolvimento do recrutamento adicional de fibras musculares na etiologia do componente lento, sobretudo das fibras do tipo II. Assumindo que a alteração da cadência a partir de  $TD_2$  no protocolo C tenha levado ao recrutamento adicional de fibras do tipo II, a verificação de equivalência das amplitudes de  $A'_2$  do protocolo B e C poderia ser creditada à esta modulação no recrutamento muscular (Equação 5). Além do perfil eletromiográfico condizente com este quadro (aumento do RMS ao longo do tempo), o aumento da [La] observado a partir  $TD_2$  (valores semelhantes à [La] do protocolo A) até o final do exercício (valores semelhantes à [La] do protocolo B) também sustenta esta hipótese.

A invariância do valor de  $\tau_1$  dentre os protocolos retangulares no presente estudo corrobora os resultados de estudos prévios (Barstow *et al.*, 1996; Pringle *et al.*, 2003b). Este fato sugere que  $\tau_1$  não seria influenciado pelas mesmas variáveis fisiológicas alteradas pela variação

da cadência, incluindo as prováveis modulações no recrutamento muscular (Sargeant, 2007). Ao contrário, o  $\tau_1$  estaria relacionado à ressíntese de ATP vinculada à demanda metabólica do exercício, ao “sinal de erro” do  $\dot{V}_{O_2}$  (diferença entre o valor atual e o requerido de  $\dot{V}_{O_2}$ ) e à quebra da PCr (Rossiter *et al.*, 2002).

Em conjunto com as inferências baseadas nas respostas do  $\dot{V}_{O_2}$  e da [La], o aumento do RMS ao longo dos testes retangulares (pronunciado nos protocolos B e C) observado no presente estudo fortalece o envolvimento do recrutamento adicional de fibras musculares na etiologia do componente lento (Bernasconi *et al.*, 2006). Provavelmente, a disparidade dos resultados de estudos que investigaram este mecanismo seja proveniente da diversidade de metodologias aplicadas (Bernasconi *et al.*, 2006; Borrani *et al.*, 2001; Cannon *et al.*, 2007; Cleuziou *et al.*, 2004; Deley *et al.*, 2006; Garland *et al.*, 2006; Migita & Hirakoba, 2006; Saunders *et al.*, 2000; Scheuermann *et al.*, 2001; Shinohara & Moritani, 1992). No entanto, (i) o cumprimento de normas relacionadas aos procedimentos de EMG de superfície (Hermens *et al.*, 2000) e (ii) a análise do padrão temporal do  $\dot{V}_{O_2}$  mediante procedimentos de regressão não-linear (equações exponenciais) ao invés da caracterização da amplitude do componente lento em intervalo pré-definido ( $\Delta\dot{V}_{O_2}_{[6-3]}$ ) (Bearden & Moffat, 2001), fortalecem os resultados do presente estudo.

Uma potencial limitação do presente estudo refere-se à inferência acerca do recrutamento muscular nas diferentes cadências, realizada a partir das respostas de  $\dot{V}_{O_2}$ , EMG e [La], em detrimento de técnicas diretas para esta finalidade, como por exemplo, a biópsia muscular. Entretanto, diversas evidências parecem suportar a utilização destas variáveis como indicadoras do recrutamento muscular (Jones & Poole, 2005).

A possível participação do recrutamento de outros músculos, que podem ter contribuído para o maior  $\dot{V}_{O_2}$  observado em altas cadências (Ferreira *et al.*, 2006), não foi avaliada no presente estudo. Entretanto, a velocidade de contração muscular é considerada a principal determinante do aumento do custo metabólico em exercícios de alta cadência (McDaniel *et al.*, 2002). Assim, a predominante parcela do  $\dot{V}_{O_2}$  observado nos protocolos retangulares provavelmente seja oriunda da musculatura ativa envolvida no exercício em cicloergômetro.

Os resultados do presente estudo sugerem o envolvimento do recrutamento adicional de fibras musculares (com predomínio de fibras do tipo II) na etiologia do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ . Entretanto, outros mecanismos não podem ser totalmente descartados, uma vez que o desfecho é fundamentado em inferências de indicadores do recrutamento muscular. Dessa forma, estudos adicionais são necessários para a melhor compreensão dos mecanismos relacionados à manifestação do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ .

## **7 CONCLUSÃO**

Os resultados do presente estudo indicam que a alteração da cadência de pedalada potencialmente tenha modulado o recrutamento muscular e ocasionado variações nas medidas de  $\dot{V}_{O_2}$ , EMG e [La]. Em conjunto com a verificação de linearidade do sistema mediante aplicação do princípio de superposição, as evidências suportam a hipótese de envolvimento do recrutamento adicional de fibras musculares (principalmente de fibras do tipo II) na etiologia do componente lento da cinética do  $\dot{V}_{O_2}$ .



# REFERÊNCIAS

---



---

- Achten E, Van Cauteren M, Willem R, Luypaert R, Malaisse WJ, Van Bosch G, Delanghe G, De Meirleir K, Osteaux M. 31P-NMR spectroscopy and the metabolic properties of different muscle fibers. *J Appl Physiol*. 1990;68(2):644-9.
- Ahlquist LE, Bassett DR Jr, Sufit R, Nagle FJ, Thomas DP. The effect of pedaling frequency on glycogen depletion rates in type I and type II quadriceps muscle fibers during submaximal cycling exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;65(4):360-4.
- Altenburg TM, Degens H, van Mechelen W, Sargeant AJ, de Haan A. Recruitment of single muscle fibers during submaximal cycling exercise. *J Appl Physiol*. 2007;103(5):1752-6.
- Bangsbo J. Oxygen deficit: a measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *Can J Appl Physiol*. 1996;21(5):350-63.
- Barker T, Poole DC, Noble ML, Barstow TJ. Human critical power-oxygen uptake relationship at different pedalling frequencies. *Exp Physiol*. 2006;91(3):621-32.
- Barstow TJ, Jones AM, Nguyen PH, Casaburi R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *J Appl Physiol*. 1996;81(4):1642-50.
- Barstow TJ, Jones AM, Nguyen PH, Casaburi R. Influence of muscle fibre type and fitness on the oxygen uptake/power output slope during incremental exercise in humans. *Exp Physiol*. 2000;85(1):109-16.
- Barstow TJ, Lamarra N, Whipp BJ. Modulation of muscle and pulmonary O<sub>2</sub> uptakes by circulatory dynamics during exercise. *J Appl Physiol*. 1990;68(3):979-89.
- Barstow TJ, Molé PA. Simulation of pulmonary O<sub>2</sub> uptake during exercise transients in humans. *J Appl Physiol*. 1987;63(6):2253-61.
- Bearden SE, Moffatt RJ. VO<sub>2</sub> slow component: to model or not to model? *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(4):677-80.
- Beelen A, Sargeant AJ, Lind A, de Haan A, Kernell D, van Mechelen W. Effect of contraction velocity on the pattern of glycogen depletion in human muscle fibers. In: *Neuromuscular Fatigue*, edited by Sargeant AJ and Kernell D. Amsterdam: North Holland, 1993.
- Beelen A, Sargeant AJ. Effect of fatigue on maximal power output at different contraction velocities in humans. *J Appl Physiol*. 1991;71(6):2332-7.

- Bernasconi S, Tordi N, Perrey S, Parratte B, Monnier G. Is the  $VO_2$  slow component in heavy arm-cranking exercise associated with recruitment of type II muscle fibers as assessed by an increase in surface EMG? *Appl Physiol Nutr Metab*. 2006;31(4):414-22.
- Billat VL, Sirvent P, Py G, Koralsztein JP, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med*. 2003;33(6):407-26.
- Borrani F, Candau R, Millet GY, Perrey S, Fuchslocher J, Rouillon JD. Is the  $VO_2$  slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? *J Appl Physiol*. 2001;90(6):2212-20.
- Cannon DT, Kolkhorst FW, Cipriani DJ. Electromyographic data do not support a progressive recruitment of muscle fibers during exercise exhibiting a  $VO_2$  slow component. *J Physiol Anthropol*. 2007;26(5):541-6.
- Carter H, Pringle JS, Barstow TJ, Doust JH. Oxygen uptake kinetics during supra  $VO_{2max}$  treadmill running in humans. *Int J Sports Med*. 2006;27(2):149-57.
- Casaburi R, Whipp BJ, Wasserman K, Beaver WL, Koyal SN. Ventilatory and gas exchange dynamics in response to sinusoidal work. *J Appl Physiol*. 1977;42(2):300-1.
- Cautero M, di Prampero PE, Tam E, Capelli C. Alveolar oxygen uptake kinetics with step, impulse and ramp exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2005;95(5-6):474-85.
- Cleuziou C, Perrey S, Borrani F, Lecoq AM, Courteix D, Germain P, Obert P.  $VO_2$  and EMG activity kinetics during moderate and severe constant work rate exercise in trained cyclists. *Can J Appl Physiol*. 2004;29(6):758-72.
- Crow MT, Kushmerick MJ. Chemical energetics of slow- and fast-twitch muscles of the mouse. *J Gen Physiol*. 1982;79(1):147-66.
- De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech* 1997;13:135-63.
- Deley G, Millet GY, Borrani F, Lattier G, Brondel L. Effects of two types of fatigue on the  $VO_2$  slow component. *Int J Sports Med*. 2006;27(6):475-82.
- Ferguson RA, Aagaard P, Ball D, Sargeant AJ, Bangsbo J. Total power output generated during dynamic knee extensor exercise at different contraction frequencies. *J Appl Physiol*. 2000;89(5):1912-8.
- Ferguson RA, Ball D, Krstrup P, Aagaard P, Kjaer M, Sargeant AJ, Hellsten Y, Bangsbo J. Muscle oxygen uptake and energy turnover during dynamic exercise at different contraction frequencies in humans. *J Physiol*. 2001;536(Pt 1):261-71.

- Ferreira LF, Lutjemeier BJ, Townsend DK, Barstow TJ. Effects of pedal frequency on estimated muscle microvascular O<sub>2</sub> extraction. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(5):558-63.
- Fujihara Y, Hildebrandt JR, Hildebrandt J. Cardiorespiratory transients in exercising man. I. Tests of superposition. *J Appl Physiol*. 1973;35(1):58-67.
- Gaesser GA, Poole DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev*. 1996;24:35-71.
- Gaesser GA, Ward SA, Baum VC, Whipp BJ. Effects of infused epinephrine on slow phase of O<sub>2</sub> uptake kinetics during heavy exercise in humans. *J Appl Physiol*. 1994;77(5):2413-9.
- Garland SW, Wang W, Ward SA. Indices of electromyographic activity and the "slow" component of oxygen uptake kinetics during high-intensity knee-extension exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2006;97(4):413-23.
- Gerbino A, Ward SA, Whipp BJ. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol*. 1996;80(1):99-107.
- Goldberger AL. Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *Lancet*. 1996;347(9011):1312-4.
- Gollnick PD, Piehl K, Saltin B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Physiol*. 1974;241(1):45-57.
- Hagberg JM, Mullin JP, Nagle FJ. Oxygen consumption during constant-load exercise. *J Appl Physiol*. 1978;45(3):381-4.
- He ZH, Bottinelli R, Pellegrino MA, Ferenczi MA, Reggiani C. ATP consumption and efficiency of human single muscle fibers with different myosin isoform composition. *Biophys J*. 2000;79(2):945-61.
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000;10(5):361-74.
- Hill DW, Poole DC, Smith JC. The relationship between power and the time to achieve VO<sub>2max</sub>. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):709-14.
- Hill DW. Determination of accumulated O<sub>2</sub> deficit in exhaustive short-duration exercise. *Can J Appl Physiol*. 1996;21(1):63-74.
- Hirai DM, Okuno NM, Perandini LAB, Puga GM, Simões HG, Nakamura FY. Cinética do consumo de oxigênio durante exercícios supra-máximos: aplicação de modelos matemáticos. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2008;10(1):43-49.

- Hoelting BD, Scheuermann BW, Barstow TJ. Effect of contraction frequency on leg blood flow during knee extension exercise in humans. *J Appl Physiol.* 2001;91(2):671-9.
- Hughson RL, Morrissey M. Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. *J Appl Physiol.* 1982;52(4):921-9.
- Hughson RL, O'Leary DD, Betik AC, Hebestreit H. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. *J Appl Physiol.* 2000;88(5):1812-9.
- Hughson RL, Sherrill DL, Swanson GD. Kinetics of  $\text{VO}_2$  with impulse and step exercise in humans. *J Appl Physiol.* 1988;64(1):451-9.
- Hughson RL, Winter DA, Patla AE, Swanson GD, Cuervo LA. Investigation of  $\text{VO}_2$  kinetics in humans with pseudorandom binary sequence work rate change. *J Appl Physiol.* 1990;68(2):796-801.
- Hughson RL. Exploring cardiorespiratory control mechanisms through gas exchange dynamics. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(1):72-9.
- Jones AM, Campbell IT, Pringle JS. Influence of muscle fibre type and pedal rate on the  $\text{VO}_2$ -work rate slope during ramp exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(2-3):238-45.
- Jones AM, Carter H. Oxygen uptake-work rate relationship during two consecutive ramp exercise tests. *Int J Sports Med.* 2004;25(6):415-20.
- Jones AM, Poole DC. Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. Routledge, 2005.
- Kendall FP, McCreary EK. Músculos. Provas e funções. 3a ed. São Paulo: Manole, 1987.
- Kernell D, Lind A, van Diemen AB, De Haan A. Relative degree of stimulation-evoked glycogen degradation in muscle fibres of different type in rat gastrocnemius. *J Physiol.* 1995;484(1):139-53.
- Koga S, Shiojiri T, Kondo N, Barstow TJ. Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol.* 1997;83(4):1333-8.
- Krustrup P, Soderlund K, Mohr M, Bangsbo J. Slow-twitch fiber glycogen depletion elevates moderate-exercise fast-twitch fiber activity and  $\text{O}_2$  uptake. *Med Sci Sports Exerc.* 2004a;36(6):973-82.
- Krustrup P, Söderlund K, Mohr M, Bangsbo J. The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflugers Arch.* 2004b;447(6):855-66.
- Lamarra N, Whipp BJ, Ward SA, Wasserman K. Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. *J Appl Physiol.* 1987;62(5):2003-12.

- Lamarra N. Variables, constants, and parameters: clarifying the system structure. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(1):88-95.
- Leigh JR. *Control Theory*. Institution of Electrical Engineers, 2<sup>nd</sup> edition, 2004.
- Linnarsson D. Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol Scand Suppl.* 1974;415:1-68.
- Linnarsson D. The body as a bioenergetic system--lessons from systems engineering and comparative physiology. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(1):59-61.
- Lutjemeier BJ, Miura A, Scheuermann BW, Koga S, Townsend DK, Barstow TJ. Muscle contraction-blood flow interactions during upright knee extension exercise in humans. *J Appl Physiol.* 2005;98(4):1575-83.
- MacIntosh BR, Neptune RR, Horton JF. Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(7):1281-7.
- Mannion AF, Jakeman PM, Willan PL. Skeletal muscle buffer value, fibre type distribution and high intensity exercise performance in man. *Exp Physiol.* 1995;80(1):89-101.
- Markovitz GH, Sayre JW, Storer TW, Cooper CB. On issues of confidence in determining the time constant for oxygen uptake kinetics. *Br J Sports Med.* 2004 Oct;38(5):553-60.
- Marles A, Mucci P, Legrand R, Betbeder D, Prieur F. Effect of prior exercise on the  $\text{VO}_2$ /work rate relationship during incremental exercise and constant work rate exercise. *Int J Sports Med.* 2006;27(5):345-50.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fisiologia do exercício. Energia, nutrição e desempenho humano*. Guanabara Koogan, 5<sup>a</sup> ed., 2003.
- McDaniel J, Durstine JL, Hand GA, Martin JC. Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. *J Appl Physiol.* 2002;93(3):823-8.
- Medbø JJ, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated  $\text{O}_2$  deficit. *J Appl Physiol.* 1988;64(1):50-60.
- Merletti R. Standards for reporting EMG data. *J Electromyogr Kinesiol* 1997;7:1-2.
- Migita T, Hirakoba K. Effect of different pedal rates on oxygen uptake slow component during constant-load cycling exercise. *J Sports Med Phys Fitness.* 2006;46(2):189-96.
- Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergistic muscular group. *Ergonomics* 1965 8:329-38.
- Nakamura FY, Franchini E. Máximo déficit acumulado de oxigênio como preditor de capacidade anaeróbia. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2006;8(1):88-95.

- Noakes TD. Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(5):571-90.
- Ong HY, O'Dochartaigh CS, Lovell S, Patterson VH, Wasserman K, Nicholls DP, Riley MS. Gas exchange responses to constant work-rate exercise in patients with glycogenosis type V and VII. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004;169(11):1238-44.
- Ozyener F, Rossiter HB, Ward SA, Whipp BJ. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *J Physiol.* 2001 Jun 15;533(Pt 3):891-902.
- Pedersen PK, Sørensen JB, Jensen K, Johansen L, Levin K. Muscle fiber type distribution and nonlinear  $\text{VO}_2$ -power output relationship in cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):655-61.
- Pérez M, Lucia A, Santalla A, Chicharro JL. Effects of electrical stimulation on  $\text{VO}_2$  kinetics and delta efficiency in healthy young men. *Br J Sports Med.* 2003;37(2):140-3.
- Philp A, Macdonald AL, Watt PW. Lactate--a signal coordinating cell and systemic function. *J Exp Biol.* 2005;208(24):4561-75.
- Poole DC, Barstow TJ, Gaesser GA, Willis WT, Whipp BJ.  $\text{VO}_2$  slow component: physiological and functional significance. *Med Sci Sports Exerc.* 1994a;26(11):1354-8.
- Poole DC, Gladden LB, Kurdak S, Hogan MC. L-(+)-lactate infusion into working dog gastrocnemius: no evidence lactate per se mediates  $\text{VO}_2$  slow component. *J Appl Physiol.* 1994b;76(2):787-92.
- Poole DC, Richardson RS. Determinants of oxygen uptake. Implications for exercise testing. *Sports Med.* 1997;24(5):308-20.
- Poole DC, Schaffartzik W, Knight DR, Derion T, Kennedy B, Guy HJ, Prediletto R, Wagner PD. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J Appl Physiol.* 1991;71(4):1245-60.
- Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics.* 1988;31(9):1265-79.
- Powers SK, Howley ET. *Fisiologia do exercício. Teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho.* Manole, 3ª ed., 2000.
- Pringle JS, Doust JH, Carter H, Tolfrey K, Campbell IT, Jones AM. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "submaximal" exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *Eur J Appl Physiol.* 2003a;89(3-4):289-300.

- Pringle JS, Doust JH, Carter H, Tolfrey K, Jones AM. Effect of pedal rate on primary and slow-component oxygen uptake responses during heavy-cycle exercise. *J Appl Physiol.* 2003b;94(4):1501-7.
- Ratkevicius A, Mizuno M, Povilonis E, Quistorff B. Energy metabolism of the gastrocnemius and soleus muscles during isometric voluntary and electrically induced contractions in man. *J Physiol.* 1998;507(2):593-602.
- Reggiani C, Potma EJ, Bottinelli R, Canepari M, Pellegrino MA, Stienen GJ. Chemo-mechanical energy transduction in relation to myosin isoform composition in skeletal muscle fibres of the rat. *J Physiol.* 1997;502(2):449-60.
- Rosner B. *Fundamentals of biostatistics.* 5<sup>a</sup> ed. Duxbury: Thomson Learning; 2000.
- Rossiter HB, Ward SA, Doyle VL, Howe FA, Griffiths JR, Whipp BJ. Inferences from pulmonary O<sub>2</sub> uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. *J Physiol.* 1999;518 (3):921-32.
- Rossiter HB, Ward SA, Kowalchuk JM, Howe FA, Griffiths JR, Whipp BJ. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O<sub>2</sub> uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. *J Physiol.* 2002;541(Pt 3):991-1002.
- Roston WL, Whipp BJ, Davis JA, Cunningham DA, Effros RM, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis.* 1987;135(5):1080-4.
- Rowell LB, Shepherd JT. *Handbook of Physiology. Section 12 - Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems.* American Physiological Society, 1996.
- Santalla A, Perez M, Montilla M, Vicente L, Davison R, Earnest C, Lucia A. Sodium bicarbonate ingestion does not alter the slow component of oxygen uptake kinetics in professional cyclists. *J Sports Sci.* 2003;21(1):39-47.
- Sargeant AJ. Human power output and muscle fatigue. *Int J Sports Med.* 1994;15(3):116-21.
- Sargeant AJ. Structural and functional determinants of human muscle power. *Exp Physiol.* 2007;92(2):323-31.
- Saunders MJ, Evans EM, Arngrimsson SA, Allison JD, Warren GL, Cureton KJ. Muscle activation and the slow component rise in oxygen uptake during cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(12):2040-5.
- Scheuermann BW, Hoelting BD, Noble ML, Barstow TJ. The slow component of O<sub>2</sub> uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. *J Physiol.* 2001;531(1):245-56.

- Shelhamer M. *Nonlinear Dynamics in Physiology: A State-space Approach*. World Scientific, 2006.
- Shinohara M, Moritani T. Increase in neuromuscular activity and oxygen uptake during heavy exercise. *Ann Physiol Anthropol*. 1992;11(3):257-62.
- Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol*. 2003;28(2):299-323.
- Swanson GD. Assembling control models from pulmonary gas exchange dynamics. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(1):80-7.
- Szentesi P, Zaremba R, van Mechelen W, Stienen GJ. ATP utilization for calcium uptake and force production in different types of human skeletal muscle fibres. *J Physiol*. 2001;531(2):393-403.
- Voit EO, Marino S, Lall R. Challenges for the identification of biological systems from in vivo time series data. *In Silico Biol*. 2005;5(2):83-92.
- Vollestad NK, Blom PC. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres. *Acta Physiol Scand*. 1985;125(3):395-405.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. *Principles of exercise testing and interpretation*. Lippincott Williams & Wilkins, 3<sup>rd</sup> ed., 1999.
- Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol*. 1981;50(1):217-21.
- Whipp BJ, Ward SA, Lamarra N, Davis JA, Wasserman K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol*. 1982;52(6):1506-13.
- Whipp BJ, Ward SA. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(1):62-71
- Whipp BJ, Wasserman K. Effect of anaerobiosis on the kinetics of O<sub>2</sub> uptake during exercise. *Fed Proc*. 1986;45(13):2942-7.
- Whipp BJ, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol*. 1972;33(3):351-6.
- Wigertz O. Dynamics of respiratory and circulatory adaptation to muscular exercise in man. A systems analysis approach. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1971;363:1-32.
- Wilmore JH. Influence of motivation on physical work capacity and performance. *J Appl Physiol*. 1968 Apr;24(4):459-63.



- Winter DA. A new definition of mechanical work done in human movement. *J Appl Physiol.* 1979;46(1):79-83.
- Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med.* 1999;27(5):313-27.
- Zoladz JA, Korzeniewski B. Physiological background of the change point in  $\text{VO}_2$  and the slow component of oxygen uptake kinetics. *J Physiol Pharmacol.* 2001;52(2):167-84.
- Zoladz JA, Rademaker AC, Sargeant AJ. Human muscle power generating capability during cycling at different pedalling rates. *Exp Physiol.* 2000;85(1):117-24.
- Zoladz JA, Rademaker AC, Sargeant AJ. Non-linear relationship between  $\text{O}_2$  uptake and power output at high intensities of exercise in humans. *J Physiol.* 1995;488 (1):211-7.

**Anexo 1**  
**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

**Título: Efeito da cadência sobre o componente lento da cinética do consumo de oxigênio: testes de superposição.**

Você está sendo convidado para participar como voluntário em uma pesquisa. Após ser esclarecido sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa você não será penalizado de forma alguma. Em caso de qualquer dúvida, peça ao pesquisador que lhe explique a respeito das informações não compreendidas.

**OBJETIVOS:** A finalidade do estudo é verificar e comparar as respostas da cinética do consumo de oxigênio mediante aplicação de diferentes cadências (velocidades) em bicicleta ergométrica. Pretende-se investigar potenciais mecanismos envolvidos no desenvolvimento do componente lento da cinética do consumo de oxigênio, que por sua vez está relacionado ao processo de fadiga.

**Procedimentos que serão adotados durante a pesquisa:** todos os testes de exercício serão executados em bicicleta ergométrica agregados à análise dos gases expirados. Os participantes serão submetidos a dois (02) testes de esforço progressivo máximo (até a exaustão) do tipo rampa e doze (12) testes retangulares submáximos, em diferentes cadências pré-definidas pelo investigador. Durante o teste o participante poderá sentir cansaço, falta de ar, tontura, dor no peito. Quando sentir um desses sintomas o teste deverá ser imediatamente interrompido. Durante o teste, o participante será monitorizado por equipamento de eletrocardiograma, acompanhado por um médico cardiologista para evitar qualquer risco. Será realizada coleta sanguínea do lóbulo da orelha por intermédio de lanceta, o que pode levar a dor e/ou discreto desconforto local.

O abaixo assinado e identificado, sob a responsabilidade do médico que assina este documento, declara ter recebido uma explicação clara e completa sobre a pesquisa acima mencionada a que se submete de livre e espontânea vontade, reconhecendo que:

- 1º - Foram explicadas as justificativas e os objetivos da pesquisa.
- 2º - Foram explicados os procedimentos que serão utilizados, incluindo os que ainda são experimentais. Junto a outros procedimentos ou testes que se fizerem necessários.
- 3º - Foram descritos os desconfortos e riscos esperados.

Os procedimentos a serem executados poderão apresentar os seguintes efeitos :

Cansaço, falta de ar e tontura, dor de cabeça ou dor no peito.

Caso venha sentir algum desses sintomas, acima relacionado, deverá ser informado prontamente ao pesquisador responsável **Dr. Jorge Pinto Ribeiro** no telefone número **2101 8287** no Hospital de Clínicas de Porto Alegre, ou celular 24h **9982 4984**.

- 4º - Foi dada garantia de receber resposta a qualquer pergunta ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, e outros assuntos relacionados com a pesquisa.

Caso tiver novas perguntas sobre este estudo, sobre os meus direitos como participante do mesmo ou se penso que fui prejudicado pela minha participação, posso chamar ao **Fisioterapeuta Daniel Müller Hirai** (investigador) no telefone **2101 8287**, ou celular 24h **(43) 9983 3851**.

- 5º - Foi dada a liberdade de retirar meu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo.
- 6º - Foi dada a garantia de não ser identificado e de ser mantido o caráter confidencial de informação em relação à minha privacidade.
- 7º - Foi assumido o compromisso de proporcionar-me informação atualizada obtida durante o estudo, ainda que esta possa afetar minha vontade em continuar participando.
- 8º - Assino o presente documento, em duas vias de igual teor, ficando uma em minha posse.

A minha assinatura neste *Consentimento Livre e Esclarecido* dará autorização ao pesquisador do estudo, ao comitê de ética desse hospital, e a organização governamental de saúde de utilizarem os dados obtidos quando se fizer necessário, incluindo a divulgação dos mesmos, sempre preservando minha privacidade.

Declaro conhecimento de que este estudo está sendo conduzido por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com colaboração de um pesquisador da Universidade Estadual de Londrina.

Por este instrumento tomo parte voluntariamente do presente estudo

Porto Alegre, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_.  
(dia) (mês) (ano)

Assinatura do paciente: \_\_\_\_\_

Assinatura do Médico Responsável: \_\_\_\_\_

Nome do médico responsável: \_\_\_\_\_

CREMERS N°: \_\_\_\_\_

Declaro que este formulário foi lido para ..... (nome do paciente) em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (data) pelo ..... (nome do pesquisador) enquanto eu estava presente.

---

Assinatura da Testemunha

Nome

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)