



**Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-graduação em Fisioterapia
Departamento de Fisioterapia**

Caracterização das respostas cardiorrespiratórias e
eletromiográficas para exercício de carga constante em
intensidades próximas ao limiar de anaerobiose ventilatório

Karla Rocha Pithon

São Carlos
2005

Karla Rocha Pithon

Caracterização das respostas cardiorrespiratórias e eletromiográficas para exercício de carga constante em intensidades próximas ao limiar de anaerbiose ventilatório

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, para obtenção do título de Mestre em Fisioterapia.

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Ester da Silva**

São Carlos

2005

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

P683cr

Pithon, Karla Rocha.

Caracterização das respostas cardiorrespiratórias e eletromiográficas para exercícios de carga constante em intensidades próximas ao limiar de anaerobiose ventilatório / Karla Rocha Pithon. -- São Carlos : UFSCar, 2005.
129 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2005.

1. Fisiologia do exercício físico. 2. Frequência cardíaca. 3. Eletromiografia. 4. Trocas gasosas. 5. Limiar de anaerobiose ventilatório. I. Título.

CDD: 612.04 (20^a)

Investigação conduzida no Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico – NUPEF, do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

Suporte Financeiro: FAPESP, CAPES, CNPq

Dedico este trabalho a tia Lia (*in memoriam*) pela demonstração de fé, vontade de viver e sobretudo amor e dedicação demonstrados a nossa família durante toda a sua vida. A minha mãe Anamira e meus avós Joana e Carmito, os grandes responsáveis pela minha formação.

Prof^a. Ester, Prof^a Catai e Prof. Barreto

“Não pesquisamos apenas por causa da pesquisa, mas sim levados pela intenção imediata de ajudar”.

(Carl Gustav Jung)

“A mente que se abre a uma nova idéia, jamais voltará ao seu tamanho original”.

(Albert Einstein).

E é a essência da pesquisa e do ensinar que os tornam professores tão especiais.

Muito obrigada.

Agradecimentos Especiais

À Prof^ª. Dr^ª. Ester da Silva e Prof^ª Dr^ª. Aparecida Maria Catai que são as grandes responsáveis pelo êxito dos trabalhos desenvolvidos neste grupo e conseqüentemente a formação profissional de nós alunos. A dedicação de vocês a nós e a pesquisa é surpreendente!

Ao Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins por ter-me ensinado a essência da pesquisa e me apoiado durante todo o meu aprendizado com palavras de incentivo e dedicação a este trabalho.

Ao Prof. Dr. Lourenço Gallo Júnior pelas sugestões dadas para o desenvolvimento do protocolo experimental e as demais contribuições feitas ao trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Audrey Borghi Silva e à Prof^ª. Dr^ª. Raquel Britto pela atenção dispensada a este trabalho.

A todos os docentes da pós-graduação do departamento de Fisioterapia que fazem desse curso um dos melhores do país.

Aos órgãos de fomento que tornaram possível a realização dessa pesquisa.

Aos meus amigos do Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular Lucas, Pozzi e Mali e aos pacientes que me receberam com carinho e fizeram prazerosas as manhãs de trabalho.

A Daniel, Luciana e Valeria que tiveram ao meu lado durante todos os momentos bons e difíceis, sempre com uma palavra amiga e solidária. Estimo muito a amizade de vocês.

Ao pessoal de Piracicaba: Maria Carolina, Elizane, Michel, Fernanda Sirol, Natália e Rose que caminharam juntos comigo durante esses anos.

À Anielle que de amiga se tornou irmã de coração e fez da nossa convivência momentos preciosos da mais pura amizade.

À velha guarda do laboratório: Ana Paula, Fabrício, Lílian, Albaíza pela contribuição nos meus primeiros experimentos.

À Vera, Daniela e Adonis que foram os responsáveis pela formação desse grupo de voluntários. E aos voluntários que são a essência deste trabalho.

Ao Robison e a Ruth, amigos que me acompanharam durante todo o período de mestrado com atenção e sempre prontos a ajudar.

Ao Lucien, pela ajuda na parte computacional.

À Michele, Elizangela, Cícera e Liliane, que estão sempre presentes.

A todos os amigos que conheci na pós-graduação e sempre me acompanharam nos estudos e nos momentos de descontração.

A toda minha família: pais, avós, tios, irmãs e primos por serem os alicerces da minha vida e a fazem muito feliz!

E por fim a Deus que possibilitou que todas essas pessoas entrassem na minha vida e a marcassem com amor, carinho e dedicação, sendo fundamentais para meu crescimento não só profissional como também o desenvolvimento de meu caráter.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	17
ABREVIações E SÍMBOLOS	20
RESUMO	23
ABSTRACT	24
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 CASUÍSTICA E MÉTODOS.....	34
2.1 Aspectos éticos.....	35
2.2 Casuística.....	35
2.3 Avaliação clínica.....	36
2.3.1 Avaliação fisioterapêutica.....	36
2.3.2 Avaliação laboratorial.....	36
2.3.3 Avaliação médica.....	36
2.4. Local de realização do estudo.....	37

2.5. Procedimentos gerais.....	37
2.6. Procedimento experimental.....	39
2.6.1 Monitorização cardíaca.....	39
2.6.2 Monitorização mioelétrica.....	40
2.6.3 Monitorização ventilatória.....	44
2.7. Seqüência de realização dos testes.....	48
2.8. Protocolo I: Teste de exercício físico dinâmico contínuo do tipo rampa.....	49
2.9. Protocolo II: Teste de exercício físico dinâmico descontínuo do tipo degrau.....	50
2.10. Sincronismo do sinal no protocolo II.....	52
2.11. Métodos de análise dos dados.....	54
2.11.1. Determinação do consumo de oxigênio pico e consumo de oxigênio no limiar de anaerobiose ventilatório.....	54
2.11.2 Análise visual gráfica.....	55
2.12. Metodologia de análise no protocolo II.....	57
2.12.1 Modelo matemático e estatístico semiparamétrico.....	57

2.13. Apresentação dos dados e análise estatística.....	58
3 RESULTADOS	62
3.1 Casuística.....	63
3.2 Análise descritiva das variáveis cardiorrespiratórias.....	65
3.2.1 Durante teste de exercício físico dinâmico contínuo do tipo rampa.....	65
3.2.2 Durante teste de exercício físico dinâmico descontínuo do tipo degrau.....	66
3.3 Análise comparativa das variáveis cardiorrespiratórias.....	72
3.3.1 Análise da frequência cardíaca nos protocolos I e II.....	72
3.3.2 Análise da produção de gás carbônico em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, consumo de oxigênio em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e ventilação em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	73
3.3.3 Análise do PetO_2 e PetCO_2 em mmHg nos protocolos I e II.....	77
3.3.4 Análise do RMS do sinal eletromiográfico em μV no protocolo II....	79
3.3.5 Análise da aplicação do modelo semiparamétrico aos dados do protocolo II.....	80
4 DISCUSSÃO	89
4.1 Critério de estabilidade.....	100

4.2 Análise dos resultados do protocolo II.....	101
4.2.1 Resposta da frequência cardíaca.....	101
4.2.2 Resposta das variáveis ventilatórias.....	103
4.2.3 Resposta do sinal eletromiográfico.....	106
4.2.4 Inter-relação das respostas das variáveis.....	107
4.2.5 Escolha dos trechos de análise.....	108
4.2.6 Limitações e perspectivas futuras.....	109
5 CONCLUSÃO.....	111
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
APÊNDICE A.....	119
APÊNDICE B.....	121
APÊNDICE C.....	124
APÊNDICE D.....	126
APÊNDICE E.....	128

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Ilustração da tela de aquisição de dados do eletrocardiograma e da frequência cardíaca, batimento a batimento, obtida a partir dos intervalos R-R de um dos voluntários estudados (4) durante o teste em degrau descontínuo correspondente a 30% acima do limiar de anaerobiose ventilatório. 40
- Figura 2: Ilustração do local de posicionamento dos eletrodos para registro do sinal eletromiográfico do músculo vasto lateral direito, a 2/3 da linha entre a espinha ilíaca antero-superior e a borda lateral da patela, na direção das fibras musculares no ventre do vasto lateral. 42
- Figura 3: Espectro de potência do sinal eletromiográfico coletado durante a realização de exercício físico dinâmico na potência de 136W (degrau 3), de um dos voluntários estudados (6). Este tipo de análise foi utilizado como controle de qualidade para observar a existência de interferência nas frequências de 60Hz e suas harmônicas. 43
- Figura 4: Representação do sinal de eletromiografia de superfície correspondente a contração (A) e o relaxamento (B), obtidos de um dos voluntários estudados (4). 44
- Figura 5: Aparato bucal utilizado pelo voluntário para coleta das variáveis ventilatórias e metabólicas durante os experimentos. 46

Figura 6: Padrão de resposta das variáveis cardiorrespiratórias ao teste incremental do tipo rampa (em médias móveis de 8 ciclos respiratórios) e ao teste descontínuo em degrau (respiração-a-respiração) de um dos voluntários estudados (4). No painel A em azul o incremento de potência e em vinho a rotação da bicicleta. No painel B as curvas das variáveis analisadas, sendo: consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em $l \cdot \text{min}^{-1}$ em vermelho, da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) em $l \cdot \text{min}^{-1}$ em azul, da ventilação ($\dot{V}E$) em $l \cdot \text{min}^{-1}$ em verde, e da FC (bpm) em preto.

47

Figura 7: Ilustração da tela do sistema ergoespirométrico de um teste incremental, na qual foi determinado o limiar de anaerobiose ventilatório. A representação gráfica dos dados estão em médias móveis de 8 ciclos respiratórios e podemos observar: a curva do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em vermelho e a curva da produção de gás carbônico ($\dot{V}CO_2$) em azul. A área hachurada corresponde ao trecho desprezado para a análise visual.

48

Figura 8: Representação esquemática do teste incremental (protocolo I) com aquecimento durante 4 minutos em 4W e posterior incremento de potência, que nos voluntários estudados variavam entre 20 e 25W.min⁻¹.

50

Figura 9: Representação esquemática do teste em degrau (protocolo II) com aquecimento de 2 minutos em 4W no início de cada degrau e desaquecimento na potência de 20W após cada degrau

52

Figura 10: Ajuste do modelo matemático e estatístico semiparamétrico ao conjunto de dados de frequência cardíaca no período de 3 a 9 minutos do degrau 2 do protocolo II, realizado por um dos voluntários estudados (7). 60

Figura 11: Ajuste do intervalo de confiança ao mesmo conjunto de dados de frequência cardíaca da figura 10, no período de 3 a 9 minutos do degrau 2 do protocolo II realizado por um dos voluntários estudados (7). Na linha azul, temos uma reta representativa do valor médio da frequência cardíaca e nas linhas pretas temos o intervalo de confiança para os dados analisados. 61

Figura 12: Ilustração das variáveis respiratórias durante um teste contínuo do tipo rampa com 4 minutos de aquecimento em 4W, incremento de potência de $25\text{W}\cdot\text{min}^{-1}$, sendo em verde $\dot{V}E$ em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, em azul o $\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e em vermelho o $\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ de um dos voluntários estudados (4). 67

Figura 13: Resposta da frequência cardíaca em bpm, obtida batimento a batimento, no teste descontínuo em degrau, durante 1 min em repouso pré-esforço, 2 min em aquecimento, 15 min em cada degrau e 2 min em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4). 68

Figura 14: Resposta do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), no teste descontínuo em degrau, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

69

Figura 15: Resposta da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), no teste descontínuo em degrau, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

70

Figura 16: Resposta da ventilação ($\dot{V}E$ em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$), no teste descontínuo em degrau, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

71

Figura 17 Valores de frequência cardíaca, em bpm, do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.* Nível de significância $\alpha=5\%$.

72

Figura 18: Valores de produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.
* Nível de significância $\alpha=5\%$.

74

Figura 19: Valores do consumo oxigênio ($\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II. * Nível de significância $\alpha=5\%$.

75

Figura 20: Variação dos valores de consumo oxigênio (em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, direita) e produção de dióxido de carbono (em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, esquerda) entre os degraus 2 e 1 ($D2 - D1$) entre os degraus 3 e 2 ($D3 - D2$), no protocolo II, do grupo estudado

76

Figura 21: Valores da ventilação em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II. * Nível de significância $\alpha=5\%$.

77

Figura 22: Valores do $P_{\text{et}}O_2$ em mmHg , do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II. * Nível de significância $\alpha=5\%$.

78

Figura 23: Valores do $P_{\text{et}}CO_2$ em mmHg , do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II. * Nível de significância $\alpha=5\%$.

79

Figura 24: Valores de RMS em μV do sinal mioelétrico nos 3 degraus do protocolo II, do grupo estudado. * Nível de significância $\alpha=5\%$.

80

LISTA DE TABELAS

- Tabela I: Idade e características antropométricas dos voluntários estudados (n=8). Valores apresentados em média, desvio padrão (DP) e em mediana. 63
- Tabela II. Valores da potência (W), frequência cardíaca (FC em bpm), do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) relativo em $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e absoluto em $\text{mlO}_2.\text{min}^{-1}$ da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) em ml.min^{-1} , da ventilação ($\dot{V}E$) em l.min^{-1} , obtidos no pico do exercício físico dinâmico incremental. Valores apresentados em média, desvio padrão (DP) e em mediana (n=8). 65
- Tabela III: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 1, no trecho de 3 a 9 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; $PetCO_2$ e $PetO_2$ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min^{-1} ; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min^{-1} e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D). 83
- Tabela IV: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 2 no trecho de 3 a 9 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; $PetCO_2$ e $PetO_2$ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min^{-1} ; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min^{-1} e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D). 84

Tabela V: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 3, no trecho de 3 a 9 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

85

Tabela VI: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 1, no trecho de 9 a 15 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D)

86

Tabela VII: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 2, no trecho de 9 a 15 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D)

87

Tabela VIII: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 3, no trecho de 9 a 15 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

88

- Tabela IX. Resultado dos exames laboratoriais de hemograma; urina; glicemia, uréia ácido úrico e creatinina, em mg/dl; triglicérides, colesterol total, LDL, HDL, em mg/100ml dos voluntários estudados. Valores apresentados em média, desvio padrão e em mediana. 125
- Tabela X. Resultado dos eletrocardiogramas (ECG) de repouso e valores de frequência cardíaca (FC) em batimentos por minuto (bpm), pressão arterial sistólica (PAS em mmHg) e pressão arterial diastólica (PAD em mmHg), em repouso supino e no pico de potência (W) do teste ergométrico clínico. Valores apresentados em média, desvio padrão e mediana 127
- Tabela XI: Nível de potência em Watts (W) no qual foi determinado o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do teste contínuo em rampa e potências do teste descontínuo em degraus realizados pelos voluntários. 129

Abreviações e símbolos

% = porcentagem

°C = grau Celsius

BE = *base excess*

bpm = batimento por minuto

C = crescente

cm = centímetro

CO₂ = gás carbônico

D = decrescente

DII = derivação eletrocardiográfica bipolar que se refere à diferença de potencial entre os eletrodos posicionados no braço direito (pólo negativo) e na perna esquerda (pólo positivo)

DP = desvio padrão

E = estável

EMG = eletromiografia

ECG = eletrocardiograma

FC = frequência cardíaca

Hz = Hertz

IMC = índice de massa corporal

kg = quilograma

kg/m² = quilograma por metro quadrado

LAV= limiar de anaerobiose ventilatório

l.min⁻¹ = litro por minuto

m = metro

MC5 = derivação eletrocardiográfica com eletrodos dispostos no manúbrio esternal (pólo negativo) e quinto espaço intercostal (pólo positivo)

MEEL = máximo estado de equilíbrio do lactato

ml.min⁻¹ = mililitro por minuto

ml.kg.min⁻¹ = mililitro por quilograma por minuto

mmHg = milímetros de mercúrio

mM,l⁻¹ = miliMol por litro

n = número

NUPEF = Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico

O₂ = oxigênio

PAD = pressão arterial diastólica

PAS = pressão arterial sistólica

PetCO₂ = pressão parcial de gás carbônico ao final da expiração

PetO₂ = pressão parcial de oxigênio ao final da expiração

r_s = coeficiente de correlação de *Spearman*

R = onda "R" do eletrocardiograma

rpm = rotações por minuto

RMS = *root mean square* – raiz quadrada da média quadrática das amplitudes dos sinais mioelétricos registrados do sinal eletromiográfico

RER = razão das trocas respiratórias

μV = microvolt

UFSCar = Universidade Federal de São Carlos

VC = volume corrente

V2 = derivação eletrocardiográfica no quarto espaço intercostal ao lado esquerdo do esterno

ṠE = ventilação por minuto

ṠO₂ = consumo de oxigênio

$\dot{V}CO_2$ = produção de gás carbônico

W = Watt

W.min⁻¹ = Watt por minuto

Resumo

Pithon, K. R. *Caracterização das respostas cardiorrespiratórias e eletromiográficas para exercício de carga constante em intensidades próximas ao limiar de anaerobiose ventilatório*. 2004. 129 p. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) – Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.

Esta pesquisa teve por objetivo identificar o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) num teste contínuo em rampa e aplicar ferramentas matemáticas e estatísticas para estudar a estabilidade das variáveis durante o exercício em degrau descontínuo nas intensidades próximas ao LAV. Oito homens jovens ($22,75 \pm 2,25$ anos) foram submetidos a teste ergoespirométrico num protocolo contínuo tipo rampa (protocolo I), com incremento de 20 a 25 $W \cdot \text{min}^{-1}$ em cicloergômetro de frenagem eletromagnética e a 3 degraus descontínuos (protocolo II) de 15 minutos cada, em 70% do LAV (degrau 1), 100% LAV (degrau 2) e 130% LAV (degrau 3), com coleta das variáveis metabólicas e ventilatórias ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, $PetO_2$, $PetCO_2$) respiração-a-respiração, frequência cardíaca (FC) batimento-a-batimento e do RMS pela eletromiografia do músculo vasto lateral. No protocolo I, o LAV foi determinado pela perda do paralelismo entre $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$, nos dados do protocolo II foi aplicado o modelo matemático e estatístico semiparamétrico. Para a análise estatística foi aplicado o intervalo de confiança da mediana, $\alpha = 5\%$ e análise descritiva. Nos resultados, a FC foi estatisticamente diferente entre o LAV e degrau 3 e entre os degraus 1, 2 e 3. Para $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}E$ os resultados foram similares, com diferença estatisticamente significativa entre o LAV e degraus 2 e 3, entre os 3 degraus houve diferença estatisticamente significativa. Já no $PetO_2$ a diferença estatística foi entre o LAV e degrau 3, o $PetCO_2$ e o RMS não mostraram diferenças. Ao analisar o trecho do 3º ao 9º minuto (T1) e do 9º ao 15º (T2) dos degraus, foram observados no degrau 1: para FC 7 estáveis (E) e 1 crescente (C) e $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ 8E em T1 e T2; $PetCO_2$ 7E e 1 decrescente (D) em T1 e 7E e 1C em T2; $PetO_2$ 5E e 3C em T1 e 7E e 1D em T2; no RMS 4E, 3D e 1C em T1 e 7E e 1D em T2. No degrau 2: FC 3E e 5C em T1 e 5E e 3C em T2; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ 8E em T1 e T2; $PetCO_2$ 4E e 4D em T1 e 5E e 3D em T2; $PetO_2$ 5E e 3C em T1 e 8E em T2; RMS 4E, 2D e 2C. No degrau 3: FC 8C em T1 e 5E e 3C em T2, $\dot{V}CO_2$ 8E e $\dot{V}O_2$ 7E e 1C em T1 e $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ 8E em T2; $PetCO_2$ 1E e 7C em T1 e 5E, 1C e 2D em T2; $PetO_2$ 4E e 4C em T1 e 5E, 2D e 1C em T2; RMS 4E, 2D e 2C em T1 e 4E, 3D e 1C em T2. Conclusões: Ao realizar um protocolo em degrau é necessário diminuir em torno de 30% a intensidade de trabalho para alcançar valores cardiorrespiratórios similares aos encontrados no LAV, em voluntários jovens. O $PetCO_2$ e a FC apresentaram respostas mais sensíveis a intensidades de trabalho acima do LAV e podem ser utilizados como primeiros sinalizadores do trabalho acima do LAV.

Abstract

Pithon, K. R. *Caracterização das respostas cardiorrespiratórias e eletromiográficas para exercício de carga constante em intensidades próximas ao limiar de anaerobiose ventilatório*. 2004. 129 p. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) – Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.

This research aimed to identify the ventilatory anaerobic threshold (VAT) in a ramp continuous test and to apply mathematical and statistical methods to study the stability of the variables during the exercise performed in discontinuous steps near the VAT intensity. Eight young men ($22,75 \pm 2,25$ years) were submitted to a ramp continuous ergospirometric test (protocol I), with 20 to 25 $W \cdot \text{min}^{-1}$ power increments, on an electromagnetic braked cycle ergometer and to 3 discontinuous steps (protocol II), each one lasting 15 minutes, with 70% of VAT (step 1), 100% of VAT (step 2) and 130% of VAT (step 3). The metabolic and ventilatory variables ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, $P_{et}O_2$, $P_{et}CO_2$) were collected on a breath-by-breath basis, heart rate (HR) was collected on a beat-to-beat basis, and RMS was calculated for the myoelectrical signal of *vastus lateralis* muscle. In protocol I, VAT was determined by the loss of parallelism between $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$; in protocol II data a semi-parametric mathematical and statistical model was applied. For statistical analysis the median confidence interval was applied, $\alpha = 5\%$ and descriptive analysis. HR was statistically different between VAT and step 3 and among steps 1, 2 and 3. For $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}E$ data the results were similar, with significant statistical differences between VAT and steps 2 and 3 and among the three steps. For $P_{et}O_2$ the statistical difference was observed between VAT and step 3; $P_{et}CO_2$ and RMS did not show statistical differences. The analysis of the 3^o to 9^o minute (T1) and of the 9^o to 15^o minute (T2) of the steps, showed for step 1: for HR 7 stables (S) and 1 crescent (C) and $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ 8S in T1 and T2; $P_{et}CO_2$ 7S and 1 decreasing (D) in T1 and 7S and 1C in T2; $P_{et}O_2$ 5S and 3C in T1 and 7S and 1D in T2; RMS 4S, 3D and 1C in T1 and 7S and 1D in T2. For step 2: HR 3S and 5C in T1 and 5S and 3C in T2; $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ 8S in T1 and T2; $P_{et}CO_2$ 4S and 4D in T1 and 5S and 3D in T2; $P_{et}O_2$ 5S and 3C in T1 and 8S in T2; RMS 4S, 2D and 2C. For step 3: HR 8C in T1 and 5S and 3C in T2, $\dot{V}CO_2$ 8S and $\dot{V}O_2$ 7S and 1C in T1 and $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ 8S in T2; $P_{et}CO_2$ 1S and 7C in T1 and 5S, 1C and 2D in T2; $P_{et}O_2$ 4S and 4C in T1 and 5S, 2D and 1C in T2; RMS 4S, 2D and 2C in T1 and 4S, 3D and 1C in T2. Conclusions: for young volunteers, on a step protocol, it is necessary to decrease the power intensity around 30% to reach similar cardiorrespiratory values of VAT. $P_{et}CO_2$ and HR showed more sensitive responses to power intensities above VAT and can be used as first signaling of exercise above VAT.

INTRODUÇÃO

O exercício físico, atividade comum na vida cotidiana, porém extremamente complexa do ponto de vista fisiológico, requer a interação de todos os sistemas que compõem o organismo (GALLO JR, et al., 1995). Pode ser utilizado como um estímulo que promove mudanças dos sistemas orgânicos e avaliado de forma precisa e promissora, permitindo o estudo rigoroso e controlado com boas condições de reprodutibilidade (ROWELL, 1986).

O exercício físico, mais que qualquer outro estresse, demonstra a habilidade regulatória do sistema cardiorrespiratório. E quanto mais o indivíduo é submetido a este tipo de estresse nos variados sub-tipos, tais como exercício isométrico, dinâmico, isocinético, mais se compreende sobre os mecanismos de ajuste e adaptação (ROWELL, 1986).

Na literatura é encontrada uma variedade de estudos com diversos tipos de protocolos para avaliação da capacidade funcional. Assim temos exercício físico dinâmico do tipo rampa (HANON, et al., 1998; SCHEUERMANN, TRIPSE MCCONNELL; BARSTOW, 2002), em degrau (ARNAUD, et al., 1997; SAUNDERS, et al., 2000), e senoidal (HAOUZI, et al., 1993). Cada um desses protocolos produz repercussões fisiológicas específicas, essenciais para a caracterização minuciosa de suas respostas e para a compreensão dos mecanismos envolvidos.

Entre os estudos com os protocolos acima citados, vários vem sendo realizado no sentido de melhor elucidar o limiar de anaerobiose, que é um importante parâmetro fisiológico para avaliação da capacidade aeróbia no homem (KELLY, et al., 2001; SOLER, et al., 1989; WASSERMAN, 1999). Existem métodos não-invasivos relacionados à mudança do comportamento das variáveis ventilatórias e metabólicas, como é bem demonstrado por estudos desenvolvidos pelo grupo do Prof. K. Wasserman (1999) nos quais é observado um aumento desproporcional da

ventilação pulmonar ($\dot{V}E$) e da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$), relativamente à elevação linear do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), em protocolos contínuos de incremento da potência.

Estes estudos permitem a quantificação do limiar de anaerobiose, parâmetro este que se correlaciona com o consumo máximo de oxigênio e corresponde ao valor submáximo de potência no qual começa a haver uma desproporção entre o aumento da produção de ácido láctico pelo músculo e sua eliminação pelos processos de captação e metabolização celular no fígado, músculos inativos, coração e outros tecidos do organismo e que, por conseguinte, possibilita a quantificação da capacidade aeróbia em exercício (ROWELL, 1986; WASSERMAN, 1999).

Além da determinação do limiar de anaerobiose, a cinética das variáveis cardiorrespiratórias pode ser avaliada em repouso quando as trocas gasosas pulmonares são similares às trocas gasosas celulares e em exercícios de carga constante, conhecido como exercício descontínuo em degrau. Nesse último, o comportamento das variáveis ventilatórias é dividido em 3 fases. Assim, ao iniciar um exercício de intensidade baixa a moderada e constante, na fase I, há o aumento imediato da frequência cardíaca devido à retirada vagal (GALLO JR, et al., 1995; MACIEL, et al., 1986), e do fluxo de sangue pulmonar resultante do aumento na inotropia cardíaca e no retorno venoso, causando um incremento abrupto no consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono. Esse período de transferência de oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2), referido como troca gasosa cardiodinâmica, é devido primariamente ao aumento no fluxo sanguíneo pulmonar. Durante essa fase a proporção entre as trocas gasosas não muda (WASSERMAN, 1999).

Numa fase seguinte, ou fase II, os efeitos das trocas gasosas musculares repercutem nos pulmões e refletem num período de maior aumento na resposta celular e ao final desse período um estado de equilíbrio é restabelecido com 3 minutos para o $\dot{V}O_2$ e 4 minutos para o $\dot{V}CO_2$, e as trocas gasosas no pulmão estão novamente iguais às trocas gasosas celulares, caracterizando o início da fase III (WASSERMAN, 1999).

No exercício de intensidade mais elevada as primeiras fases ocorrem de maneira semelhante à descrita acima, mas o estado de equilíbrio entre o consumo de oxigênio e a respiração celular é ultrapassado e pode não ser alcançado antes que o indivíduo entre em fadiga (WASSERMAN, 1988).

Portanto, pode existir um valor de potência máxima, no qual ainda se estabelece o equilíbrio entre as trocas gasosas que ocorrem no pulmão e os processos energéticos celulares. Esse valor de potência é uma fronteira entre dois padrões que ocorrem no esforço físico. E identificá-lo pode ser útil para a classificação das intensidades de exercício.

Além da análise da cinética do $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$, ainda se pode medir no exercício de carga constante a pressão parcial de oxigênio no final da expiração ($P_{et}O_2$). Em repouso, é de aproximadamente 90mmHg e diminui transitoriamente logo após o início do exercício. A $P_{et}O_2$ se mantém estável durante o esforço físico e aumenta de 10 a 30 mmHg para exercício acima do limiar de anaerobiose ventilatório devido à acidose metabólica induzida pela hiperventilação, ou seja, a $P_{et}O_2$ permanece em relativa estabilidade na proximidade do limiar de anaerobiose ventilatório (WASSERMAN, 1999).

Já o valor da pressão parcial de CO₂ (PetCO₂), ao nível do mar, varia de 36mmHg a 42mmHg. Este valor eleva-se de 3 mmHg a 8 mmHg durante exercício em degrau, leve a moderado (dependendo do padrão respiratório do indivíduo) e decresce com exercícios intensos. Esse decréscimo na PetCO₂ também ocorre acima do limiar de anaerobiose ventilatório (WASSERMAN, 1999).

Uma outra variável cardiorrespiratória de extrema importância ao estudo da resposta humana ao exercício físico é a frequência cardíaca. Ela está sob o controle do sistema nervoso autonômico simpático e parassimpático (GALLO JR, et al., 1995; MACIEL, et al., 1986; ROWELL, 1986).

Quando o indivíduo é submetido ao exercício descontínuos em degraus, pode-se observar o comportamento da frequência cardíaca. Nos primeiros 10 a 20 segundos depois de iniciado o exercício, o aumento da frequência cardíaca se deve quase que exclusivamente a uma inibição do tônus parassimpático atuante sobre o nódulo sinusal, o que caracteriza o componente rápido da elevação da frequência cardíaca. Com a continuação do exercício, acima de um certo nível de potência, a frequência cardíaca continua aumentando, porém além do componente inicial rápido, surge um componente bem mais lento, evidenciado a partir do primeiro minuto do exercício, devido a um aumento da estimulação simpática sobre o nódulo sinusal (GALLO JR, et al., 1995; MACIEL, et al., 1986; ROBINSON, et al., 1966).

A contribuição dos componentes simpáticos e parassimpáticos na taquicardia induzida pelo exercício dinâmico tem uma relação direta com a intensidade de potência aplicada no esforço. Assim, em níveis de exercício menos intenso, a contribuição simpática parece ser mínima, no entanto, durante o período de esforço mais intenso, a ativação do sistema simpático adquire um importante papel na

regulação da taquicardia induzida pelo exercício dinâmico (GALLO JR, et al., 1995; MACIEL, et al., 1986).

Todos os processos acima mencionados são efetuados pela ativação dos sistemas respiratório, cardiovascular, sangüíneo (hemoglobina) e músculos em atividade contrátil, sempre sob o controle hierarquizado do sistema nervoso central (ROWELL, 1986).

Por isso, o sistema nervoso autônomo representa um importante papel no mecanismo de controle neural durante a realização de exercício físico, ocorrendo um aumento da atividade do sistema nervoso simpático e uma diminuição da atuação do sistema nervoso parassimpático. O mecanismo neural central ativa o córtex motor e paralelamente as áreas de controle cardiovascular na medula, funcionando como uma alimentação positiva. Já o mecanismo periférico, estimulado pela contração muscular esquelética, ativa reflexamente o mesmo centro cardiovascular na medula, servindo como mecanismo de retroalimentação. Esses mecanismos farão um importante papel de controle na regulação da resposta cardiovascular ao exercício (MITCHELL, 1990).

A literatura mostra amplas evidências no sentido de que o sistema nervoso central controla, tanto o recrutamento de novas unidades motoras como a modulação da frequência de despolarização das unidades motoras já ativadas, objetivando manter uma força desejada e efetiva durante a manutenção do exercício físico (BASMAJIAN; DE LUCA, 1985; LAGALLY, et al., 2002).

Durante o exercício dinâmico, há uma ligação entre a magnitude motora central eferente (alimentação positiva), tanto para recrutamento das unidades motoras quanto para frequência de disparo necessária para manter um dado nível de tensão muscular. Então, se houver aumento na solicitação do recrutamento de unidades

motoras e frequência de disparo, através de estímulos como incremento de potência, o comando central de alimentação positiva do córtex motor também deve aumentar. A eletromiografia (EMG) proporciona a determinação neuromotora da magnitude do comando motor central de alimentação positiva (LAGALLY, et al., 2002). Essa associação entre o recrutamento de unidades motoras captadas pela EMG e a atuação do comando central através dos mecanismos de retroalimentação e alimentação positiva pode inferir numa correlação entre os dados periféricos captados pela eletromiografia e mecanismos centrais de ajuste ao esforço físico.

Com isso, existem trabalhos que referem que a eletromiografia tem sido utilizada como um método eficiente na estimativa não invasiva do limiar de anaerobiose, pela análise destes sinais que refletem o recrutamento das unidades motoras e a frequência de disparos, em testes incrementais (MATEIKA; DUFFIN, 1994; MORITANI; YOSHITAKE, 1998; VIITASALO, et al., 1985). Outros autores têm sugerido que as maiores contribuições do recrutamento das unidades motoras podem ocorrer a níveis de força muscular relativamente baixos, enquanto a contribuição no aumento da frequência de disparos de unidades motoras torna-se mais importante em níveis de forças maiores (DE LUCA; ERIM, 1994; DE LUCA, et al., 1982).

Além do mecanismo acima referido, alguns autores tentam relacionar a atividade eletromiográfica ao consumo de oxigênio e à intensidade de potência em exercícios de carga constante (ARNAUD, et al., 1997; JAMMES, CAQUELARD, BADIÉ, 1998). Consideram a relação entre $\dot{V}O_2$ e intensidade de trabalho linear com elevação em torno de $10\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{W}^{-1}$ para potências consistentes com o estado de equilíbrio na demanda de oxigênio (WASSERMAN, 1999). Em altas intensidades uma demanda adicional de oxigênio é

requerida, isso significa que mais oxigênio é usado que o predito pela relação acima citada; esse fenômeno pode ser devido a um elevado recrutamento das unidades motoras musculares e ser evidenciado pela eletromiografia (BEARDEN; MOFFATT, 2001).

Pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de associar as alterações no limiar de anaerobiose ventilatório a outras variáveis fisiológicas, tais como frequência cardíaca e sinal eletromiográfico (MARÃES, 2004; SAKABE, 2004). Há evidências que essa associação leva a repercussões orgânicas variáveis, principalmente quando se distingue os tipos de protocolos e as intensidades de exercício.

Pode-se constatar que a caracterização do protocolo contínuo em rampa, por um aumento na taxa de estímulo constante em $W \cdot \text{min}^{-1}$, fornece todas as informações necessárias a uma avaliação, pelo menos do ponto de vista teórico. Porém o protocolo em degrau fornece informações adicionais sobre os sistemas fisiológicos estudados que é de alto grau de complexidade (WASSERMAN, 1999).

Por exemplo, o protocolo contínuo em rampa é a forma usual para se observar a transição aerobiose-anaerobiose, contudo existem critérios para sua interrupção (FLETCHER, et al., 2001) e nesse sentido a homeostase entre as variáveis envolvidas não é alcançada.

Por outro lado, se a duração do teste for suficientemente longa e a intensidade constante, como no teste descontínuo em degrau, essa homeostase pode ser alcançada, ou até mesmo a informação de que a homeostase não pode ser alcançada é de extrema importância na elucidação das vias e mecanismos resultantes das variáveis medidas. Isso justificaria a realização desse tipo de experimento, no sentido de averiguar a estabilidade das respostas cardiorrespiratórias e eletromiográficas, na proximidade do LAV.

Diante deste contexto, o exercício físico vem sendo utilizado pelos profissionais da área de saúde, entre eles o fisioterapeuta, interessados na compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos e nas ferramentas utilizadas para a aplicação do exercício físico na saúde ou na doença. Conseqüentemente a investigação dos protocolos de avaliação e treinamento físico se torna necessária assim como a implementação de novas técnicas, principalmente as técnicas não-invasivas, para auxiliar numa melhor avaliação e prescrição do exercício físico.

O intuito deste trabalho foi propor uma análise das variáveis cardiorrespiratórias e eletromiográfica no exercício físico dinâmico descontínuo em degrau, nos níveis próximos ao limiar de anaerbiose ventilatório e avançar, na compreensão dos mecanismos de ajuste do organismo a imposição de trabalho, uma vez que esse tipo de protocolo se assemelha ao treinamento realizado pelos indivíduos.

Assim, esta pesquisa teve por objetivo:

1. Identificar o limiar de anaerbiose ventilatório, através de um protocolo de exercício físico dinâmico contínuo em rampa com medidas dos gases respiratórios, a partir da determinação visual gráfica.
2. Aplicar ferramentas matemáticas e estatísticas que permitam estudar os padrões das respostas cardiorrespiratórias e eletromiográficas durante o exercício físico dinâmico descontínuo em degrau em intensidades próximas ao limiar de anaerbiose ventilatório.
3. Comparar o grau de correlação entre o limiar de anaerbiose ventilatório e outros eventuais marcadores da transição aerbiose-anaerbiose, em exercício físico dinâmico descontínuo em degrau com cargas constantes versus contínuo em rampa.

CASUÍSTICA E MÉTODOS

2.1 Aspectos éticos

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos com parecer número 047/03 (Apêndice A).

Os voluntários foram informados e esclarecidos a respeito dos objetivos e sobre os procedimentos experimentais a serem utilizados neste projeto, explicando o caráter não invasivo dos testes de esforço físico dinâmico a que seriam submetidos, bem como os riscos e benefícios existentes. No caso de aceitação plena, eles assinariam um termo de consentimento pós-informados da participação no estudo (Apêndice B) de acordo com as normas do Conselho Nacional de Saúde (196/96).

2.2 Casuística

Foram estudados 8 voluntários do sexo masculino, com idade entre 20 e 30 anos com $22,75 \pm 2,25$ anos de idade; $79,33 \pm 10,22$ kg de peso; $1,82 \pm 0,05$ m de estatura em média e desvio padrão (tabela 1), saudáveis. Todos eram universitários e realizavam aproximadamente 3 horas semanais de atividade física predominantemente aeróbia. Foram classificados pela avaliação do teste ergoespirométrico, como ativos ($\dot{V}O_2$ pico médio de $41,47 \text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), segundo a classificação da American Heart Association (1972).

Como critério de inclusão, os voluntários não deveriam ser fumantes, nem etilistas; sem história prévia de quaisquer anormalidades do sistema cardiovascular, respiratório ou músculo-esquelético que contra-indicasse a participação nesta pesquisa.

2.3 Avaliação clínica

Os voluntários foram submetidos a uma avaliação que constava de:

2.3.1 Avaliação fisioterapêutica

Anamnese: na qual o voluntário foi questionado sobre seus dados pessoais, hábitos de vida e alimentar, antecedentes familiares, história atual e pregressa de patologias;

Exame físico: que constou de avaliação das estruturas articulares, musculares, da amplitude de movimento articular, testes musculares manuais, coleta de dados antropométricos, ausculta pulmonar, mensuração da frequência cardíaca e da pressão arterial;

2.3.2 Avaliação laboratorial

Exames laboratoriais: hemograma (eritrograma, leucograma e plaquetas), glicemia de jejum, lipidograma completo (colesterol total e frações, triglicérides), urina (características gerais, elementos anormais e microscopia de sedimento), uréia ácido úrico e creatinina sérica. Os resultados estão expressos na tabela IX do apêndice C

2.3.3 Avaliação médica

Eletrocardiograma (ECG) convencional de 12 derivações na posição supina e nas derivações MC5, DII e V2 modificadas nas seguintes condições: repouso nas posições supina e sentada e em hiperventilação.

Teste ergométrico clínico para avaliação da capacidade funcional e possíveis alterações isquêmicas dos voluntários (Apêndice D)

Toda avaliação foi realizada para assegurar as condições de saúde dos voluntários e diagnosticar possíveis alterações que contra-indicassem a participação na pesquisa. Os pesquisadores e os médicos envolvidos nas avaliações estavam aptos à realização de atendimento de urgência caso fosse necessário, assim como, o laboratório possuía equipamentos adequados para esse tipo de conduta.

2.4 Local de realização do estudo

Os testes foram realizados no Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico - NUPEF do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos.

2.5 Procedimentos gerais

Os protocolos experimentais foram sempre realizados no período vespertino, levando-se em consideração as influências do ritmo circadiano.

Foram dadas algumas recomendações pré-teste para os voluntários seguirem, como: evitar a ingestão de bebidas alcoólicas e estimulantes (café, energéticos e outros) que pudessem influenciar as variáveis cardiovasculares e respiratórias, não praticar atividade física como corridas, caminhadas longas nas 24 horas que antecederesse o teste, realizar refeições leves, não utilizar medicamentos, ter uma noite tranquila de sono, comparecer com roupas confortáveis e tênis para realização do teste. Os protocolos I e II foram realizados com um período mínimo entre eles de 7 dias.

As condições ambientais da sala de experimento foram controladas artificialmente e mantidas com temperatura variando de 22 a 24°C e umidade relativa do ar variando de 40 a 60% e pressão barométrica em torno de 698 mmHg.

As medidas de umidade relativa do ar e temperatura foram registradas no termohigrômetro (Hygrometer Thermo Clock – Templec) e controladas pelo aparelho de ar condicionado (Mini Split – Tempstar). Para verificação da pressão barométrica foi utilizado o barômetro de Torricelli.

A organização da sala de experimento e calibração dos equipamentos foram feitas pelos pesquisadores, cerca de 1 hora antes da chegada dos voluntários.

Com objetivo de reduzir a ansiedade e expectativa dos voluntários aos equipamentos, pesquisadores e protocolo experimental, todos foram familiarizados, antes da realização dos testes. Com o mesmo propósito, o trânsito de pessoas no laboratório foi mantido no mínimo durante a realização dos experimentos.

Após chegar ao laboratório, o voluntário foi preparado para o experimento com tricotomia, higienização e abrasão da pele com álcool para colocação dos eletrodos. E também foi realizada a sua adaptação ao ambiente experimental.

Os voluntários foram orientados para que durante a execução dos testes na bicicleta ergométrica de frenagem eletromagnética (CORIVAL 400, Quinton, Groningen, Holanda), mantivessem a cadência em 60 rotações por minuto (rpm), não realizassem contrações isométricas com os membros superiores ao segurar o guidão, não falassem com os pesquisadores, porém informassem, por meio de comandos previamente combinados, sobre qualquer alteração no seu estado geral que pudesse impossibilitar a continuidade dos testes.

2.6 Procedimento experimental

2.6.1 Monitorização cardíaca

O protocolo experimental foi constituído de duas etapas, durante as quais os voluntários foram monitorizados na derivação eletrocardiográfica MC5 utilizando 3 eletrodos dispostos da seguinte maneira: o eletrodo negativo posicionado no manúbrio, eletrodo positivo no quinto espaço intercostal em direção à linha axilar anterior esquerda e o eletrodo de referência no quinto espaço intercostal direito. A disposição dos eletrodos podia ser deslocada para garantir uma melhor visualização e captação do sinal no monitor cardíaco (TC 500 Ecafix, São Paulo,SP), bem como processamento do mesmo. Os eletrodos utilizados para captação do ECG foram de carbono ativado, auto-adesivos e descartáveis (Carbocone, Versatec MFG Inc – EUA).

Os intervalos R-R e a frequência cardíaca batimento a batimento foram captados através de uma *interface* entre o monitor cardíaco e um microcomputador. O sinal analógico foi digitalizado através de um conversor analógico/digital de 8 canais Lab-PC+ (National Instruments,CO.) e então processado por um *software* específico para captação do ECG e cálculos dos intervalos R-R (SILVA, et al., 1994) Na ilustração da figura 1, observa-se que o voluntário apresenta ritmo sinusal. Isso foi observado em todos os voluntários estudados.

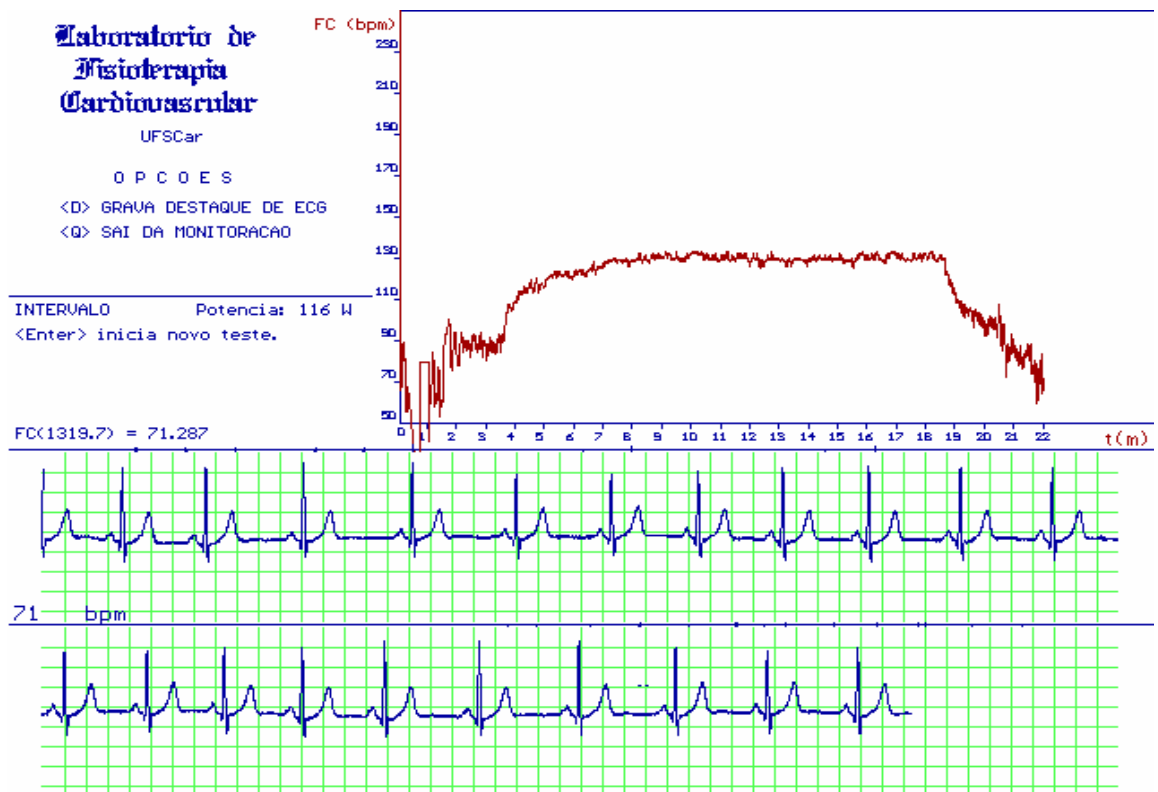


Figura 1: Ilustração da tela de aquisição de dados do eletrocardiograma e da frequência cardíaca, batimento a batimento, obtida a partir dos intervalos R-R de um dos voluntários estudados (4) durante o teste em degrau descontínuo correspondente a 30% acima do limiar de anaerbiose ventilatório.

2.6.2 Monitorização mioelétrica

O registro da atividade muscular foi realizado por eletromiografia de superfície, com eletromiógrafo computadorizado (Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda - São Paulo – Brasil) e programa de aquisição de sinais (AqDados 5). O equipamento é composto por um módulo condicionador de sinais de 16 canais independentes analógicos (MC5 1000 V2) que possui um filtro passa banda de 20 a 500Hz e uma placa

conversora analógica digital (CAD12/32) com resolução de 12 bits com amplificador que permite integrar o uso de microcomputador.

A frequência de amostragem dos sinais foi de 2000Hz e a faixa de amplitude do sinal foi ajustada para $\pm 5000\mu V$ para o músculo vasto lateral e eletrocardiograma.

Foram utilizados eletrodos duplos passivos (Noraxon-EUA) prata/cloreto de prata, diâmetro de 1cm e distância inter-eletrodos de 2cm de centro a centro, acoplados a terminais específicos de um dispositivo diferencial ativo adaptado, que era responsável pela diferenciação dos pólos positivo e negativo do eletrodo.

O pré-amplificador localizava-se a uma distância de cerca de 10cm dos eletrodos, por se tratar de um dispositivo adaptado ao exercício físico dinâmico. O sinal foi amplificado 20 vezes no pré-amplificador dos eletrodos e 50 vezes no canal do módulo, totalizando um ganho de 1000.

O músculo escolhido para captação do sinal eletromiográfico foi o vasto lateral por ser um músculo ativo no movimento de extensão da perna e de localização acessível para colocação dos eletrodos, por isso é citado com grande frequência em estudos (JAMMES, CAQUELARD, BADIER, 1998; TAKAISHI, YASUDA, MORITANI, 1994).

O eletrodo foi fixado a 2/3 da linha entre a espinha ilíaca antero-superior e a borda lateral da patela, na direção das fibras musculares no ventre do vasto lateral do membro dominante (figura 2). O eletrodo de referência da eletromiografia foi fixada no cotovelo (sobre o olecrano direito) com o propósito de eliminar eventuais interferências (HERMENS, et al., 2000).

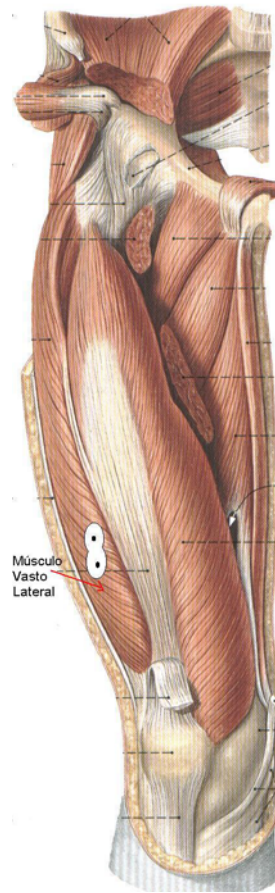


Figura 2: Ilustração do local de posicionamento dos eletrodos para registro do sinal eletromiográfico do músculo vasto lateral direito, a 2/3 da linha entre a espinha ilíaca antero-superior e a borda lateral da patela, na direção das fibras musculares no ventre do vasto lateral.

Os sinais eletromiográficos foram registrados continuamente por todo o experimento. E posteriormente foi realizada uma análise qualitativa, para verificar a presença de possíveis interferências no sinal (figura 3) e processamento que fornecia os valores de RMS a partir de uma rotina específica desenvolvida, utilizando o *software* MatLab 5.20.

Os valores de RMS foram obtidos após serem selecionados os sinais acima de $40\mu\text{V}$, para que fosse retirado da análise o potencial de repouso da membrana, que

está entre 9 e 15 μ V. Já para a análise do espectro de potência foram escolhidos 1.024 pontos, o que possibilitava uma melhor análise dos dados (KAMEN; CALDWELL, 1996). Ainda foram feitos janelamentos dos trechos a serem analisados com sobreposição dos dados de 50%. A figura 4 ilustra o sinal mioelétrico coletado destacando-se os trechos de contração muscular (A) e de relaxamento (B).

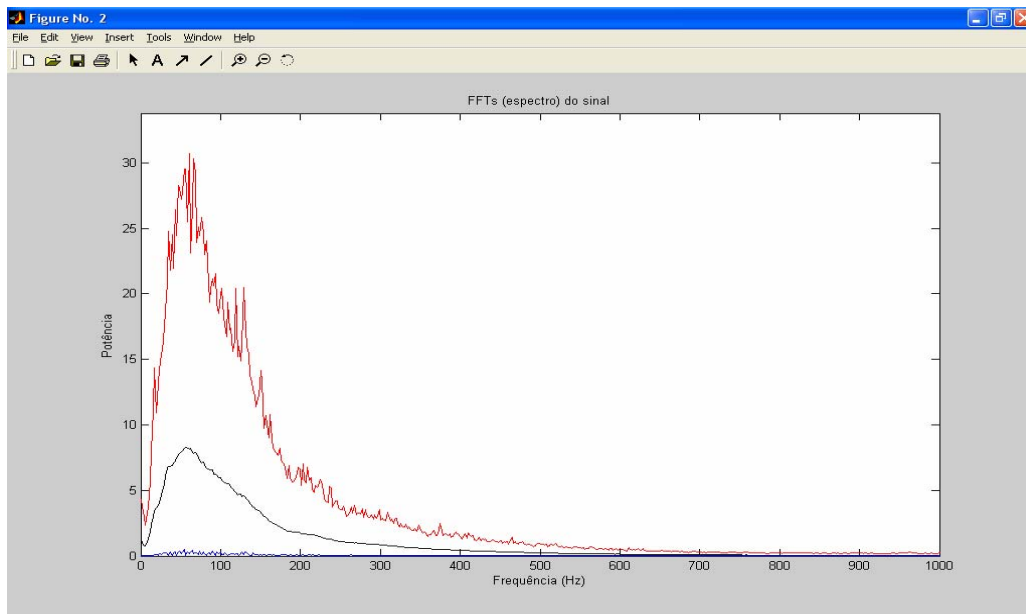


Figura 3: Espectro de potência do sinal eletromiográfico coletado durante a realização de exercício físico dinâmico na potência de 136W (degrau 3), de um dos voluntários estudados (6). Este tipo de análise foi utilizado como controle de qualidade para observar a existência de interferência nas frequências de 60Hz e suas harmônicas.

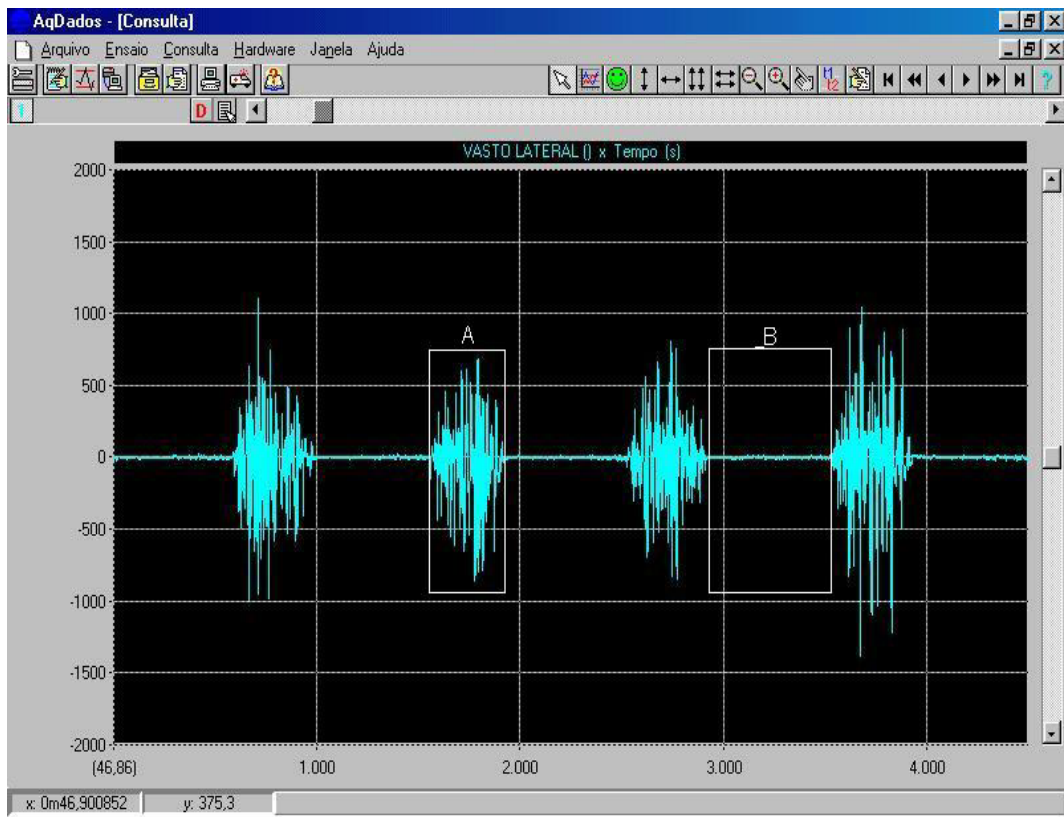


Figura 4: Representação do sinal de eletromiografia de superfície correspondente à contração (A) e ao relaxamento (B), obtidos de um dos voluntários estudados (4).

2.6.3 Monitorização ventilatória

As variáveis e os parâmetros metabólicos e ventilatórios foram coletados pelo sistema ergoespirométrico (CPX/D, MedGraphics, St. Paul, MN, EUA). Utilizou-se o *software Breeze Suite 5.3.007*, para captação dos dados respiração a respiração, armazenamento e processamento das variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas.

O volume corrente foi obtido por um pneumotacógrafo de Pitot conectado ao sistema CPX/D e acoplado a uma peça bucal com coletor de saliva. Foi usado um

suporte adaptativo para auxiliar a manutenção da peça bucal e a oclusão nasal foi feita por uma pinça específica. A análise do consumo de oxigênio foi feita por um eletrodo de zircônio e a produção de dióxido de carbono por um sensor infravermelho (figura 5).

O ergoespirômetro dispõe de um *software* que coletou o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) e ventilação ($\dot{V}E$ em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) respiração-a-respiração. Foram calculados e armazenados também os valores de pressão parcial final de oxigênio ($P_{\text{et}}O_2$) e dióxido de carbono ($P_{\text{et}}CO_2$), o volume corrente (VC), frequência respiratória (respirações por minuto), frequência cardíaca (bpm), dados do equivalente ventilatório de oxigênio ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$), equivalente ventilatório de dióxido de carbono ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) e a razão de trocas respiratórias (RER). Ainda durante todo o teste também foram visualizados os valores de potência (W) controlada pelo sistema CPX/D, cadência em rpm do cicloergômetro (figura 6).

O *software* também possibilitou a representação gráfica das variáveis coletadas em função do tempo de experimento em médias móveis de 8 ciclos respiratórios (com valores das médias móveis se deslocando de ciclo em ciclo). Esse recurso possibilitou a melhor visualização do comportamento dessas variáveis, principalmente para determinação do limiar de anaerobiose (figura 7).



Figura 5: Aparato bucal utilizado pelo voluntário para coleta das variáveis ventilatórias e metabólicas durante os experimentos.

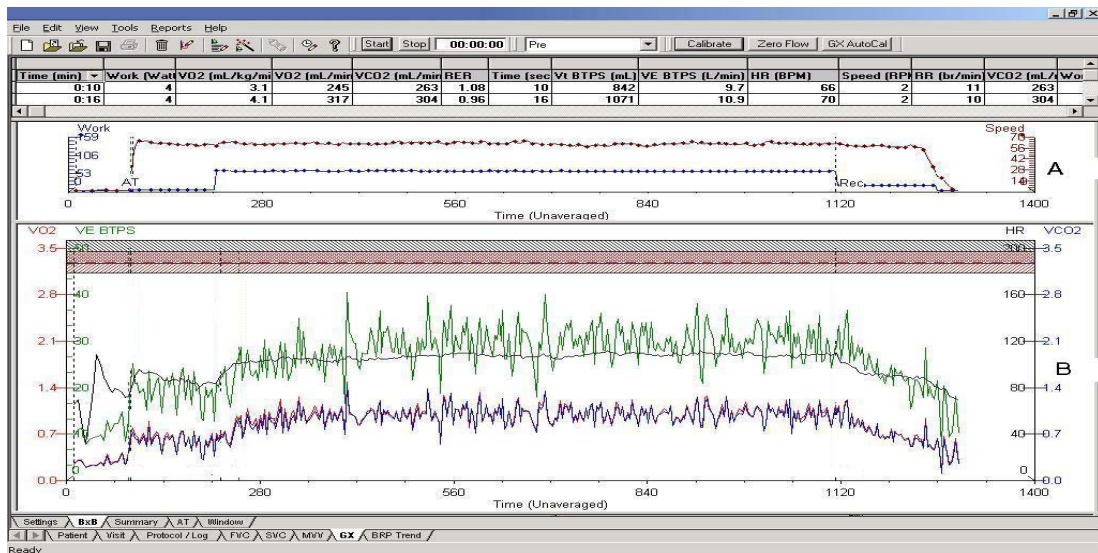
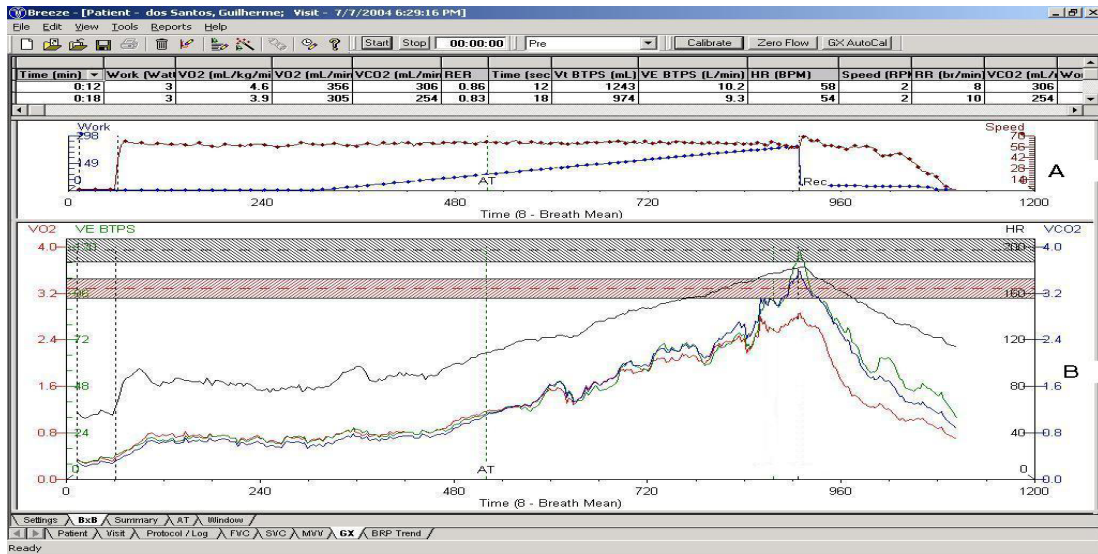


Figura 6: Padrão de resposta das variáveis cardiorrespiratórias ao teste contínuo em rampa (em médias móveis de 8 ciclos respiratórios) e ao teste descontinuo em degrau (respiração-a-respiração) de um dos voluntários estudados (4). No painel A em azul o incremento de potência e em vinho a rotação da bicicleta. No painel B as curvas das variáveis analisadas, sendo: consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em $l \cdot \text{min}^{-1}$ em vermelho, da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) em $l \cdot \text{min}^{-1}$ em azul, da ventilação ($\dot{V}E$) em $l \cdot \text{min}^{-1}$ em verde, e da FC (bpm) em preto.

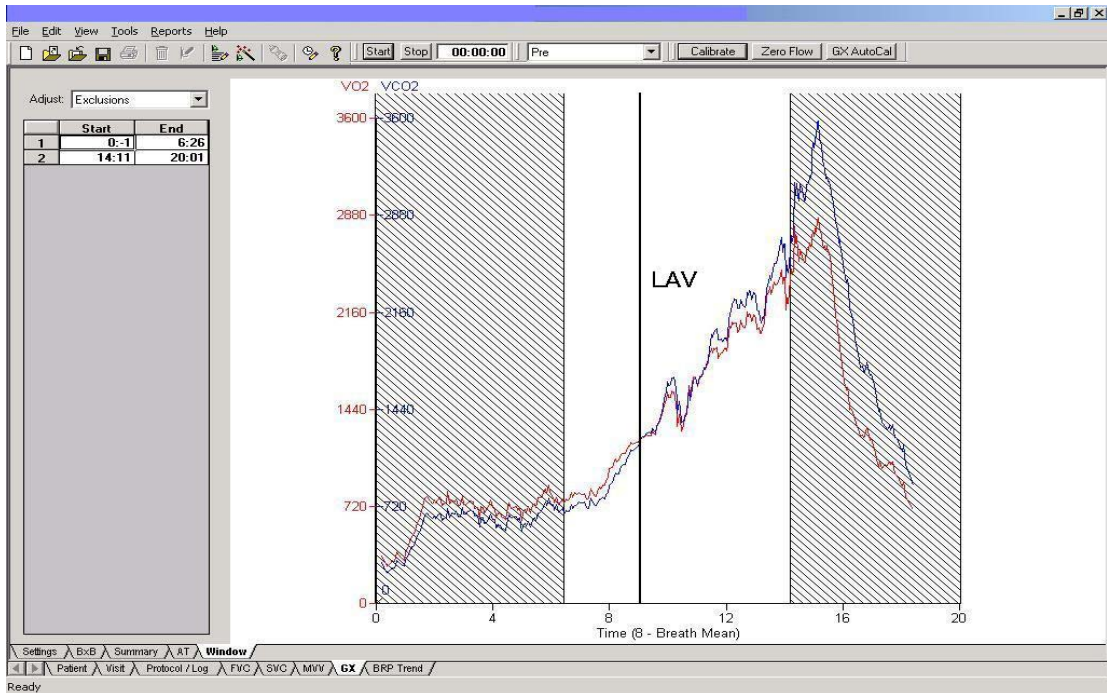


Figura 7: Ilustração da tela do sistema ergoespirométrico de um teste contínuo em rampa, na qual foi determinado o limiar de anaerobiose ventilatório. A representação gráfica dos dados estão em médias móveis de 8 ciclos respiratórios e podemos observar: a curva do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em vermelho e a curva da produção de gás carbônico ($\dot{V}CO_2$) em azul. A área hachurada corresponde ao trecho desprezado para a análise visual.

2.7 Seqüência de realização dos testes

As etapas experimentais realizadas pelos voluntários foram:

Protocolo I: Teste de exercício físico dinâmico contínuo do tipo rampa.

Protocolo II: Teste de exercício físico dinâmico descontínuo do tipo degrau.

2.8 Protocolo I: Teste de exercício físico dinâmico contínuo do tipo rampa

Esta etapa foi realizada com o objetivo de avaliar a capacidade aeróbia dos voluntários a partir de medidas ventilatórias e metabólicas, identificando o limiar de anaerbiose ventilatório bem como o $\dot{V}O_2$ no pico do esforço.

Este teste foi realizado na bicicleta ergométrica, com coleta dos dados durante 1 minuto em repouso, com o voluntário devidamente posicionado na bicicleta, seguido de aquecimento com potência de 4W por 4 minutos e posterior incremento de potência, baseado na fórmula proposta por Wasserman et al. (1999) (equação 1) até que o voluntário apresentasse exaustão física ou sinais e sintomas limitantes e/ou atingisse a frequência cardíaca máxima estimada para a idade: $FC\ máx = 220 - idade$. A recuperação ativa foi realizada na potência de 20 W por dois minutos (figura 8).

$\text{Incremento de potência (W)} = \frac{[(\text{altura} - \text{idade}) \times N] - [150 + (6 \times \text{peso corporal})]}{100}$ <p>Onde: N = 14 para mulheres e 20 para homens Altura em cm; idade em anos; peso corporal em kg</p>	(Equação 1)
--	-------------

Neste estudo todos os voluntários realizaram o protocolo I com incremento de potência entre 20 e 25W.min⁻¹, controlado pelo sistema de medidas de variáveis ventilatórias e metabólicas CPX/D.

A frequência cardíaca foi registrada batimento a batimento, desde o 1º minuto anterior ao início do exercício físico, durante todo o teste e no 1º minuto após o fim da recuperação ativa. As variáveis ventilatórias e metabólicas, assim como a frequência cardíaca, foram mensuradas durante todo o experimento, respiração a

respiração e a pressão arterial foi registrada antes do início do teste e no pico de esforço.

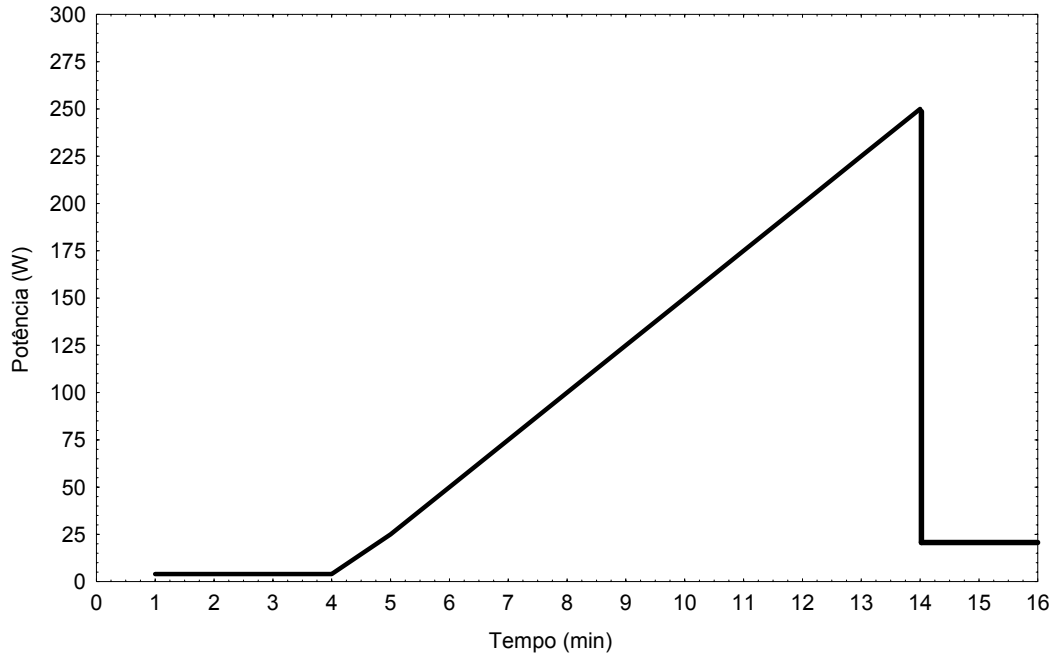


Figura 8: Representação esquemática do teste contínuo em rampa (protocolo I) com aquecimento durante 4 minutos a 4 W e posterior incremento de potência, que nos voluntários estudados variavam entre 20 e 25W.min⁻¹ e recuperação ativa durante 2 minutos na potência de 20W.

2.9 Protocolo II: Teste de exercício físico dinâmico descontínuo do tipo degrau

A realização deste protocolo teve por objetivo analisar a resposta das variáveis ventilatórias e metabólicas, da frequência cardíaca e da atividade muscular durante degraus descontínuos e verificar o comportamento dessas variáveis em potências constantes próximas ao limiar de anaerobiose e na transição do mesmo.

Pesquisas anteriores realizadas no nosso laboratório têm mostrado que o comportamento das variáveis cardiorrespiratórias nos testes descontínuos em degraus com variação de potência de 10 em 10W ou 5 em 5W quando comparadas ao teste contínuo em rampa, foram similares quando se diminuía 20 a 25% da potência encontrado no teste contínuo em rampa, tendo por base a intensidade do limiar de anaerobiose ventilatório (KAIZER, et al., 2003; MARÃES, 2004).

No presente trabalho, os valores de potência em cada degrau foram calculados a partir da potência estimada no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV), identificado no protocolo I. Assim o teste foi realizado em 3 potências:

Degrau 1: na potência estimada para o limiar de anaerobiose ventilatório decrescida de trinta por cento;

Degrau 2: na potência equivalente ao limiar de anaerobiose ventilatório;

Degrau 3: na potência estimada para o limiar de anaerobiose ventilatório acrescida de trinta por cento.

O protocolo II iniciou-se com um aquecimento de 2 minutos na potência de 4W, um degrau de 15 minutos na potência pré-estabelecida e 2 minutos de recuperação ativa na potência de 20W, interposto por um período variável de repouso até que a frequência cardíaca retornasse a valores próximos da condição inicial pré-esforço ou um tempo mínimo de 15 minutos caso a frequência cardíaca do voluntário voltasse aos valores basais antes desse período, só então, o próximo degrau foi iniciado. A ordem de realização dos degraus foi sempre do menor valor de potência para o maior (figura 9).

A frequência cardíaca foi registrada batimento a batimento, desde o minuto anterior ao início do esforço físico, durante todo o teste até o 1º minuto após a recuperação ativa. As variáveis ventilatórias e metabólicas foram mensuradas durante todo o experimento, respiração a respiração, e a eletromiografia também foi captada desde o período de repouso pré-teste até a recuperação.

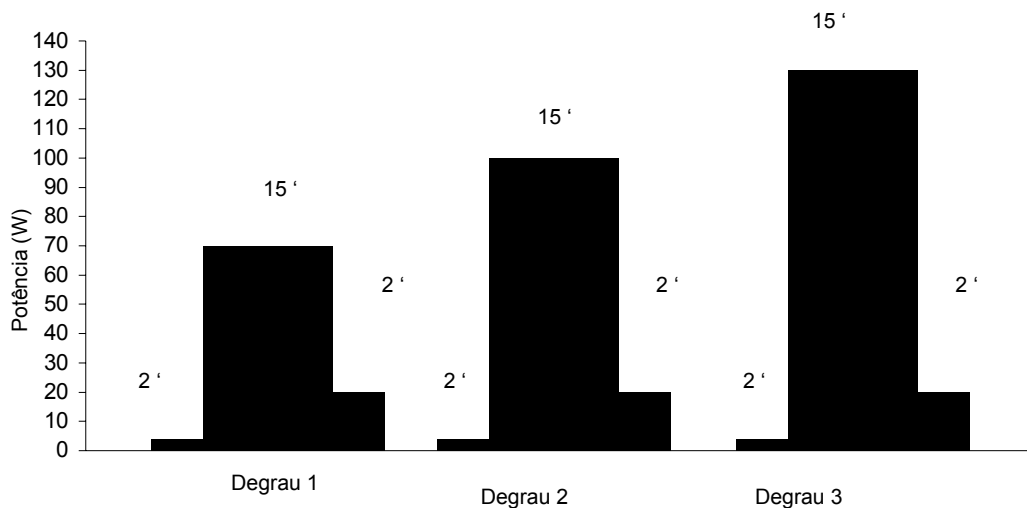


Figura 9: Representação esquemática do teste em degrau (protocolo II) com aquecimento de 2 minutos em 4W no início de cada degrau e desaquecimento na potência de 20W após cada degrau.

2.10 Sincronismo do sinal no protocolo II

Como o desenho experimental do protocolo II dependia da utilização de três sistemas computacionais independentes, foi necessário idealizar um sincronismo entre esses computadores para que os trechos de análise escolhidos fossem similares em relação ao tempo, com objetivo de melhor avaliar as respostas do voluntário ao exercício físico através da frequência cardíaca, eletromiografia e variáveis ventilatórias e metabólicas.

A variável em comum aos três sistemas foi a frequência cardíaca, ou seja, o sinal eletrocardiográfico foi captado pelo *software* da eletromiografia, do ergoespirômetro e pelo analisador dos intervalos R-R, que recebiam essas informações do mesmo monitor cardíaco conectado ao voluntário.

Diante desse aparato, o voluntário foi devidamente posicionado, os três computadores foram acionados com o registro do monitor da frequência cardíaca na derivação MC5. Após 20 segundos do início do registro, o sinal de linha de base ou linha isométrica foi dado por 20 segundos, seguido do pulso de calibração, com valor conhecido de 80 pulsos por minuto. Esse sinal de calibração, que funcionava como um marcador de eventos, ou seja, um sinalizador comum aos três sistemas, foi mantido por cerca de 20 segundos para ser registrado pelos computadores e após esse intervalo voltava-se o monitor cardíaco para registro da derivação MC5. Esse procedimento foi realizado sempre pelo mesmo experimentador. Simultaneamente o outro pesquisador sinalizava o tempo de início do evento, ou seja, registrava quando o pulso de calibração foi disparado, através de um marcador de eventos existente no *software* do ergoespirômetro.

Com a utilização do pulso de calibração como marcador de eventos foi feito o ajuste no tempo inicial dos três sistemas, utilizando como referência o registro do segundo pulso de calibração da seguinte forma:

- No programa de aquisição do eletrocardiograma e da frequência cardíaca, foi feita a leitura da distância entre os intervalos R-R, sendo que o primeiro valor foi desprezado (referente à distância entre a linha isométrica e o primeiro pulso de calibração) e foi selecionado o trecho a partir do valor de frequência cardíaca de 80 pulsos por minuto (referente à distância entre o primeiro e segundo pulso de calibração).

- Já para os dados da eletromiografia de superfície, o eletromiógrafo captou simultaneamente o sinal mioelétrico e eletrocardiográfico e armazenou em disco. Posteriormente, no *software* AqDados 5 foi possível a visualização dos sinais e seleção do trecho de análise a partir do segundo pulso de calibração.

- E por último, o trecho do ergoespirômetro foi selecionado, levando em consideração que o sistema CPX/D utiliza a medida da frequência cardíaca coletada a cada respiração, ocorrendo, como consequência, um atraso na visualização do sinal, que variava em torno de 15 segundos para o registro do valor de frequência cardíaca referente ao pulso de calibração. Então, foi acionado o marcador de eventos do *software* do ergoespirômetro, e esse sinalizador foi utilizado como referência para a seleção do trecho a ser analisado. Em todos os experimentos o sincronismo foi realizado com base no cronômetro do ergoespirômetro.

2.11 Métodos de análise dos dados

2.11.1 Determinação do consumo de oxigênio pico ($\dot{V}O_{2\text{pico}}$) e consumo de oxigênio no limiar de anaerobiose ventilatório ($\dot{V}O_{2\text{LAV}}$)

O cálculo do consumo de oxigênio máximo ou pico é a primeira medida a ser examinada por ter como objetivo estabelecer se as respostas fisiológicas atingiram a função aeróbia máxima. Por outro lado, o consumo de oxigênio no limiar de anaerobiose ventilatório se torna uma medida importante, pois estima a capacidade aeróbia do voluntário sem submetê-lo a um esforço máximo (WASSERMAN, 1999).

Neste trabalho foi utilizado o valor do consumo de oxigênio pico e do consumo de oxigênio no limiar de anaerobiose ventilatório, coletados no teste contínuo em rampa. Para a classificação aeróbia funcional dos indivíduos foi utilizado o maior

valor do consumo de oxigênio encontrado no pico do exercício, porém, também foi realizado o cálculo das variáveis respiratórias a partir de uma função desenvolvida no sistema de análise de dados *S-plus* (versão 2000 *Professional Release 1*).

A função ajustava os dados do consumo de oxigênio pico e na potência referente ao limiar de anaerobiose ventilatório por um modelo linear. Dos dados no pico de exercício, foram utilizados para a análise os 21 últimos valores, ou seja, foi levado em consideração o valor pico mais os 20 valores que o antecederam. Já para análise do consumo de oxigênio no LAV, foram considerados os 10 valores anteriores e os 10 valores posteriores ao momento do limiar de anaerobiose ventilatório obtido pela análise visual gráfica, totalizando 21 valores também.

2.11.2 Análise visual gráfica

A análise visual gráfica para a determinação do limiar de anaerobiose foi realizada por 3 pesquisadores do Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico – NUPEF da UFSCar. Anteriormente à análise dos dados, os pesquisadores foram familiarizados com o sistema ergoespirométrico, o *software* em que foram realizados os protocolos experimentais e a análise gráfica dos dados.

Os critérios para determinação visual gráfica do limiar de anaerobiose ventilatório, assim como o padrão de qualidade aceito nos experimentos, foram discutidos e uniformizados para os 3 observadores.

Independentemente, foi realizada a análise dos gráficos no visor de um monitor de 15 polegadas (Samsung SyncMaster 550V) do computador, com o observador em frente ao monitor, de modo a reduzir ao mínimo o erro de paralaxe. Esta forma de análise foi escolhida por permitir melhor precisão ao ponto correspondente ao limiar

de anaerobiose ventilatório, no traçado das variáveis observadas quando comparadas à análise gráfica realizada em papel impresso.

Como controle qualitativo do experimento foi observado graficamente se:

- A velocidade de rotação foi constante,
- Houve a ocorrência de artefatos que pudesse estar prejudicando a determinação do limiar de anaerobiose ventilatório,
- O voluntário atingiu o estado de equilíbrio na fase de aquecimento,
- O início da resposta da frequência cardíaca e variáveis ventilatórias coincidiu com o início da rampa,
- As variáveis ventilatórias mostraram comportamento linear no início da rampa.

A partir dessa análise, o observador concluía se a qualidade do teste foi satisfatória para o prosseguimento na determinação do limiar de anaerobiose ventilatório.

A análise qualitativa, fundamentada nas recomendações de Wasserman (1999), foi iniciada com a seleção do trecho a ser analisado, feita pelos 3 observadores independentemente, na qual se observou o início das respostas das variáveis ventilatórias ao incremento de potência até o ponto de compensação respiratória. Caso o voluntário não atingisse essa condição, seriam considerados os valores do pico do teste contínuo em rampa. Ao se confrontar o tempo determinado pelos observadores, caso não houvesse coincidência entre os valores, mas se esses fossem próximos com variação de até um minuto, uma média seria feita e adotada como trecho de análise. Se essa variação fosse maior, um quarto observador seria chamado para analisar os dados, porém, em nenhum caso esse recurso precisou ser utilizado.

Esse rigor, na escolha do trecho a ser observado, é de fundamental importância para a acurácia da análise, tendo em vista que a determinação do limiar de anaerobiose ventilatório está relacionada às alterações nos padrões de resposta das variáveis analisadas e não a eventos que ocorrem devido a outros mecanismos de compensação metabólicos, próximos ao ponto de compensação respiratória.

Em seguida o limiar de anaerobiose foi determinado segundo os critérios: da perda de paralelismo entre o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ e as respostas da relação $\dot{V}E/\dot{V}O_2$, do coeficiente metabólico ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$) e do comportamento do $P_{et}O_2$ em relação ao tempo de esforço físico dos voluntários. E desses critérios, a perda do paralelismo entre o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$.

Os valores encontrados pelos 3 observadores foram então confrontados e, caso houvesse concordância entre eles, seriam aceitos como o limiar de anaerobiose ventilatório. Caso não fossem concordantes, mas houvesse uma variação de até 1 minuto nos tempos encontrados, seria feita a média desses valores. Se o intervalo de tempo fosse maior que 1 minuto, um quarto observador seria chamado para compor o grupo, o que não foi necessário em nenhum dos casos analisados.

2.12 Metodologia de análise realizada no protocolo II

2.12.1 Modelo matemático e estatístico semiparamétrico

O modelo semiparamétrico é um modelo matemático e estatístico, composto por componente paramétrico e não-paramétrico em relação à mesma variável, o qual propõe a separação dos componentes da série em questão, no caso as variáveis cardiorrespiratórias e o RMS da eletromiografia, obtidos durante o exercício físico, em duas partes: a primeira apresentando tendências lineares em relação ao modelo

ajustado, com configuração paramétrica correspondente aos resíduos da série; e a segunda parte com configuração não-paramétrica.

Na primeira parte do modelo se obtém a classificação das respostas em crescente, estável ou decrescente, ou seja, em um intervalo analisado, a inclinação será estável até que exista uma probabilidade infinitesimal de ser considerada crescente ou decrescente. No nosso caso considerou-se o valor desse nível de significância de 10^{-16} , que é o menor valor que o algoritmo e o processamento computacional calculam esta probabilidade.

Dessa forma, uma resposta será considerada estável até que exista uma possibilidade de classificá-la como crescente, caso o sinal do coeficiente for positivo, ou decrescente, se o sinal do coeficiente for negativo. Com isso, a região que é considerada estável será aumentada de forma considerável (figura 10 e 11).

Além disso, a utilização de $\alpha = 10^{-16}$ como critério de estabilidade dos dados possibilitou que uma variação em torno de 5 bpm para frequência cardíaca fosse considerada estável. Já para $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ esse valor foi de $100\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e para o sinal mioelétrico a variação foi em torno de $18\ \mu\text{V}$.

2.13 Apresentação dos dados e análise estatística

Os dados referentes à comparação dos protocolos I e II foram representados graficamente por *Box-plot* (mediana, 1º e 3º quartis, e valores extremos) e utilizado o intervalo de confiança da mediana com nível de significância de $\alpha = 5\%$. A não-transvariação dos intervalos, nas situações apresentadas nos *Box-plots*, significa que existe diferença estatisticamente significativa entre os dados comparados.

Já para análise da estabilidade do protocolo II, os dados dos degraus foram representados sob a forma de tabela de contingência. Esse tipo de tabela lista o

número de contagens para o conjunto de ocorrências em três níveis, um nível para cada uma das três categorias de variáveis. O nível de uma das variáveis categóricas corresponde à coluna da tabela e o nível da outra variável categórica corresponde às linhas da tabela (S-PLUS, 2000).

Ainda quanto à análise das variáveis no protocolo II, os trechos selecionados correspondem aos intervalos entre o terceiro e o nono minuto do degrau e entre o nono e décimo quinto minuto do mesmo degrau. Também foi realizada a análise descritiva desses resultados e os demais dados estão apresentados em média e desvio padrão (DP). Foi aplicado também o teste de correlação de Spearman.

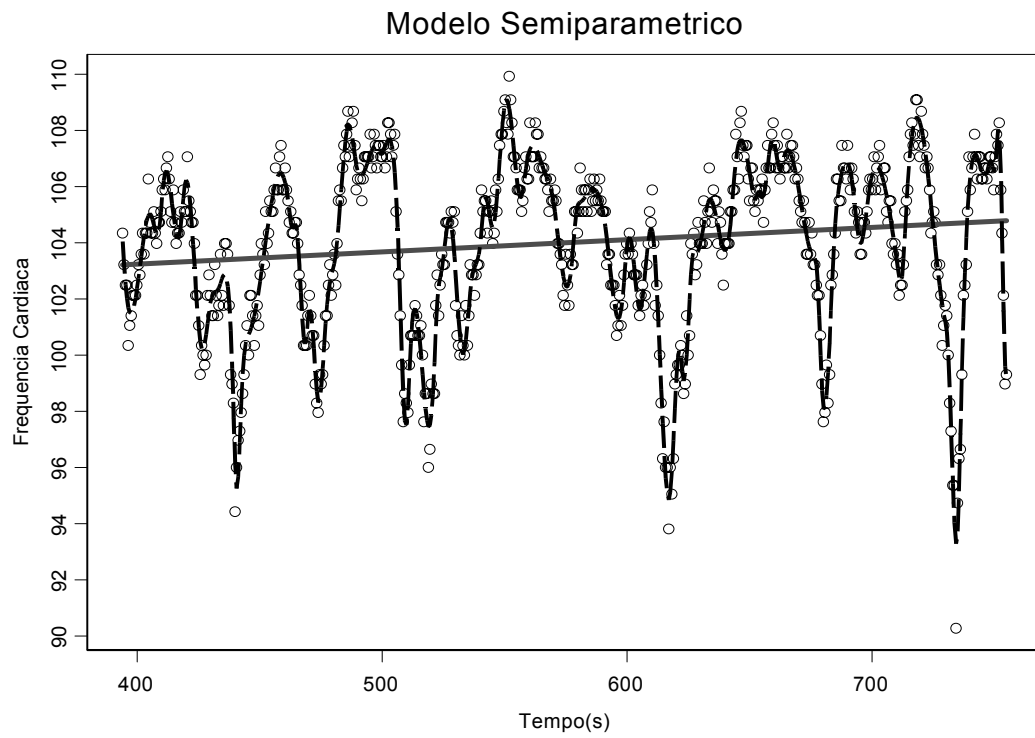


Figura 10: Ajuste do modelo matemático e estatístico semiparamétrico ao conjunto de dados de frequência cardíaca no período de 3 a 9 minutos do degrau 2 do protocolo II realizado por um dos voluntários estudados (7).

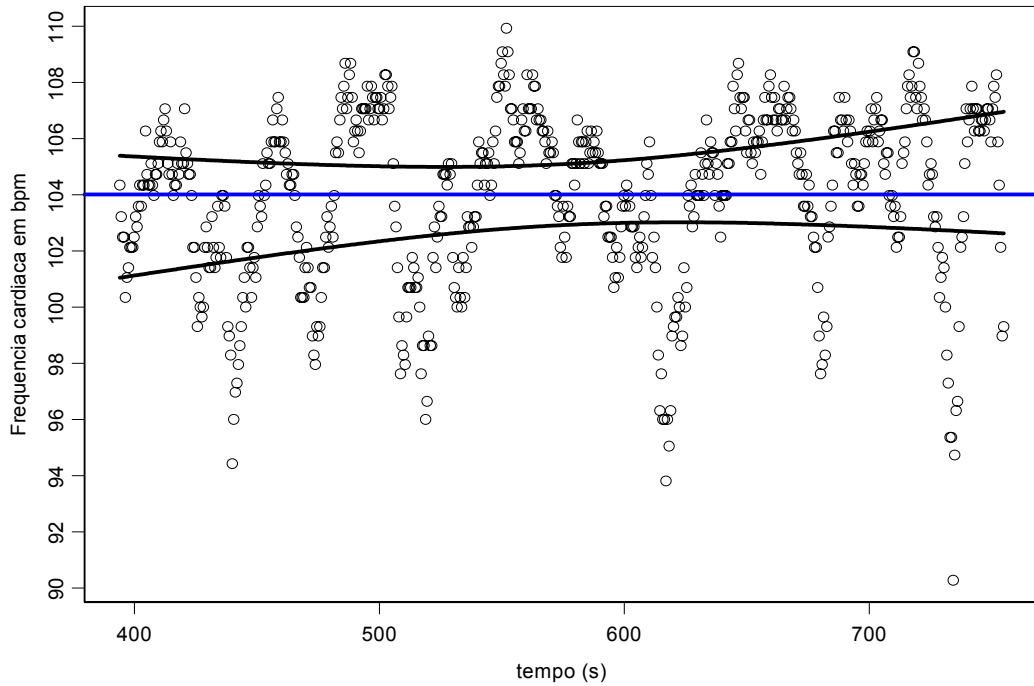


Figura 11: Ajuste do intervalo de confiança ao mesmo conjunto de dados de frequência cardíaca da figura 10, no período de 3 a 9 minutos do degrau 2 do protocolo II, realizado por um dos voluntários estudados (7). Na linha azul, temos uma reta representativa do valor médio da frequência cardíaca e nas linhas pretas temos o intervalo de confiança para os dados analisados.

RESULTADOS

3.1 Casuística

Estão apresentados na tabela I, os dados referentes à idade em anos e as características antropométricas como peso em quilograma (kg), estatura em metros (m) e índice de massa corporal (IMC) em kg/m².

Tabela I: Idade e características antropométricas dos voluntários estudados (n=8).

Valores apresentados em média, desvio padrão (DP) e em mediana.

Voluntário	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	IMC (kg/m ²)
1	24	69,5	1,77	22,18
2	22	65,2	1,79	20,35
3	27	85,7	1,83	25,59
4	23	78,6	1,81	23,99
5	21	93	1,93	24,97
6	24	71	1,76	22,92
7	21	80,6	1,85	23,55
8	20	91	1,85	26,59
média	22,75	79,33	1,82	23,77
DP	2,25	10,22	0,05	2,0
mediana	22,50	79,60	1,82	23,77

Os voluntários estudados apresentavam valores de exames laboratoriais e das variáveis cardiorrespiratórias dentro do previsto para sua faixa etária e sexo (tabela IX do Apêndice C). Assim, também, os exames eletrocardiográficos em repouso e durante o teste ergométrico clínico não apresentaram alterações, indicando que os voluntários estudados eram saudáveis e estavam aptos a participar dos protocolos experimentais propostos na presente pesquisa (tabela X do Apêndice D). Com relação às variáveis cardiovasculares basais, foram observados valores médios em repouso de frequência cardíaca de 68 bpm e da pressão arterial sistólica (PAS) e diastólica (PAD) de 120 e 80mmHg, respectivamente.

Na tabela II estão apresentados os dados obtidos do teste ergoespirométrico contínuo em rampa, a saber: potência pico (W), frequência cardíaca pico (bpm), $\dot{V}O_2$

pico relativo e absoluto ($\text{ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ e ml.min^{-1}), $\dot{V}\text{CO}_2$ pico (ml.min^{-1}), $\dot{V}\text{E}$ pico (l.min^{-1}) durante o teste contínuo em rampa. Os valores das intensidades de trabalho identificadas no LAV e as potências estabelecidas para os degraus estão apresentados na tabela XI do Apêndice E.

Os valores de $\dot{V}\text{O}_2$ pico relativo e absoluto ($\text{ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ e ml.min^{-1}), $\dot{V}\text{CO}_2$ pico (ml.min^{-1}), $\dot{V}\text{E}$ pico (l.min^{-1}) contidos na tabela II foram obtidos a partir da aplicação do ajuste linear ao conjunto de dados.

No entanto, a classificação aeróbia funcional dos voluntários foi feita a partir do maior valor de consumo de oxigênio encontrado no protocolo I. Os voluntários realizavam em média 3 horas semanais de atividades predominantemente aeróbia como corrida, voleibol, basquetebol e ciclismo. Foram classificados como ativos, pois alcançaram valores médios de $\dot{V}\text{O}_2$ relativo na potência pico do teste contínuo em rampa de $41,47 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$, compatíveis com a faixa etária de classificação aeróbia “normal” ($\dot{V}\text{O}_2$ pico relativo entre 34 e $42 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$), segundo a *American Heart Association* (1972). Observa-se que os resultados encontrados a partir do maior valor de $\dot{V}\text{O}_2$ no pico do exercício é em média $4,04 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ maior que os valores obtidos a partir do ajuste linear (tabela II). Deve-se ressaltar também que nenhum dos voluntários atingiu o $\dot{V}\text{O}_2$ máximo e foi considerado para as análises o $\dot{V}\text{O}_2$ pico.

Tabela II. Valores da potência (W), frequência cardíaca (FC) em bpm, do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) relativo em $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e absoluto em ml.min^{-1} da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) em ml.min^{-1} , da ventilação ($\dot{V}E$) em l.min^{-1} , obtidos no pico do exercício físico dinâmico contínuo em rampa. Valores apresentados em média, desvio padrão (DP) e em mediana (n=8).

Voluntário	Potência (W)	FC pico (bpm)	$\dot{V}O_2$ pico ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_2$ pico (ml.min^{-1})	$\dot{V}CO_2$ pico (ml.min^{-1})	$\dot{V}E$ pico (l.min^{-1})
1	244	190	32,87	2291,44	3027,01	90,02
2	205	159	37,24	2435,96	2909,67	92,15
3	296	193	37,26	3246,79	3839,29	119,06
4	242	182	35,08	2776,36	3452,36	109,25
5	275	171	34,57	3234,06	3711,41	100,56
6	291	179	44,52	3138,22	3887,35	111,61
7	292	173	42,73	3447,40	4199,94	120,17
8	295	188	35,18	3249,62	3930,06	103,36
média	267,5	179,37	37,43	2977,48	3619,64	105,77
DP	33,56	11,38	4,11	424,84	454,30	11,32
mediana	283	180,5	36,21	3186,14	3775,35	106,31

3.2 Análise descritiva das variáveis cardiorrespiratórias

3.2.1 Durante o teste de exercício físico dinâmico contínuo do tipo rampa

Na figura 12 está ilustrada a resposta da $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}O_2$ (ml.min^{-1}), $\dot{V}E$ (l.min^{-1}) de um dos voluntários estudados durante a realização do teste contínuo em rampa. Observa-se que a cinética das variáveis respiratórias apresenta comportamento similar, ou seja, ao se iniciar o aquecimento nos primeiros 4 minutos do exercício físico, as variáveis respiratórias respondem com incremento e logo após alcançam o estado de equilíbrio. Um outro ajuste também ocorre ao iniciar a rampa, quando se observa um aumento lento e crescente das variáveis ao incremento de potência imposto pelo protocolo.

3.2.2 Durante o teste de exercício físico dinâmico descontínuo do tipo degrau

Na figura 13 está ilustrada o padrão de resposta da frequência cardíaca, obtida batimento a batimento durante o experimento, de um dos voluntários estudados (4), nas potências realizadas durante o teste descontínuo em degraus, por um período de 1 minutos de repouso pré-exercício, no qual foi identificado o sincronismo, 2 minutos de aquecimento na potência de 4W, 3 degraus com duração de 15 minutos cada e 2 minutos de recuperação em 20W. Observa-se na referida figura que no início do exercício físico (após 1 minuto inicial de repouso), o padrão de resposta da frequência cardíaca é caracterizado por uma elevação rápida. Após este período inicial, ocorre uma redução da frequência cardíaca seguida de uma estabilização, porém ao iniciar os degraus a elevação rápida da frequência cardíaca não se torna perceptível.

Nas figuras 14, 15 e 16 estão apresentadas as respostas do $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em $ml \cdot min^{-1}$ e $\dot{V}E$ em $l \cdot min^{-1}$ de um dos voluntários estudados (4). Observa-se as 3 fases do comportamento destas variáveis abaixo, acima e no degrau referente ao LAV.

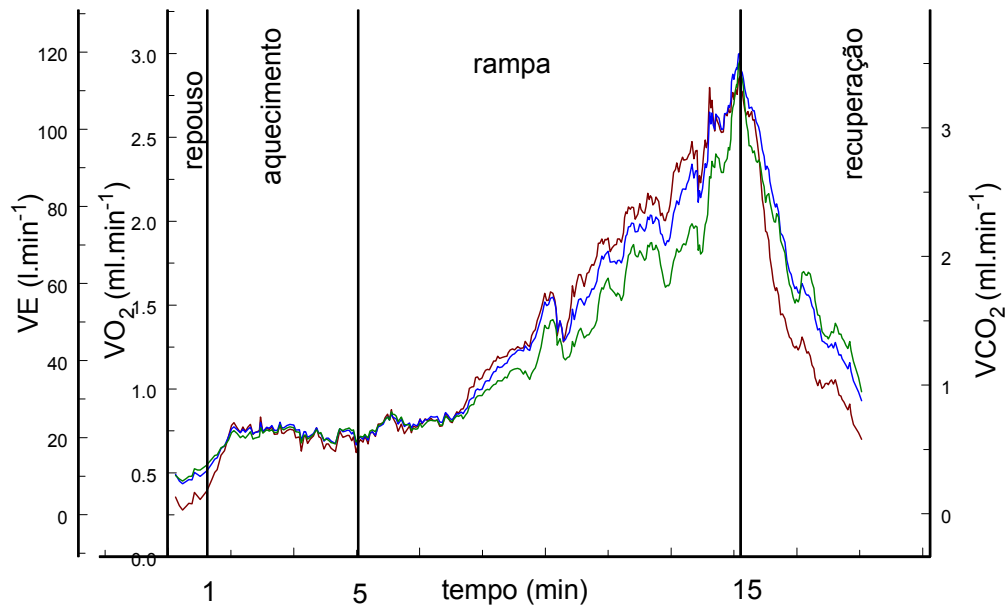


Figura 12: Ilustração das variáveis respiratórias durante um teste contínuo do tipo rampa com 4 minutos de aquecimento em 4W, incremento de potência de 25W.min⁻¹, sendo em verde $\dot{V}E$ em l.min⁻¹, em azul o $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e em vermelho o $\dot{V}O_2$ em ml.min⁻¹ de um dos voluntários estudados (4).

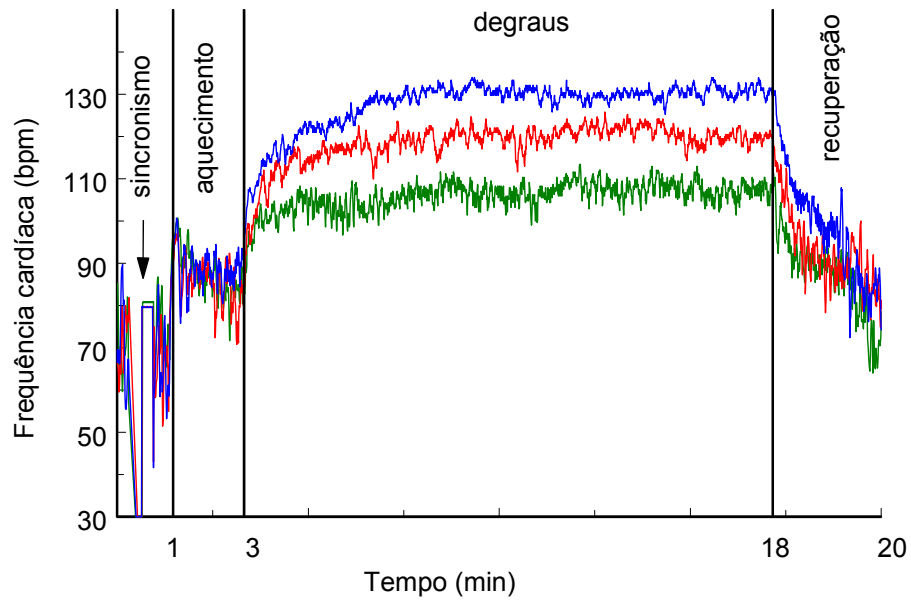


Figura 13: Resposta da frequência cardíaca em bpm, obtida batimento a batimento, no teste descontínuo em degrau, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

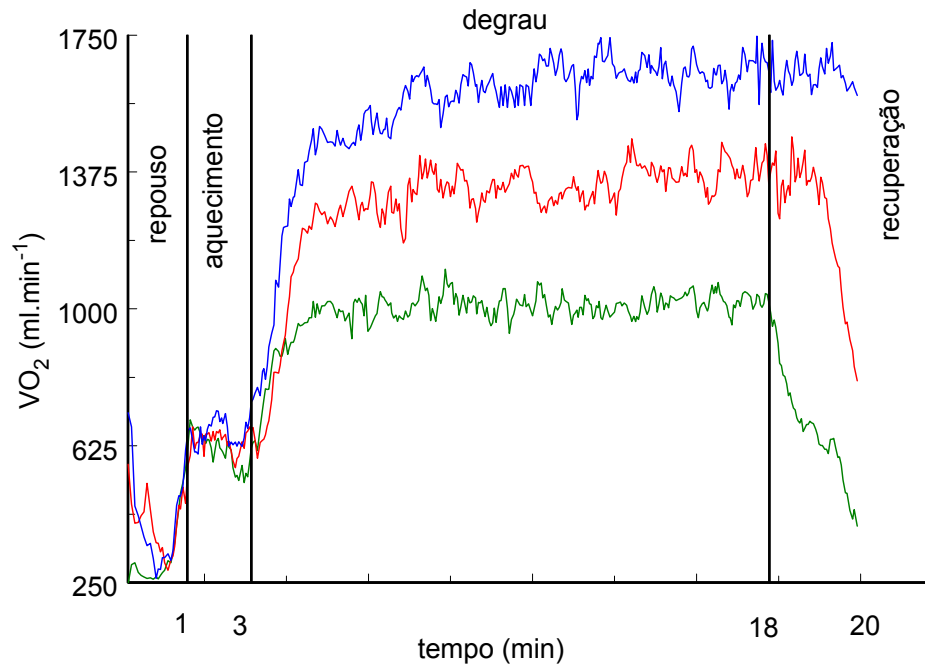


Figura 14: Resposta do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), no teste descontínuo em degrau, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

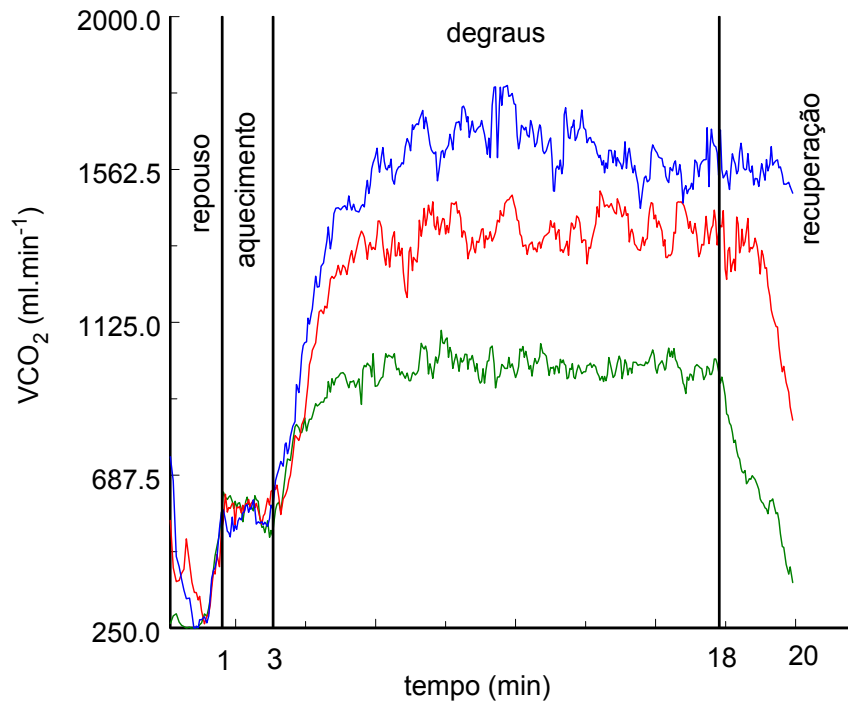


Figura 15: Resposta da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$ em $ml \cdot min^{-1}$), no teste descontínuo em degrau, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

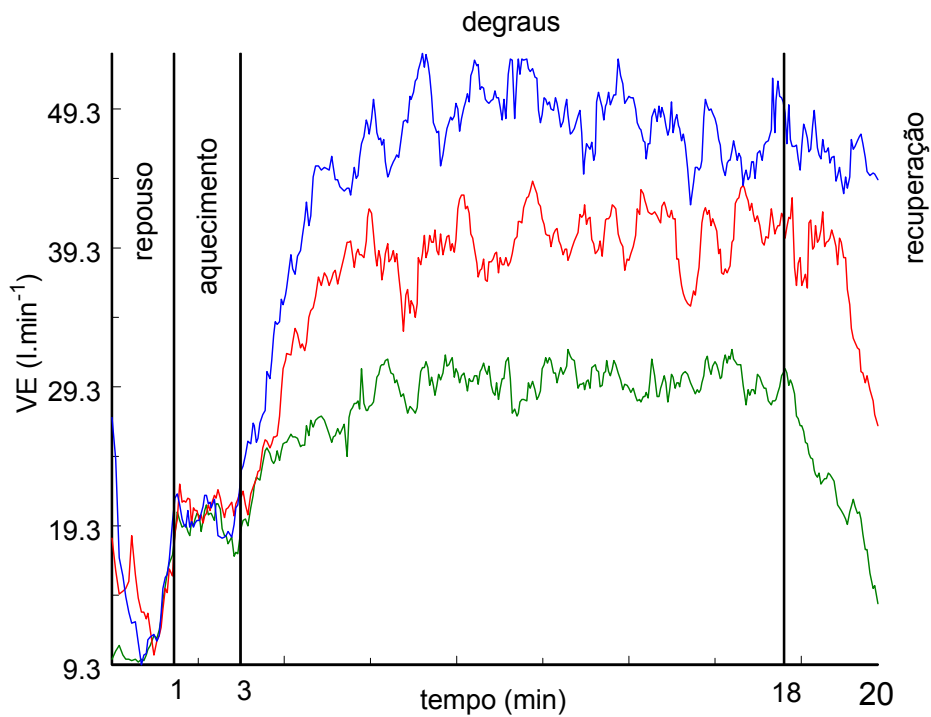


Figura 16: Resposta da ventilação ($\dot{V}E$ em $l \cdot \text{min}^{-1}$), no teste descontínuo em degraus, durante 1 minuto em repouso pré-esforço, 2 minutos em aquecimento, 15 minutos em cada degrau e 2 minutos em recuperação, sendo verde (degrau 1), vermelho (degrau 2) e azul (degrau 3) de um dos voluntários estudados (4).

3.3 Análise comparativa das variáveis cardiorrespiratórias

3.3.1 Análise da frequência cardíaca nos protocolos I e II

Na figura 17 podem-se observar os valores de frequência cardíaca no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV), do teste contínuo em rampa e a frequência cardíaca obtida pela média do 3^o ao 15^o minuto dos degraus realizados. A análise do intervalo de confiança demonstrou que houve diferença estatística somente entre os valores de frequência cardíaca no LAV e no degrau 3, já na análise entre os 3 degraus pode-se observar diferença estatística entre o degrau 1 e os outros dois degraus. Outros fatores que chamam a atenção são que os valores de frequência cardíaca no LAV estão próximos aos valores do degrau 1, também há um aumento nos intervalos interquartis, com maior diferença interquartis no degrau 3.

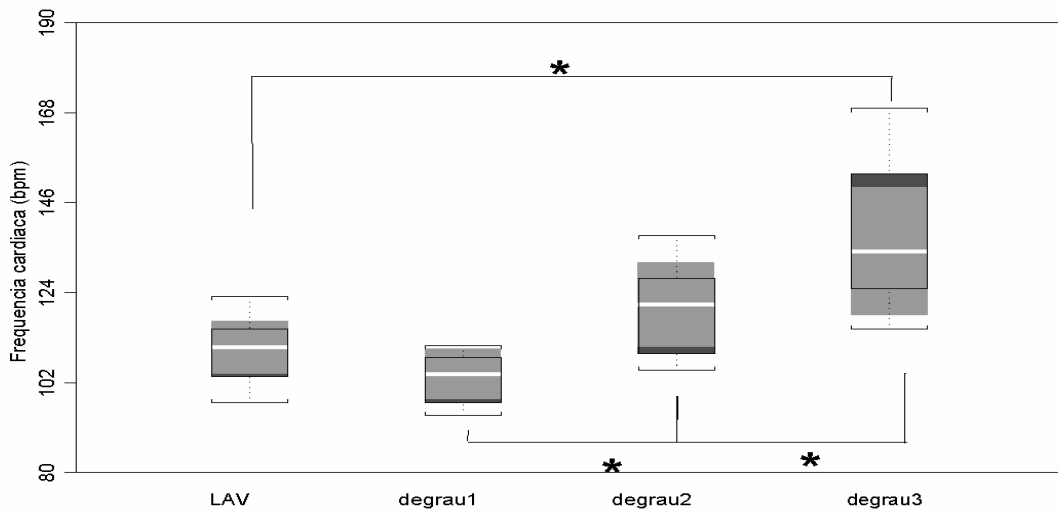


Figura 17: Valores de frequência cardíaca, em bpm, do grupo estudado (n=8), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.

* Nível de significância $\alpha=5\%$.

3.3.2 Análise da produção de gás carbônico ($\dot{V}CO_2$) em $ml.min^{-1}$, consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em $ml.min^{-1}$ e ventilação ($\dot{V}E$) em $l.min^{-1}$.

Na figura 18 estão apresentados os valores da produção de dióxido de carbono no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV), determinados pela análise visual gráfica do teste contínuo em rampa e os valores do $\dot{V}CO_2$ obtidos pela média do 3º ao 15º minuto dos 3 degraus realizados. Foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os 3 degraus estudados, com valores mediano de $\dot{V}CO_2$ no degrau 1 de $1.088 ml.min^{-1}$, no degrau 2 de $1.417ml.min^{-1}$ e no degrau 3 de $1.800ml.min^{-1}$. Além disso, o valor mediano de $\dot{V}CO_2$ no LAV é de $1150ml.min^{-1}$ que é similar ao encontrado no degrau 1. Já quando se observa os degraus em relação ao teste em rampa, pode-se verificar que houve diferença estatística entre o LAV e os degraus 2 e 3.

Na figura 19 observa-se o valor do consumo de oxigênio para o grupo estudado. Assim, como na análise anterior, foi obtida a média do 3º ao 15º minuto do degrau e foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os 3 degraus estudados. No entanto, quando comparamos os valores de $\dot{V}O_2$ no LAV ($1.246,27ml.min^{-1}$) com o degrau 1 ($1143,26ml.min^{-1}$) não foi observado diferença estatística.

A figura 20 mostra a variação do $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ entre os degraus 2 e 1 e entre os degraus 3 e 2 do protocolo II. Pode-se perceber que não houve diferença estatisticamente significante entre os dados e os valores medianos, tanto da variação de $\dot{V}O_2$ quanto da variação de $\dot{V}CO_2$ entre os degraus.

Na figura 21, pode-se verificar que o comportamento da ventilação é análogo ao comportamento do $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}O_2$, com valores medianos de $34 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ no LAV e $32 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ no degrau 1, porém há *outliers* nos 3 degraus realizados.

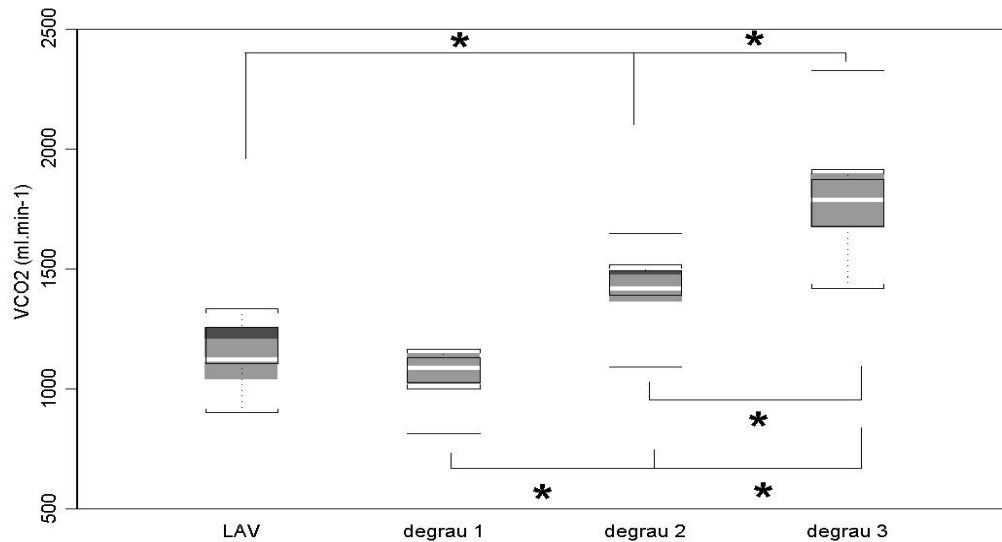


Figura 18: Valores de produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II. * Nível de significância $\alpha=5\%$.

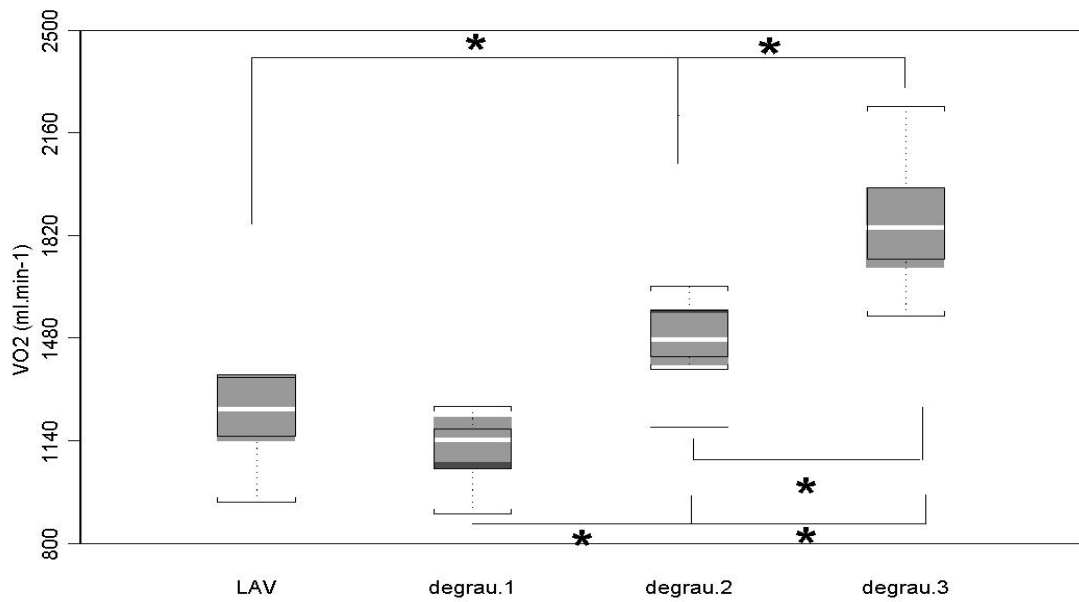


Figura 19: Valores do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$), do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.

* Nível de significância $\alpha=5\%$.

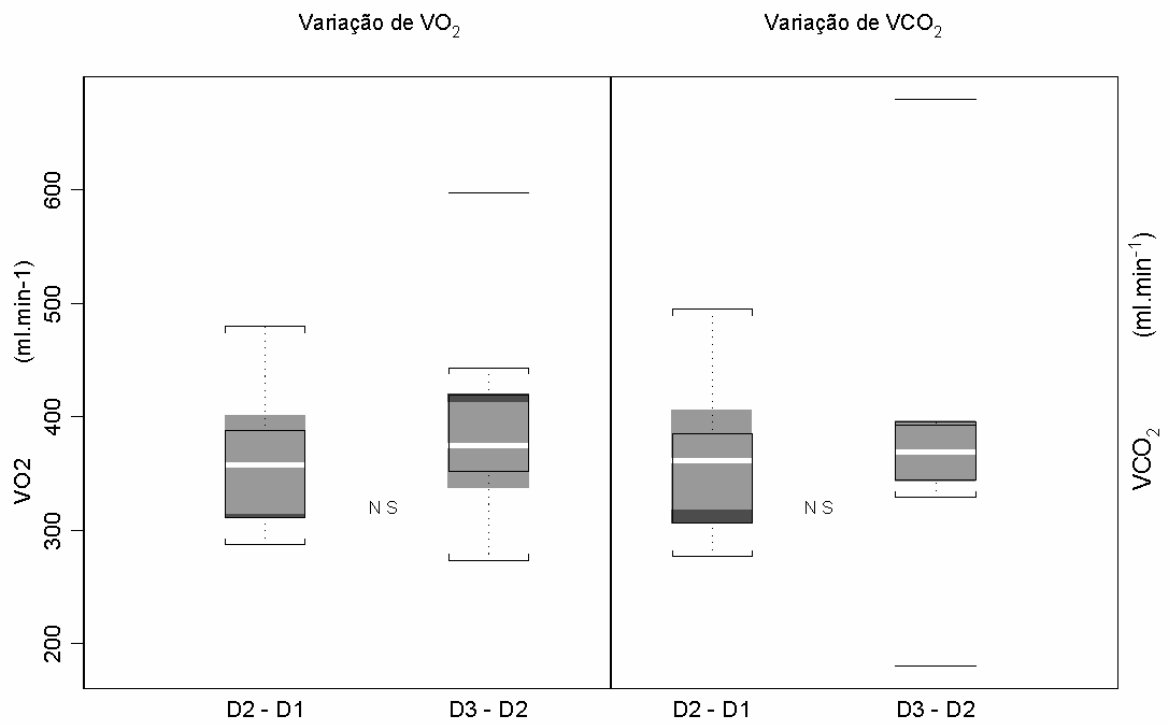


Figura 20: Variação dos valores de consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, direita) e produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, esquerda) entre os degraus 2 e 1 (D2 – D1) e entre os degraus 3 e 2 (D3 – D2), no protocolo II, do grupo estudado (n=8). * Nível de significância $\alpha=5\%$.

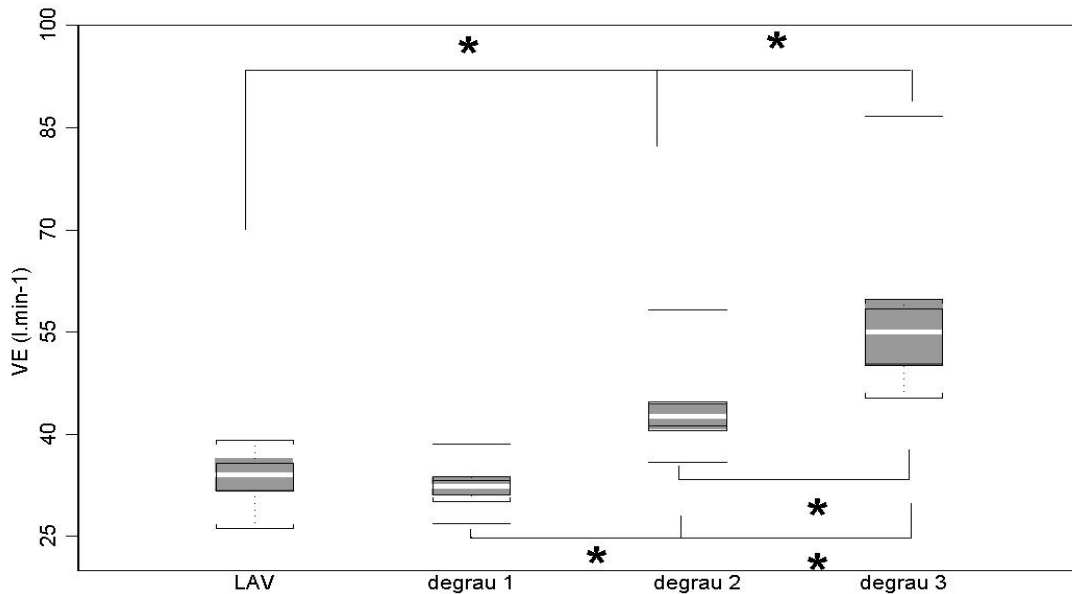


Figura 21: Valores da ventilação $\dot{V}E$ em $l \cdot \text{min}^{-1}$, do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.

* Nível de significância $\alpha=5\%$.

3.3.3 Análise do PetO_2 e PetCO_2 em mmHg nos protocolos I e II

As figuras 22 e 23 mostram o comportamento do PetO_2 e PetCO_2 , respectivamente, nos protocolos realizados, sendo o LAV referente ao limiar de anaerobiose ventilatório do protocolo I e os demais referentes à média do 3º ao 15º minuto dos 3 degraus do protocolo II.

A análise dessas figuras mostram que não houve diferença estatística entre os valores de PetO_2 e PetCO_2 nos dois protocolos realizados, porém, percebe-se que o padrão de comportamento do PetO_2 é crescente, com menores valores medianos no

LAV, enquanto o PetCO_2 se apresenta de forma decrescente com maior valor de mediana no LAV.

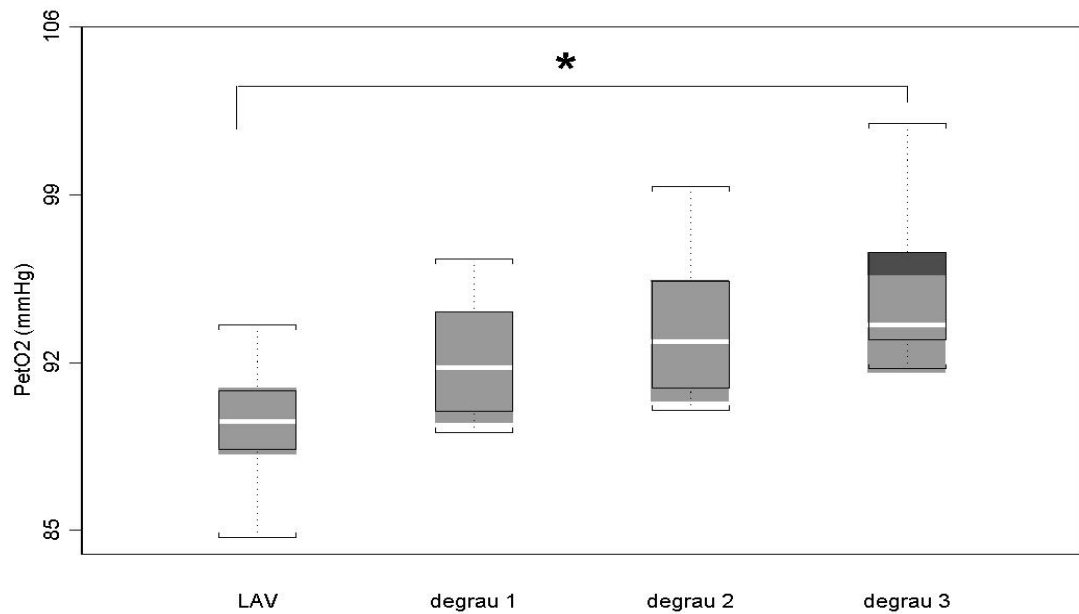


Figura 22: Valores do PetO_2 em mmHg, do grupo estudado ($n=8$), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.* Nível de significância $\alpha=5\%$.

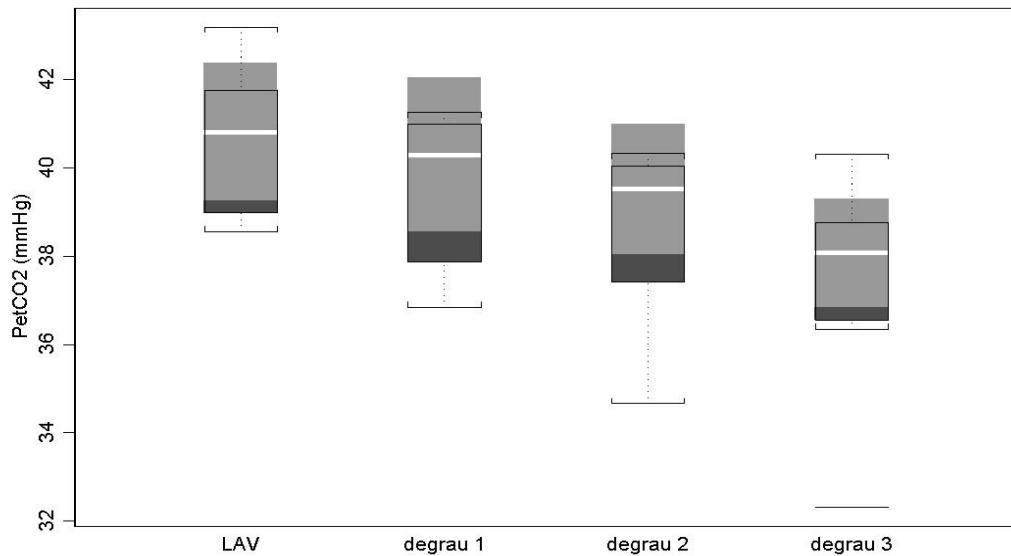


Figura 23: Valores do PetCO₂ em mmHg, do grupo estudado (n=8), durante o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do procedimento experimental I e os degraus 1, 2 e 3 do procedimento experimental II.* Nível de significância $\alpha=5\%$.

3.3.4 Análise do RMS do sinal eletromiográfico em μV no protocolo II

Todos os dados foram processados e certificados quanto à inexistência de interferências que pudessem prejudicar a análise dos mesmos. Então, foram calculados os valores de RMS.

Na figura 24, temos a apresentação dos valores de RMS em μV nos 3 degraus do protocolo II, obtidos pela média do 3^o ao 15^o minuto dos degraus. Pode-se observar um aumento nos valores do RMS do sinal eletromiográfico em

conseqüência do aumento da intensidade de trabalho, porém não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores relativos aos 3 degraus do protocolo.

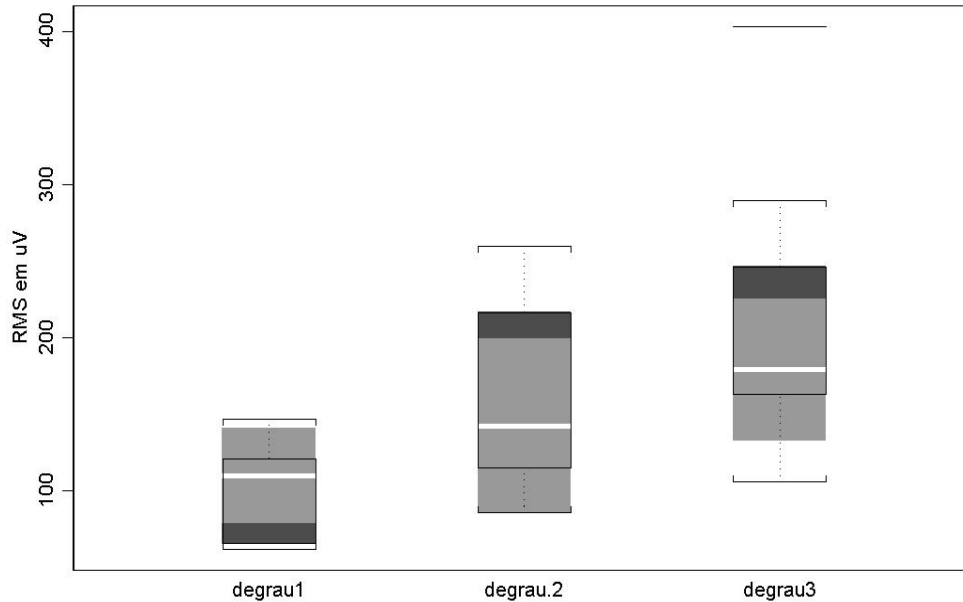


Figura 24: Valores de RMS em μV do sinal mioelétrico nos 3 degraus do protocolo II, do grupo estudado ($n=8$). * Nível de significância $\alpha=5\%$.

3.3.5 Análise da aplicação do modelo semiparamétrico aos dados do protocolo II

Nas tabelas III, IV, V, VI, VII e VIII estão apresentados os resultados da análise do modelo semiparamétrico aplicados aos dados de frequência cardíaca em bpm, $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, $P_{\text{et}O_2}$, $P_{\text{et}CO_2}$ em mmHg, $\dot{V}E$ em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e RMS do sinal eletromiográfico em μV .

A tabela III mostra a análise do 3º ao 9º minuto do degrau 1. Podemos observar que, ao analisar a frequência cardíaca e o PetCO₂, 7 dos 8 voluntários apresentaram um sinal estável. Já os dados de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ de todos os voluntários foram estáveis, porém, no PetO₂ de 3 voluntários verificamos resultados crescentes e 5 estáveis e, por último, o RMS da eletromiografia apresentou 4 voluntários com resultados estáveis, 1 voluntário com resultado crescente e 3 decrescentes.

Ao observar a análise do 3º ao 9º minuto do degrau 2 na tabela IV, podemos verificar que os dados de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ se mantiveram estáveis, o PetO₂ ainda apresentou 5 resultados estáveis e 3 crescentes, o RMS e o PetCO₂ mostraram 4 resultados estáveis e na frequência cardíaca verificamos 5 resultados crescentes e 3 estáveis.

Na tabela V, verificamos que na análise do 3º ao 9º minuto do degrau 3, o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ ainda se mantiveram estáveis na maioria dos voluntários, mesmo sendo esta a intensidade mais alta dos degraus. A frequência cardíaca apresentou uma inclinação positiva, o PetO₂ teve uma distribuição homogênea dos dados entre crescente e estável e o PetCO₂ com 7 dos voluntários apresentando valores decrescentes.

Os resultados da tabela VI evidenciam a estabilidade dos sinais na análise do 9º ao 15º minuto do degrau 1, quando encontramos $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ também estáveis em todos os voluntários e os dados de frequência cardíaca, PetO₂, PetCO₂ e RMS com 7 resultados estáveis.

Já a tabela VII exhibe a estabilidade unânime nos dados de $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, PetO₂, no trecho do 9º ao 15º minuto do degrau 2. Apesar da predominância nos dados de frequência cardíaca e PetCO₂ ser de valores estáveis, há uma tendência da

freqüência à ascensão e o PetCO₂ a inclinação negativa em 3 dos voluntários. E o RMS da eletromiografia também apresenta a distribuição dos seus resultados entre estáveis em 5 voluntários e crescente em 3.

Na tabela VIII de contingência, referente ao trecho do 9° ao 15° do degrau 3, podemos perceber que o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ ainda se mantêm estáveis. A freqüência cardíaca também se mantém estável em 5 dos voluntários enquanto o PetCO₂, PetO₂ e RMS apresentam valores que variam de crescente a decrescente. É importante salientar que ao realizar o teste de correlação de Spearman entre os valores do coeficiente angular da freqüência e do PetCO₂, no terceiro degrau, obtivemos um valor de $r_s = 0.94$.

Tabela IV: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 2, no trecho de 3 a 9 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

		FC					PetCO ₂					PetO ₂					$\dot{V}CO_2$					$\dot{V}O_2$					RMS			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C	
PetCO ₂	D	0	1	3																										
	E	0	2	2																										
	C	0	0	0																										
PetO ₂	D	0	0	0	D	0	0	0																						
	E	0	2	3	E	1	4	0																						
	C	0	1	2	C	3	0	0																						
$\dot{V}CO_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0																		
	E	0	3	5	E	4	4	0	E	0	5	3																		
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0																		
$\dot{V}O_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0						
	E	0	3	5	E	4	4	0	E	0	5	3	E	0	8	0	E	0	8	0	E	0	8	0						
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0						
RMS	D	0	0	2	D	0	2	0	D	0	2	0	D	0	2	0	D	0	2	0	D	0	2	0	D	0	2	0		
	E	0	2	2	E	2	2	0	E	0	3	1	E	0	4	0	E	0	4	0	E	0	4	0	E	0	4	0		
	C	0	1	1	C	2	0	0	C	0	0	2	C	0	2	0	C	0	2	0	C	0	2	0	C	0	2	0		

Tabela V: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 3, no trecho de 3 a 9 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

		FC																			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C		
PetCO ₂	D	0	0	7																	
	E	0	0	1																	
	C	0	0	0																	
		PetCO ₂																			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C		
PetO ₂	D	0	0	0	D	0	0	0													
	E	0	0	4	E	3	1	0													
	C	0	0	4	C	4	0	0													
		PetO ₂																			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C		
$\dot{V}CO_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0									
	E	0	0	8	E	7	1	0	E	0	4	4									
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0									
		$\dot{V}CO_2$																			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C		
$\dot{V}O_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0					
	E	0	0	7	E	6	1	0	E	0	4	3	E	0	7	0					
	C	0	0	1	C	1	0	0	C	0	0	1	C	0	1	0					
		$\dot{V}O_2$																			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C		
RMS	D	0	0	2	D	2	0	0	D	0	1	1	D	0	2	0	D	0	1	1	
	E	0	0	4	E	3	1	0	E	0	2	2	E	0	4	0	E	0	4	0	
	C	0	0	2	C	2	0	0	C	0	1	1	C	0	2	0	C	0	2	0	

Tabela VI: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 1, no trecho de 9 a 15 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

		FC					PetCO ₂					PetO ₂					$\dot{V}CO_2$					$\dot{V}O_2$					RMS		
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C
PetCO ₂	D	0	0	0																									
	E	0	6	1																									
	C	0	1	0																									
PetO ₂	D	0	1	0	D	0	0	1																					
	E	0	6	1	E	0	7	0																					
	C	0	0	0	C	0	0	0																					
$\dot{V}CO_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0																	
	E	0	7	1	E	0	7	1	E	1	7	0																	
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0																	
$\dot{V}O_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0													
	E	0	7	1	E	0	7	1	E	1	7	0	E	0	8	0													
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0													
RMS	D	0	1	0	D	0	1	0	D	0	1	0	D	0	1	0	D	0	1	0									
	E	0	6	1	E	0	6	1	E	1	6	0	E	0	7	0	E	0	7	0									
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0									

Tabela VII: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 2 no trecho de 9 a 15 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência expressos através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂, PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

		FC																				
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			
PetCO ₂	D	0	2	1																		
	E	0	3	2																		
	C	0	0	0																		
					PetCO ₂																	
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			
PetO ₂	D	0	0	0	D	0	0	0														
	E	0	5	3	E	3	5	0														
	C	0	0	0	C	0	0	0														
								PetO ₂														
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			
$\dot{V}CO_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0										
	E	0	5	3	E	3	5	0	E	0	8	0										
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0										
											$\dot{V}CO_2$											
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			
$\dot{V}O_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0						
	E	0	5	3	E	3	5	0	E	0	8	0	E	0	8	0						
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0						
														$\dot{V}O_2$								
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			
RMS	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0		
	E	0	3	2	E	2	3	0	E	0	5	0	E	0	5	0	E	0	5	0		
	C	0	2	1	C	1	2	0	C	0	3	0	C	0	3	0	C	0	3	0		

Tabela VIII: Resultado da análise dos dados do protocolo II referente ao degrau 3, no trecho de 9 a 15 minutos do degrau sob a forma de tabela de contingência, expresso através de: frequência cardíaca (FC) em bpm; PetCO₂ e PetO₂ em mmHg e ventilação ($\dot{V}E$) em l.min⁻¹; $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ em ml.min⁻¹ e RMS em μV . Onde temos: crescente (C), estável (E) e decrescente (D).

		FC					PetCO ₂					PetO ₂					$\dot{V}CO_2$					$\dot{V}O_2$			
		D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C			D	E	C	
PetCO ₂	D	0	1	1																					
	E	0	3	2																					
	C	0	1	0																					
PetO ₂	D	0	1	1	D	0	1	1																	
	E	0	4	1	E	1	4	0																	
	C	0	0	1	C	1	0	0																	
$\dot{V}CO_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0													
	E	0	5	3	E	2	5	1	E	2	5	1													
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0													
$\dot{V}O_2$	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0	D	0	0	0					
	E	0	5	3	E	2	5	1	E	2	5	1	E	0	8	0	E	0	8	0					
	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0	C	0	0	0					
RMS	D	0	1	2	D	1	2	0	D	1	1	1	D	0	3	0	D	0	3	0	D	0	3	0	
	E	0	4	0	E	1	2	1	E	1	3	0	E	0	4	0	E	0	4	0	E	0	4	0	
	C	0	0	1	C	0	1	0	C	0	1	0	C	0	1	0	C	0	1	0	C	0	1	0	

DISCUSSÃO

A interpretação dos resultados do exercício físico requer o conhecimento das respostas consideradas usuais para um dado grupo. Especialmente porque o organismo humano tem respostas influenciadas por diversos fatores como sexo, idade, características antropométricas, nível de atividade física, etnia, ciclo circadiano, principalmente quando são avaliados os sistemas cardiorrespiratório e muscular (GALLO JR, et al., 1995; NEDER, et al., 2001; WASSERMAN, 1999).

Neste estudo buscou-se a padronização do grupo, de forma a minimizar essas diferenças, ou seja, o rigor na triagem dos voluntários, o que possibilitou um grupo com características antropométricas semelhantes, com dados em média e desvio padrão de: $22,75 \pm 2,25$ anos de idade; $79,33 \pm 10,22$ kg de peso; $1,82 \pm 0,05$ m de estatura e nível de atividade física similar, com predomínio aeróbio em atividades como ciclismo, corrida e futebol, pelo menos 3 vezes por semana.

As condições ambientais também foram controladas durante todo o experimento com valores médios de temperatura em 22°C e umidade relativa do ar em 50%.

Os exames laboratoriais (tabela IX do Apêndice C) e eletrocardiograma em repouso e durante o teste ergométrico clínico (tabela X do Apêndice D) não apresentaram anormalidades, indicando que os voluntários estudados estavam saudáveis e aptos a participarem dos protocolos experimentais propostos. Com relação às variáveis cardiovasculares basais, foram observados valores medianos de frequência cardíaca de 69 bpm e pressão arterial de 120/80 mmHg, em repouso. A literatura admite valores ideais para frequência cardíaca de repouso entre 60 e 80 bpm e para pressão arterial de 120/80 mmHg (IV Diretrizes Brasileiras de Hipertensão, 2002).

No ápice do teste ergométrico clínico, foram encontrados valores medianos de potência de 238W, frequência cardíaca de 195 bpm e pressão arterial de 210/85 mmHg (tabela X do Apêndice D). Observa-se ainda que os voluntários atingiram, no pico do exercício físico do teste contínuo em rampa, valores medianos de potência de 283W, que foram superiores aos observados no teste ergométrico clínico de avaliação cardiovascular (238W). Essas diferenças podem ter sido encontradas devido às características de cada protocolo, ou seja, no teste ergométrico foi aplicado um protocolo em degraus contínuos com duração de 3 min em cada estágio e incremento de 25W e no teste contínuo em rampa foram realizadas rampas que variaram de 20 a 25W/min. Outro fator seria o tempo de duração dos testes, sendo que o teste ergométrico durou entre 23 a 38 minutos, já o teste contínuo em rampa durou de 8 a 12 minutos.

O teste contínuo em rampa foi desenhado de forma individualizada com variação no valor de incremento da rampa de 20 a 25W.min⁻¹, conforme a fórmula sugerida por Wasserman (1999), a qual foi adequada à capacidade física e às respostas apresentadas pelos voluntários. Esta fórmula preconiza que a duração da fase ascendente do teste tenha entre 8 e 12 minutos (WASSERMAN, BEAVER, WHIPP, 1990), o que ocorreu com os experimentos deste estudo. Assim, os testes foram eficientes para determinação do $\dot{V}O_2$ pico e também para a melhor visualização das curvas das variáveis para a determinação do LAV.

O teste contínuo em rampa foi realizado com objetivo de identificar o LAV para a realização do segundo protocolo. A literatura descreve alguns métodos de determinação do LAV como, por exemplo, as análises visuais gráficas (WASSERMAN, 1999) e os modelos matemáticos e estatísticos (SOLER, et al., 1989).

A metodologia estatística tende a identificar alguma otimização por um determinado critério como os mínimos quadrados ou máxima verossimilhança (HINKLEY, 1969) e nem sempre esse critério de otimização tem um equivalente fisiológico, e com isso deve-se ter maior atenção à adequação dessa forma de análise em todas as situações estudadas. Por outro lado, um aspecto relevante é que os modelos matemáticos e estatísticos são promissores, com vantagens adicionais às técnicas visuais, por fazer a análise dos dados de forma objetiva, eliminar as diferenças interpessoais e ser de fácil reprodutibilidade.

Porém, o reconhecimento de padrões baseados na evidencia fisiológica e na experiência dos pesquisadores torna também importante o reconhecimento visual de padrões, uma vez que todos esses métodos estatísticos ainda estão em desenvolvimento. Diante disso, optou-se pela determinação visual gráfica, já consagrada na literatura como técnica a ser seguida, apesar de ser uma análise subjetiva das variáveis.

Dentre as várias formas de identificação do LAV está o método V-slope, que relaciona o aumento do $\dot{V}CO_2$ ao $\dot{V}O_2$. É feito o ajuste das duas retas referentes às variáveis e o intercepto é considerado o LAV (WASSERMAN, 1999). Entretanto, no presente estudo foi utilizado um método adaptado do V-slope, que consiste na análise visual gráfica das curvas da $\dot{V}CO_2$ e do $\dot{V}O_2$, ambos em $ml \cdot min^{-1}$, representadas em função do tempo. A partir do referido gráfico, observa-se o momento em que ocorre a perda do paralelismo entre essas curvas, com um aumento desproporcional da $\dot{V}CO_2$ mostrada a partir da inflexão da curva.

A determinação do LAV, através da análise visual gráfica da perda do paralelismo entre o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ remete ao observador a função de realizar uma

análise qualitativa do teste. Observando fatores como otimização da rampa, resposta adequada do voluntário à imposição de potência, manutenção das rotações em 60 rpm e posterior identificação do LAV, o observador deve estar convicto da sua análise. Caso esses critérios não sejam alcançados, o teste será refeito.

Outro fator associado à visualização das variáveis ventilatórias é a quantidade de ciclos respiratórios durante o teste. Os voluntários apresentaram um mínimo de 49 ciclos respiratórios e máximo de 135 ciclos respiratórios entre o início do incremento de potência e o LAV, e após o LAV até o pico do exercício realizaram um mínimo de 127 ciclos respiratórios e máximo de 255 ciclos respiratórios. Nesse segundo período pode ser observado em alguns voluntários o ponto de compensação respiratória ou segundo LAV, o que justificaria o maior número de pontos nesta fase. Portanto, a quantidade de pontos se torna suficiente para a determinação visual gráfica do LAV e análise das demais variáveis ventilatórias. Pode-se, também, ressaltar que o LAV de quase todos os voluntários foi encontrado no segundo terço do trecho de análise, exceto um voluntário que o LAV foi identificado no terceiro terço do trecho de análise. O que demonstra a coerência entre a determinação realizada pelos observadores e os dados analisados e a homogeneidade do grupo.

O sistema respiratório apresenta também como característica flutuações biológicas dos ciclos respiratórios, ou seja, os valores das respirações tipicamente variam de uma respiração a outra. Esse fenômeno mais facilmente observado em crianças (POTTER, et al., 1999) é considerado um “ruído” de origem fisiológica e não o resultado de fatores externos como erros de medida, porém essas flutuações podem levar a erro na estimativa de valores das variáveis ventilatórias, inclusive em adultos (KELLY, et al., 2001). Para minimizar esse efeito, os dados de ventilação

foram analisados por um modelo de ajuste linear que no LAV analisava os 10 pontos anteriores e posteriores ao instante dessa determinação, e no pico do exercício ajustava os 20 pontos anteriores ao instante em que foi interrompido o incremento do exercício. O modelo estimou valores que podem se aproximar dos valores fisiológicos do consumo de oxigênio. Porém, essa metodologia gera valores mais conservadores, sendo encontrados: $\dot{V}O_2$ pico ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) de $37,43 \pm 4,11$ e $\dot{V}O_2$ no LAV ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) de $15,34 \pm 2,94$, enquanto os valores fornecidos pelo equipamento tiveram uma diferença no pico de exercício de até $4,04$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e no LAV de até $2,30$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Esses valores mais baixos ocorrem porque é considerada uma região de análise e não um único ponto.

Verificamos que os valores de $\dot{V}O_2$ pico e $\dot{V}O_2$ no LAV deste estudo estão dentro dos limites inferiores encontrados na literatura internacional (WASSERMAN, 1999). Porém, no trabalho realizado por NEDER, et al., (2001), para caracterização de valores de referência para a população brasileira, foram encontrados valores médios e desvio padrão de $\dot{V}O_2$ pico para faixa etária de 20-39 anos de 2.621 ± 366 (ml.min^{-1}), enquanto os valores encontrados em nosso trabalho para um grupo de 20-27 anos foi de 2.910 ± 410 (ml.min^{-1}). Diferentemente do estudo atual, que usou um ajuste linear aos dados de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$, NEDER, et al., (2001) avaliou voluntários sedentários e com uma variação de idade maior, que pode ter influenciado na disparidade dos valores encontrados, bem como o $\dot{V}O_2$ pico foi calculado a partir da média dos últimos 15 segundos do teste contínuo em rampa.

Um outro trabalho realizado com homens jovens, sedentários e brasileiros analisando os maiores valores alcançados no pico do teste encontrou valores médios de $\dot{V}O_2$ pico 2630ml.min^{-1} e $\dot{V}O_2$ no limiar de anaerobiose de 1.292ml.min^{-1} ,

freqüência cardíaca pico de 191 bpm e potência pico de 213W. Ao comparar esses resultados com os de nosso estudo, pode-se perceber que o $\dot{V}O_2$ pico dos nossos voluntários foi $3.186,14\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, porém, não houve diferença entre os valores de $\dot{V}O_2$ no limiar de anaerobiose. Já a potência pico atingida foi 54,5W maior enquanto a freqüência cardíaca pico foi em média 12 bpm menor. Isso mostra que os voluntários do presente estudo apresentaram uma maior capacidade aeróbia mesmo com a aplicação de diferentes metodologias (CATAI, et al., 2002).

Após a realização do primeiro protocolo e da identificação do LAV, os degraus do segundo protocolo foram estabelecidos em potências de trabalho na região de transição do metabolismo aeróbio para anaeróbio, utilizando como marcador de intensidade o LAV.

Na literatura, a potência crítica tem sido referida como marcador de intensidade de exercício (BULL, et al., 2000; PRINGLE, JONES, 2002). Teoricamente, seria a máxima potência que pode ser mantida por um período de tempo prolongado sem desencadear fadiga dos sistemas. É através de modelos matemáticos que os autores buscam identificar a intensidade de exercício em que ocorre este fenômeno. Porém, há controvérsias na literatura quanto aos diferentes modelos matemáticos usados na identificação da potência crítica, com variação nos valores estimados de intensidade de trabalho em torno de 24% (BULL, et al., 2000).

SILVA (1988) estudou o desenvolvimento e aplicação de vários métodos matemáticos para a análise da resposta da freqüência cardíaca e obteve resultados divergentes. Não houve uma boa adequação dos modelos desenvolvidos aos protocolos de exercício físico dinâmico em degraus descontínuos realizados na ausência e vigência de bloqueio farmacológico. Isso foi atribuído às características fisiológicas da freqüência cardíaca, ou seja, com base nos modelos desenvolvidos

não conseguiu encontrar uma técnica única que caracterizasse bem a resposta do sinal estudado e explicitasse as condições biológicas de forma plena. Problema semelhante está sendo caracterizado nos estudos de potência crítica, com a utilização de diferentes modelos matemáticos para sua identificação. Isso pode ter como consequência interpretações errôneas sobre a magnitude da intensidade de exercício, o que, substancialmente, afetaria o padrão de resposta, principalmente da ativação muscular e da cinética do $\dot{V}O_2$ nas potências propostas como potência crítica (BULL, et al., 2000).

Na literatura que trata de potência crítica como marcador de evento, Pringle (2002), ao estudar um grupo de homens e mulheres, achou como valores de potência crítica 71% da potência do $\dot{V}O_2$ pico a partir de uma determinação linear dos dados. Já Bull em 2000, ao estudar homens, obteve valores médios de potência crítica em torno de 56% da potência do $\dot{V}O_2$ pico aplicando o modelo não-linear de Morton (MORTON, 1996), que foi caracterizado por esse autor como uma análise mais conservadora dos dados, apresentando como resultado valores de potência crítica menores quando comparados à literatura. As disparidades de valores apresentadas entre os diferentes autores é atribuída a diferentes metodologias por eles usadas.

Além da potência crítica, um outro conceito usado é o máximo estado de equilíbrio do lactato (MEEL), que tem sido definido como a maior potência constante que pode ser mantida sem um aumento progressivo na concentração de lactato sanguíneo (BENEKE, 2003). Na literatura, encontram-se valores da porcentagem de potência em que se encontrou o MEEL em relação ao pico de exercício que varia de 65% a 80% (BENEKE, 2003; BULL, et al., 2000; DENADAI, et al., 2004; PRINGLE,

JONES, 2002), o que, além de ser variável, é divergente entre esses autores e se torna uma estimativa bastante elevada, quando comparada a outros métodos.

Frente aos aspectos discutidos e das divergências encontradas na literatura, optou-se por utilizar os valores de potência encontrados durante o limiar de anaerobiose ventilatório, uma vez que esse parâmetro tem sido utilizado para avaliar a capacidade funcional em níveis submáximos de exercício, e é considerado como marcador da transição dos metabolismos aeróbio/anaeróbio (WASSERMAN, 1999; WASSERMAN, BEAVER; WHIPP, 1990).

Moritani et al. (1981) argumenta que o significado fisiológico do limiar de anaerobiose ventilatório e da potência crítica pode ser similar, porque a potência crítica aparece como representante da máxima intensidade de trabalho na qual a reserva energética será esgotada.

Assim, valores do maior degrau realizado no presente estudo estão em média 51% da potência pico, estando, portanto, um pouco abaixo dos valores médios de potência crítica encontrados por Bull et al. (2000), que estavam em torno de 56% da potência pico. Isso sugere que 30% acima do LAV tenha sido uma boa estimativa do valor do degrau em que ainda possa observar o estado de equilíbrio, embora para um dos voluntários nesta intensidade já pode ser observado um incremento lento do $\dot{V}O_2$ (tabela de contingência V, no degrau 3, 30% acima LAV).

Outro aspecto a ser considerado relevante é que a literatura refere inúmeros protocolos do tipo degrau descontínuo com diferentes durações. Maciel et al. (1986) realizaram protocolos de exercício dinâmico em intensidades pré-estabelecidas, com duração de 4 minutos para avaliar a atuação do sistema nervoso autonômico no controle da frequência cardíaca. Já Wasserman (1999) utilizou degraus de 6 minutos

para análise das variáveis ventilatórias. Os estudos avaliando o máximo estado de equilíbrio do lactato (MEEL) utilizam-se de degraus mais longos, com duração de 30 minutos (BENEKE, 2003; DEKERLE, et al., 2003; DENADAI, et al., 2004; PRINGLE, JONES, 2002), e, para a determinação da potência crítica, protocolos em degraus descontínuos entre 2 e 15 minutos de duração foram realizados (BULL, et al., 2000; DEKERLE, et al., 2003; PRINGLE, JONES, 2002). Estudos com degraus de 5 e 8 minutos também podem ser encontrados com o intuito de avaliar as respostas ventilatórias ao exercício intenso (RILEY, COOPER, 2002; ZEBALLOS, WEISMAN, CONNERY, 1998). No presente estudo, a duração dos degraus foi suficientemente prolongada (15 minutos) para que as variáveis atingissem a homeostase e pudesse ser observado o comportamento da mesma durante esse período.

Ainda em relação ao procedimento experimental, os 3 degraus foram realizados no mesmo dia e em ordem crescente de execução. A metodologia adotada visava minimizar os efeitos da exaustão física antes do final do experimento, o que poderia influenciar os resultados. Um período de intervalo superior a 15 minutos foi dado entre cada degrau. O critério usado para o início do degrau seguinte foi o retorno da frequência cardíaca aos valores basais pré-esforço físico. Considerando que a literatura refere que o nível de lactato sangüíneo retorna ao normal dentro de uma hora após a interrupção do exercício, mesmo que tenha sido intenso (MYERS, ASHLEY, 1997) e que no presente estudo a intensidade de esforço foi submáxima, acreditamos que o período de intervalo de descanso entre os degraus tenha sido satisfatório para que houvesse a recuperação, embora a dosagem de lactato não tenha sido utilizada.

Além dos aspectos já abordados, a intensidade do exercício é um fator bastante importante quando se quer analisar o comportamento das variáveis

cardiorrespiratórias. Sabe-se que durante um teste em degrau, a intensidade do exercício requerida para obter um $\dot{V}O_2$ similar àquele mensurado no teste contínuo em rampa é aproximadamente 30% menor, devido à cinética do $\dot{V}O_2$ (ZEBALLOS, WEISMAN, CONNERY, 1998). Os resultados do presente estudo são concordantes com os autores anteriormente referidos, uma vez que o valor mediano do $\dot{V}O_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) no LAV do protocolo contínuo em rampa foi similar ao observado no degrau 1 do protocolo II, que corresponde ao valor de potência 30% abaixo do limiar de anaerobiose ventilatório do protocolo contínuo em rampa. Ressalta-se o mesmo comportamento observado em relação às outras variáveis respiratórias ($\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$).

Ainda levando em consideração a cinética das variáveis cardiorrespiratórias, é sabido que o $\dot{V}O_2$ apresenta uma relação linear com a intensidade de trabalho, em testes de carga constante, até atingir o estado de equilíbrio desta variável. A inclinação da relação acima citada é praticamente a mesma para pessoas saudáveis, em torno de $10\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{Watt}^{-1}$ (BENEKE, 2003; WASSERMAN, 1999). Neste trabalho, a relação $\dot{V}O_2$ /intensidade de trabalho foi mantida. A figura 14 mostra através da variação do $\dot{V}O_2$ nos degraus que o equilíbrio foi estabelecido e se manteve mesmo na intensidade mais alta (degrau 3).

4.1 Critério de estabilidade

A escolha de um critério para representar um fenômeno biológico numa determinada análise requer um rigor metodológico que melhor qualifique o evento, ou seja, a partir de princípios biológicos o pesquisador deve assumir que os parâmetros adotados na sua análise correspondam ao mecanismo estudado.

Na literatura estão descritas inúmeras metodologias de análise e os parâmetros utilizados pelos pesquisadores. Um exemplo visto é o máximo estado de equilíbrio do lactato (MEEL), que reconhece um aumento no lactato sanguíneo de até 1mM.l^{-1} como estabilidade dessa variável, por pelo menos 20 minutos de um protocolo de exercício físico dinâmico do tipo degrau com 30 minutos de duração (BENEKE, 2003; DEKERLE, et al., 2003; DENADAI, et al., 2004; PRINGLE, JONES, 2002). Um outro parâmetro de análise é o *base excess* (BE), que é também utilizado para selecionar intensidades de trabalho sustentadas por períodos prolongados que correspondam a uma redução de 3mM.l^{-1} em seus valores num protocolo em degrau (ROE, et al., 1997).

Podemos, também, encontrar como procedimento de análise o reconhecimento de que 5% de flutuação das variáveis ventilatórias, frequência cardíaca, lactato e atividade eletromiográfica, ainda são definidos como estabilidade num protocolo de 15 a 30 minutos de exercício físico dinâmico em degrau (BUNC, et al., 1995; HOFMANN, et al., 1994).

Já em relação à identificação do $\dot{V}O_2$ máximo, um critério utilizado por Poole (1991), para considerar como similar o valor do $\dot{V}O_2$ máximo de dois protocolos distintos, foi uma variação menor que 100ml.min^{-1} .

Frente ao exposto, fez-se necessária a delimitação dos parâmetros para a utilização neste estudo. Portanto, durante a aplicação do modelo matemático e estatístico semiparamétrico aos dados da resposta da frequência cardíaca, o critério de estabilidade $\alpha=10^{-16}$ resultou que, alterações de até 5 bpm num intervalo de 6 minutos ainda foram consideradas estáveis conforme os resultados obtidos. Para as variáveis ventilatórias, esse valor foi de até 100 ml.min⁻¹ para o mesmo intervalo de tempo e, ainda com base no mesmo princípio, foram consideradas para o RMS da eletromiografia flutuações de até 18 μ V nos 6 minutos de análise do trecho como estável.

Embora o desenvolvimento dos critérios adotados no modelo matemático e estatístico semiparamétrico, para a estabilidade dos sinais, não tenha uma formulação matemática rigorosa como no modelo desenvolvido por MILAN, et al., (2000), os resultados apresentados, neste estudo, estão dentro da faixa de significação biológica. A adoção desse critério foi uma simplificação de um critério de estabilização absoluta das respostas cardiorrespiratórias, uma vez que, aprofundar-se neste assunto, envolve uma área de pesquisa que ainda não tem resultados de utilização razoavelmente fácil.

4.2 Análise dos resultados do protocolo II

4.2.1 Resposta da frequência cardíaca

Quando se inicia o exercício físico dinâmico, observa-se que uma vasodilatação nos músculos ativos começa imediatamente e é acompanhado por simultânea retirada vagal, seguida por aumento na atuação simpática no coração e vasos sangüíneos. Considera-se que a atuação simpática e parassimpática, chamada de modulação autonômica, seja um dos principais mecanismos

responsáveis pelo controle da frequência cardíaca em indivíduos saudáveis (MACIEL, et al., 1986; MITCHELL, 1990; ROWELL, 1986).

Sabe-se que em experimentos com o uso de bloqueio farmacológico, a taquicardia observada nos primeiros 30 segundos de exercício depende quase que exclusivamente da influência vagal no nó sinusal (MACIEL, et al., 1986). Essa elevação rápida da frequência cardíaca constitui um mecanismo muito importante no sentido de aumentar o fluxo sanguíneo propiciando uma maior eficiência no transporte de oxigênio aos músculos em atividade contráctil (ROWELL, 1986).

No que diz respeito à contribuição simpática, essa se torna importante como mediadora da resposta taquicárdica a partir do primeiro minuto de exercício (MACIEL, et al., 1986). E esse fenômeno fisiológico pode ser explicado pela ação das catecolaminas circulantes (ROWELL, 1986) e por estímulos provenientes dos metabolorreceptores dos músculos em atividade (MITCHELL, 1990), a fim de atender a demanda metabólica dos mesmos.

Uma outra observação, é que em níveis de exercício físico menos intenso, a contribuição simpática parece ser mínima, porém durante um período de esforço mais intenso a ativação do sistema nervoso simpático adquire um importante papel na regulação da taquicardia induzida pelo exercício dinâmico (MACIEL, et al., 1986).

Nesse estudo, o trecho escolhido para a análise foi a partir do 3º minuto do degrau, a retirada vagal inicial foi desprezada. A partir dos resultados, podemos observar que a estabilidade do sinal foi prevalente no degrau 1 do protocolo II, nos dois intervalos analisados. Já na análise dos degraus seguintes, verificou-se um aumento na resposta da frequência cardíaca ao incremento de potência e conseqüentemente a perda da estabilidade do sinal, principalmente, no período

compreendido entre o 3º e o 9º minuto do degrau. Do 9º ao 15º do trecho, a análise mostra que a frequência cardíaca manteve-se estável na maioria dos casos.

Hofmann et al. (1994) realizaram, em princípio, um desenho experimental similar ao deste trabalho. Suas voluntárias realizavam 20 minutos de exercício físico dinâmico em degrau, com intensidade de trabalho correspondente a 10% abaixo e acima do limiar de frequência cardíaca, determinado pelo ponto de mudança dessa variável. Foi verificado que a frequência cardíaca não atingiu o estado de equilíbrio em nenhum dos dois degraus, apesar das outras variáveis estudadas atingirem a estabilidade no degrau abaixo do limiar de frequência cardíaca. As diferenças existentes entre os nossos protocolos podem ser um fator determinante na discordância dos resultados, uma vez que intensidades de trabalho 10% abaixo do limiar de frequência cardíaca podem não ser uma potência suficientemente distinta do limiar considerado por esse autor, para se observar mudanças no padrão de comportamento das variáveis. Um segundo fator diferencial pode ser a metodologia de análise utilizada nos dois trabalhos, pois o autor citado considera que alterações nas respostas de frequência cardíaca de 5% são estáveis, enquanto que no presente trabalho foi considerado o coeficiente de inclinação do ajuste do modelo matemático e estatístico semiparamétrico. Uma terceira consideração a se fazer diz respeito à intensidade do degrau, pois as voluntárias não conseguiram chegar ao fim do experimento, enquanto no nosso trabalho todos os voluntários completaram o teste.

4.2.2 Resposta das variáveis ventilatórias

O exercício de carga constante em intensidade que não aumente o lactato sanguíneo, resulta em incremento do consumo de oxigênio e produção de dióxido de

carbono até atingir a homeostase. Isso ocorre em até 3 minutos para o $\dot{V}O_2$ e 4 minutos para o $\dot{V}CO_2$ (WASSERMAN, 1999). Quando o exercício é realizado em intensidade de potência muito elevada, há um atraso nos valores acima citados e as variáveis ventilatórias podem não atingir a homeostase antes que o voluntário entre em exaustão (RILEY, COOPER, 2002; WASSERMAN, 1999).

Na literatura que trata da estabilidade das variáveis ventilatórias, o que se sabe atualmente é que mesmo em intensidades de trabalho acima do LAV, durante exercício de carga constante, ainda se encontra a estabilidade, o que é chamado de potência crítica, e esta seria um diferenciador entre exercício físico pesado e severo. As formas de estimativas desse fenômeno são através de modelos matemáticos, ainda em desenvolvimento, ou impondo cargas de trabalho aos voluntários, de forma empírica. Uma outra técnica também usada com o mesmo propósito é o máximo estado de equilíbrio do lactato (MEEL) (BENEKE, 2003; BULL, et al., 2000; DEKERLE, et al., 2003; PRINGLE, JONES, 2002).

No presente estudo, os valores dos dados de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ foram considerados todos estáveis, ou seja, durante todo o trecho de análise, essas variáveis não sofreram uma inconstância maior que $100 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$. Isso significa que em até 30% acima do LAV, nenhum dos voluntários ultrapassaram a potência crítica. Nosso método tem uma vantagem adicional na estimativa da perda da homeostase do $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ ou de outras variáveis usando o LAV como variante pelo fato de não utilizar ajustes subjetivos ou empíricos, o que está de acordo com o princípio defendido por RILEY e COOPER (2002).

Um outro índice avaliado neste estudo foi o $P_{et}CO_2$ obtido a partir da monitorização dos gases respiratórios. Apesar de seu comportamento ser mais

conhecido em testes incrementais, quando ele se eleva dos valores de repouso até a estabilidade no LAV e após esse momento atua como marcador do ponto de compensação respiratório, através do decréscimo de seus valores (WASSERMAN, 1999), o PetCO₂ também pode ser utilizado como referencial em testes em degrau.

Em relação a este aspecto, Wasserman (1999) descreve que em intensidades abaixo do LAV, o PetCO₂ atinge um equilíbrio em poucos minutos e assim se mantém até o término do exercício, enquanto que acima do LAV ele decai. Resposta similar foi encontrada neste estudo, quando o PetCO₂ sai de uma condição de estabilidade no degrau 1, abaixo do LAV, e se torna decrescente no degrau 3. É importante salientar que esse fenômeno já pode ser percebido em intensidade de exercício 30% acima do LAV.

Ainda considerando os resultados do PetCO₂, podemos observar que em relação à frequência cardíaca, é assumido um comportamento oposto. Ou seja, a frequência cardíaca se eleva com o incremento de potência dos degraus enquanto o PetCO₂ diminui. E esses dados tiveram correlação, especialmente no trecho de análise do 9^o ao 15^o minuto do degrau 3 ($r_s = 0,94$), Isso pode ser justificado pelo fato de que variações no PetCO₂ podem refletir mudanças no débito cardíaco (ETO, et al., 2004).

No que diz respeito ao PetO₂, destaca-se que durante o teste contínuo em rampa há um aumento significativo em seus valores no limiar de anaerobiose como resposta a hiperventilação, que funciona como uma compensação fisiológica à diminuição do pH, que ocorre acima do limiar de anaerobiose. Já no teste em degrau, o PetO₂ não demonstra um comportamento regular entre os voluntários e ainda é uma variável pouco descrita na literatura, carecendo de mais estudos para melhor avaliar esta variável.

4.2.3 Resposta do sinal eletromiográfico

O sinal eletromiográfico vem sendo estudado como uma variável promissora na identificação do limiar de anaerobiose de forma indireta em teste contínuo em rampa, uma vez que estudos têm indicado a existência de não-linearidade no aumento desse sinal durante a fase de transição aeróbia-anaeróbia (LUCIA, et al., 1997; MARÃES, 2004; MATEIKA, DUFFIN, 1994; SAKABE, 2004). Porém, o protocolo contínuo em rampa é necessário para pesquisar a relação entre as mudanças eletromiográficas e o limiar de anaerobiose enquanto protocolos de carga constante tentam dissociar os fatores tempo e aumento no $\dot{V}O_2$, que interferem durante o teste progressivo (JAMMES, CAQUELARD, BADIER, 1998).

Há na literatura relatos de trabalhos com exercício em cicloergômetro que relacionaram o sinal da EMG do músculo vasto lateral a variáveis como $\dot{V}O_2$ e lactato (JAMMES, CAQUELARD, BADIER, 1998; SCHEUERMANN, et al., 2001). Esses trabalhos inferem sobre os mecanismos de ajuste entre a atividade mioelétrica e o consumo de oxigênio, porém esses estudos mostram a relação entre o sinal mioelétrico de um músculo apenas com aumento no consumo de oxigênio, o qual reflete a demanda metabólica de todo o organismo, incluindo a ação de todos os grupamentos musculares envolvidos no exercício.

SCHEUERMANN, et al. (2001) não observaram associação entre o $\dot{V}O_2$ e a eletromiografia analisada através da frequência mediana e da normalização do sinal mioelétrico. Apesar do autor citado utilizar como forma de análise a frequência mediana e o sinal mioelétrico normalizado, que não foram analisados no presente trabalho, não foi possível encontrar resultados concludentes que relacionem o aumento do recrutamento muscular ao componente lento do consumo de oxigênio.

Já PRINGLE, JONES (2002) vêm utilizando a EMG para a identificação do limiar de fadiga, que seria a maior potência a ser mantida sem um aumento no sinal de EMG. Assim como ocorreu no presente trabalho, não foi identificado um comportamento padrão para a EMG, que ocasionalmente decresceu ao longo do tempo em algumas potências ou apresentou comportamento ascendente em baixas intensidades de exercício quando comparado a intensidades maiores. O mesmo autor ainda sugere que há grande variabilidade interpessoal na resposta da eletromiografia de superfície, assim, esta não pode ser usada para distinguir aumento de recrutamento de fibra muscular e a frequência de disparo que ocorrem na atividade muscular.

Um fator importante que pode contribuir para a variabilidade interpessoal é que, para a interpretação das mudanças na eletromiografia de superfície durante o exercício, deve-se considerar a prática esportiva do voluntário antes de chegar a qualquer conclusão (JAMMES, et al., 2001). No presente estudo, apesar dos voluntários realizarem atividade predominantemente aeróbia, não houve homogeneidade no tipo de exercício que realizavam e esse fator pode ter interferido no resultado.

4.2.4 Inter-relação das respostas das variáveis

O teste contínuo em rampa é considerado um teste cardiodinâmico, no qual as variáveis respondem de maneira individualizada à sobreposição de carga de trabalho e todas elas têm um comportamento peculiar à potência imposta. Quando se determina o LAV está-se observando principalmente o comportamento do $\dot{V}CO_2$, com a inflexão da sua curva.

Já no teste descontínuo em degrau, o que se procura observar é o comportamento de todas as variáveis àquela potência específica e constante realizada por um determinado período de tempo. Com esse intuito, foi realizada a análise não somente do $\dot{V}CO_2$, que tem comportamento similar ao $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}E$, como também o $PetCO_2$ e $PetO_2$, FC e RMS. As peculiaridades dessas variáveis, que não eram observadas num teste contínuo em rampa, podem ser percebidas com maiores detalhes num teste em degrau.

Assim, no presente estudo, o $PetCO_2$ e a frequência cardíaca apresentaram um comportamento de natureza análoga, porém similar à imagem em espelho. Essas foram as variáveis mais sensíveis ao exercício acima do LAV, mostrando-se promissoras na identificação de intensidades de exercício acima do LAV, mesmo num teste em degrau descontínuo.

4.2.5 Escolha dos trechos de análise

Selecionar um trecho para analisar as repercussões cardiorrespiratórias e musculares no indivíduo, durante o exercício físico dinâmico, torna-se uma decisão complexa.

Como foi discutido acima, no início do exercício, a frequência cardíaca se eleva rapidamente como consequência da retirada vagal. Esse fenômeno ocorre nos trinta primeiros segundos da atividade física (MACIEL, et al., 1986; ROWELL, 1986).

Já em relação às variáveis respiratórias, sabe-se que o $\dot{V}O_2$ se estabiliza em 3 minutos de exercício e que o $\dot{V}CO_2$ pode chegar na homeostase em no máximo 4 minutos (WASSERMAN, 1999).

Porém, em relação ao sinal eletromiográfico não foi encontrado na literatura pesquisada nenhum suporte que indicasse o trecho de início ideal para a análise do sinal mioelétrico, apenas referência quanto ao aumento do sinal mioelétrico, em média de 240 segundos após o início do exercício de alta intensidade (SCHEUERMANN, et al., 2001).

Diante disso, foi escolhido um intervalo de tempo no qual as variáveis cardiorrespiratórias já estariam estáveis ou alcançando a homeostase. Com início da análise no terceiro minuto do degrau, isso seria possível, sendo desprezado o trecho inicial do exercício.

Além da escolha do início do trecho a ser analisado, fazia-se necessário definir até quando esse processamento seria feito. Caso fosse feito do terceiro minuto até o final do degrau, a análise teria respostas mais globais. Então, optou-se por fazer uma análise mais refinada dividindo o trecho em dois: do terceiro ao nono minuto e do nono ao décimo quinto minuto, pois seriam intervalos de tempos iguais que permitiriam um maior número de observações.

4.2.6 Limitações e perspectivas futuras

Com a realização do presente estudo ficou ainda mais explícita a forte relação existente entre o sistema cardiorrespiratório durante a realização do exercício físico. Variáveis como o PetCO₂ e a frequência cardíaca surgiram como indicadores promissores de intensidade de exercício em que ocorre a transição do metabolismo aeróbio/anaeróbio. No entanto, mais estudos são necessários, tanto no sentido de aumentar a amostra da população, como também investigar outras populações em faixas etárias diferentes para ratificar os resultados encontrados.

É necessário, também, uma melhor investigação da atuação do sistema muscular durante a atividade física, tendo em vista que as análises realizadas no presente estudo não foram capazes de evidenciar essa relação através do estudo do RMS da eletromiografia. As nossas conclusões são baseadas nas mensurações da atividade eletromiográfica do músculo vasto lateral somente. No entanto, o exercício físico requer um complexo controle motor, que envolve muitos músculos e então o padrão de ativação muscular do vasto lateral pode não refletir o padrão de recrutamento de todo grupamento muscular envolvido nessa atividade (SCHEUERMANN, et al., 2001).

Surge, então, o interesse de desenvolver outras ferramentas de coleta e análise de dados que possam estar contribuindo para que a compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos na realização de exercício físico fique cada vez mais clara.

CONCLUSÃO

Os resultados permitem chegar às seguintes conclusões:

Ao analisar as respostas das variáveis cardiorrespiratórias e eletromiográficas através do modelo matemático e estatístico semiparamétrico, no protocolo II, o PetCO_2 e a frequência cardíaca apresentaram respostas mais sensíveis à intensidade de trabalho acima do limiar de anaerobiose ventilatório na maioria dos voluntários. Essas respostas podem ser utilizadas como primeiras sinalizadoras do trabalho acima do limiar de anaerobiose ventilatório.

Em relação à comparação do teste contínuo em rampa com o teste descontínuo em degrau observou-se que para alcançar valores similares de $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$ e frequência cardíaca foi necessário uma redução em 30% na potência de trabalho. Isso sugere a adequação do protocolo descontínuo em degrau com redução da potência em 30% para se obter uma zona de trabalho em torno do limiar de anaerobiose ventilatório.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Referências citadas de acordo com as normas da ABNT

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Informação (Trabalhos acadêmicos - Apresentação). NBR 14724, p. 1-7, 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Informação e documentação (Citações em documentos - Apresentação). NBR 10520, p. 1-7, 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Informações e documentação (Referências - Elaboração). NBR 6023, p. 1-24, 2002.

American Heart Association: Exercise testing and training of apparently health individuals. **A handbook for physicians**, p. 15, 1972.

ARNAUD, S., et al. Correlation between muscle metabolism and changes in M-wave and surface electromyogram: dynamic constant load leg exercise in untrained subjects. **Muscle Nerve**, v. 20, n. 9, p. 1197-9, 1997.

BASMAJIAN, J. V.; DE LUCA, C. J. **Muscles alive : their functions revealed by electromyography**, 5th. ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985. 561 p.

BEARDEN, S. E.; MOFFATT, R. J. Leg electromyography and the VO₂-power relationship during bicycle ergometry. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 7, p. 1241-5, 2001.

BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, p. 361-69, 2003.

BULL, A. J., et al. Electromyographic and mechanomyographic responses at critical power. **Can J Appl Physiol**, v. 25, n. 4, p. 262-70, 2000.

BUNC, V., et al. Verification of the heart rate threshold. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 70, n. 3, p. 263-69, 1995.

CATAI, A. M., et al. Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men. **Braz J Med Biol Res**, v. 35, n. 6, p. 741-52, 2002.

DE LUCA, C. J.; ERIM, Z. Common drive of motor units in regulation of muscle force. **Trends Neurosci**, v. 17, p. 299-305, 1994.

DE LUCA, C. J., et al. Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. **J Physiol.**, v. 329, p. 129-42, 1982.

DEKERLE, J., et al. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, p. 281-88, 2003.

DENADAI, B. S., et al. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. **Braz J Med Biol Res**, v. 37, p. 1551-56, 2004.

ETO, Y., et al. Early Aerobic training increases end-tidal CO₂ pressure during exercise in patients after acute myocardial infarction. **Circulation**, v. 68, p. 778-83, 2004.

FLETCHER, G. F., et al. Exercise Standards for Testing and Training - A Statement for Healthcare Professionals from the American Heart Association. **Circulation**, v. 104, p. 1694-740, 2001.

GALLO JR, L., et al. Control of heart rate during exercise in health and disease. **Braz J Med Biol Res**, v. 28, n. 11-12, p. 1179-84, 1995.

HANON, C., et al. Electromyogram as an indicator of neuromuscular fatigue during incremental exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 78, n. 4, p. 315-23, 1998.

HAOUZI, P., et al. O₂ uptake kinetics above and below the lactic acidosis threshold during sinusoidal exercise. **J Appl Physiol**, v. 75, n. 4, p. 1683-90, 1993.

HERMENS, H. J., et al. Surface eletro-MyoGraphy for the non-invasive assessment of muscles (SENIAM). **CD room...** 2000.

HINKLEY, D. V. Inference about the intersection in two-phase regression. **Biometrika**, v. 56, n. 3, p. 495-504, 1969.

HOFMANN, P., et al. Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 69, n. 2, p. 132-9, 1994.

IV Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial das Sociedade Brasileira de Hipertensão SBH / Sociedade Brasileira de Cardiologia SBC / Sociedade Brasileira de Nefrologia SBN. **Sociedade Brasileira de Cardiologia**, 2002.

JAMMES, Y., et al. Interindividual variability of surface EMG changes during cycling exercise in healthy humans. **Clin Physiol**, v. 21, n. 5, p. 556-60, 2001.

JAMMES, Y.; CAQUELARD, F.; BADIER, M. Correlation between surface electromyogram, oxygen uptake and blood lactate concentration during dynamic leg exercises. **Respir Physiol**, v. 112, n. 2, p. 167-74, 1998.

KAIZER, A. S., et al. **Determination of the anaerobic threshold by different physical exercise protocols**. In: XXXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Fisiologia - SBFIS & XXI Congresso da Associação Latino American de Ciências Fisiológicas - ALACF, 2003, Ribeirão Preto - SP. 01 a 04 de setembro de 2003. p. 152.

KAMEN, G.; CALDWELL, G. E. Physiology and interpretation of the electromyogram. **J Clin Neurophysiol**, v. 13, n. 5, p. 366-84, 1996.

KELLY, G. E., et al. Estimation of the gas exchange threshold in humans: a time series approach. **Eur J Appl Physiol**, v. 85, n. 6, p. 586-92, 2001.

LAGALLY, K. M., et al. Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 3, p. 552-9, 2002.

LUCIA, A., et al. Electromyographic response to exercise in cardiac transplant patients: a new method for anaerobic threshold determination? **Chest**, v. 111, n. 6, p. 1571-6, 1997.

MACIEL, B. C., et al. Autonomic Nervous Control of the Heart Rate During Dynamic Exercise in Normal Man. **Clinical Science**, v. 71, p. 457-60, 1986.

MARÃES, V. R. F. D. S. **Determinação do limiar de anaerobiose a partir da análise da frequência cardíaca, da eletromiografia e das variáveis ventilatórias e metabólicas durante exercício físico dinâmico**. 2004. 169 f. Tese (doutorado em Fisioterapia). Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos - SP.

MATEIKA, J. H.; DUFFIN, J. The ventilation, lactate and electromyographic thresholds during incremental exercise tests in normoxia, hypoxia and hyperoxia. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 69, n. 2, p. 110-8, 1994.

MILAN, L. A., et al. Using semiparametric models for detection of anaerobic threshold. **Relatório técnico do Departamento de Estatística - DEs**, n.40, p. 6, 2000.

MITCHELL, J. H. J.B. Wolffe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 22, n. 2, p. 141-54, 1990.

MORITANI, T.; YOSHITAKE, Y. 1998 ISEK Congress Keynote Lecture: The use of electromyography in applied physiology. International Society of Electrophysiology and Kinesiology. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 8, n. 6, p. 363-81, 1998.

MORTON, R. H. A 3-parameter critical power model. **Ergonomics**, v. 39, n. 4, p. 611-19, 1996.

MYERS, J.; ASHLEY, E. Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. **Chest**, v. 111, n. 3, p. 787-95, 1997.

NEDER, J. A., et al. Reference values for dynamic responses to incremental cycle ergometry in males and females aged 20 to 80. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 164, p. 1481-86, 2001.

POTTER, C. R., et al. Breath-to-breath "noise" in the ventilatory and gas exchange responses of children to exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 80, p. 118-24, 1999.

PRINGLE, J. S.; JONES, A. M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 3, p. 214-26, 2002.

RILEY, M. S.; COOPER, C. B. Ventilatory and gas exchange responses during heavy constant work-rate exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 1, p. 98-104, 2002.

ROBINSON, B. F., et al. Control of heart rate by the autonomic nervous system - Studies in man on the interrelation between baroreceptor mechanisms and exercise. **Circulation Research**, v. XIX, p. 400-11, 1966.

ROE, S. M., et al. Potassium and ventilation during exercise above and below the ventilatory threshold. **Respir Physiol**, v. 109, n. 2, p. 117-26, 1997.

ROWELL, L. B. **Human circulation : regulation during physical stress**. ed. New York: Oxford University Press, 1986. 416 p.

SAKABE, D. I. **Quantificação do limiar de anaerobiose durante exercício dinâmico em homens de meia-idade: análise da resposta de variáveis cardiorrespiratórias e musculares**. 2004. 126 f. Dissertação (mestrado em Fisioterapia). Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos - SP.

SAUNDERS, M. J., et al. Muscle activation and the slow component rise in oxygen uptake during cycling. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 12, p. 2040-5, 2000.

SCHEUERMANN, B. W., et al. The slow component of O₂ uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. **J Physiol**, v. 531, n. Pt 1, p. 245-56, 2001.

SCHEUERMANN, B. W.; TRIPSE MCCONNELL, J. H.; BARSTOW, T. J. EMG and oxygen uptake responses during slow and fast ramp exercise in humans. **Exp Physiol**, v. 87, n. 1, p. 91-100, 2002.

SILVA, E., et al. **Design of a computerized system to evaluate the cardiac function during dynamic exercise**. In: Annals of the World Congress on Medical Physics and biomedical engineering, 1994. p. 409.

SILVA, E. D. **Modelos Matemáticos da Resposta da Frequência Cardíaca ao Exercício Físico dinâmico em Indivíduos Normais**. 1988. 187 f. Dissertação (mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas.

SOLER, A. M., et al. Anaerobic threshold estimation by statistical modelling. **Braz J Med Biol Res**, v. 22, p. 795-97, 1989.

S-PLUS. **User's Guide, Data Analysis Products Division, Math Soft**. 2000. WA, Seattle.

TAKAISHI, T.; YASUDA, Y.; MORITANI, T. Neuromuscular fatigue during prolonged pedalling exercise at different pedalling rates. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 69, n. 2, p. 154-8, 1994.

VIITASALO, J. T., et al. Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling. **Acta Physiol Scand**, v. 124, n. 2, p. 287-93, 1985.

WASSERMAN, K. The Dickinson W. Richards lecture. New concepts in assessing cardiovascular function. **Circulation**, v. 78, n. 4, p. 1060-71, 1988.

-----, **Principles of exercise testing & interpretation : including pathophysiology and clinical applications**. 3 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999. 556 p.

WASSERMAN, K.; BEAVER, W. L.; WHIPP, B. J. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. **Circulation**, v. 81, n. suppl II, p. 14-30, 1990.

ZEBALLOS, R. J.; WEISMAN, I. M.; CONNERY, S. M. Comparison of pulmonary gas exchange measurements between incremental and constant work exercise above the anaerobic threshold. **Chest**, v. 113, n. 3, p. 602-11, 1998.

APÊNDICE A

APÊNDICE B

CONSENTIMENTO PÓS-INFORMADO DOS VOLUNTÁRIOS QUE PARTICIPARÃO DO PROJETO DE PESQUISA: **“Estudo comparativo entre trocas gasosas, variabilidade da frequência cardíaca e eletromiografia durante exercício físico dinâmico em intensidades próximas ao limiar de anaerobiose ventilatório em indivíduos saudáveis.”**

RESPONSÁVEL PELO PROJETO: Prof^a. Dr^a. Ester da Silva

MESTRANDA: Karla Rocha Python

LOCAL DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO: Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico - NUPEF do Departamento de Fisioterapia da UFSCar, projeto vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos.

Eu, _____ nascido em ___/___/_____, portador do RG N° _____ residente à Rua(Av) _____ no. _____

Bairro: _____, CEP: _____ Cidade: _____ Fone: _____

voluntariamente concordo em participar do projeto de pesquisa acima mencionado.

É de meu conhecimento que este projeto será desenvolvido em caráter de pesquisa científica e objetiva verificar a resposta da variabilidade da frequência cardíaca, da eletromiografia e das variáveis ventilatórias.

Estou ciente, de que, antes da minha participação nas avaliações específicas, serei submetido a uma avaliação clínica e diagnóstica, que constará de uma anamnese, exames físicos e laboratoriais, eletrocardiograma em repouso e teste ergométrico. Estes testes objetivam a identificação ou não de qualquer manifestação clínica ou eventual patologia que contra-indique a minha participação nas avaliações subseqüentes. Após a avaliação clínica, me submeterei a uma série de testes funcionais não invasivos (sem a utilização de drogas medicamentosas ou de procedimentos invasivos) no Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico da Universidade Federal de São Carlos, que constam dos seguintes protocolos: 1) eletrocardiograma (ECG) completo; 2) teste ergométrico com protocolo contínuo em rampa para a determinação do limiar de anaerobiose pela análise da variabilidade da frequência cardíaca, da eletromiografia e das variáveis ventilatórias e metabólicas ; 3) teste ergométrico

com protocolo descontínuo em degrau para verificação do comportamento das variáveis acima citadas. Estes exames não oferecem riscos ou complicações para a saúde e os riscos nestes casos são menores que o mínimo especificado na Resolução 196/96 e os desconfortos que poderão ocorrer com os testes de esforço na bicicleta são cansaço muscular, falta de ar à medida que aumenta a intensidade de esforço como acontece quando se faz exercícios mais intensos como corrida, jogar futebol, ciclismo.

Estou ciente ainda, de que, as informações obtidas durante as avaliações serão mantidas em sigilo e não poderão ser consultadas por pessoas leigas, sem a minha devida autorização. As informações assim obtidas, no entanto, poderão ser usadas para fins de pesquisa científica, desde que a minha privacidade seja sempre resguardada.

Li e entendi as informações precedentes, bem como, eu e os responsáveis pelo projeto já discutimos todos os riscos e benefícios decorrentes deste, sendo que as dúvidas futuras que possam vir a ocorrer, poderão ser prontamente esclarecidas, bem como o acompanhamento dos resultados obtidos durante a coleta de dados.

Comprometo-me, na medida das minhas possibilidades, prosseguir com as avaliações até a sua finalização, visando além dos benefícios trazidos com este, colaborar para um bom desempenho do trabalho científico dos responsáveis por este projeto. Tenho, no entanto, a liberdade de retirar meu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo sem penalização alguma ou prejuízo do meu cuidado.

São Carlos, de de 200

Nome do voluntário

Assinatura

Karla Rocha Python

Mestranda

Fone: (16) 3306-8467

Profª. Dra. Ester da Silva

Orientadora

Fone: (16) 260-8705

APÊNDICE C

Tabela IX. Resultado dos exames laboratoriais de hemograma; urina; glicemia, uréia ácido úrico e creatinina, em mg/dl; triglicérides, colesterol total, LDL, HDL, em mg/100ml dos voluntários estudados. Valores apresentados em média, desvio padrão e em mediana.

VOLUNTÁRIO	Hemograma	Urina (tipo I)	Glicemia (mg/dl)	Uréia (mg/dl)	Ácido Úrico (mg/dl)	Creatinina (mg/dl)	Triglicérides (mg/100ml)	Colesterol total (mg/100ml)	LDL (mg/100ml)	HDL (mg/100ml)
1	Normal	Normal	100	34	6,0	1,3	113	198	124	51
2	Normal	Normal	93	26	5,2	1,1	84	199	136	46
3	Normal	Normal	77	25	5,9	1,1	84	126	74	35
4	Normal	Normal	65	20	4,7	0,7	35	140	84	49
5	Normal	Normal	77	22	3,7	0,9	52	141	71	60
6	Normal	Normal	77	33	5,9	1,1	84	126	74	35
7	Normal	Normal	68	30	5,0	1,2	35	171	113	51
8	Normal	Normal	65	28	5,4	1,0	59	140	76	52
Media	-	-	74,57	26,29	5,11	1,01	61,86	149,00	89,71	46,86
DP	-	-	9,86	4,50	0,76	0,17	22,43	26,67	25,00	9,15
Mediana	-	-	77	26	5,2	1,1	59	140	76	49
Valores de referência	-	-	65 a 110	10 a 50	2,5 a 6,0	0,5 a 1,4	35 a 190	140 a 200	Inferior a 130	40 a 65

APÊNDICE D

Tabela X. Resultado dos eletrocardiograma (ECG) de repouso e valores de frequência cardíaca (FC) em batimentos por minuto (bpm), pressão arterial sistólica (PAS em mmHg) e pressão arterial diastólica (PAD em mmHg), em repouso supino e no pico de potência (W) do teste ergométrico clínico. Valores apresentados em média, desvio padrão e em mediana.

Voluntário	ECG repouso	FC repouso (bpm)	PAS repouso (mmHg)	PAD repouso (mmHg)	FC pico (bpm)	PAS pico (mmHg)	PAD pico (mmHg)	potência pico (W)
1	sem alterações	66	125	85	199	195	85	200
2	sem alterações	71	120	80	185	200	110	175
3	sem alterações	80	120	70	190	210	60	300
4	sem alterações	68	110	80	194	220	85	250
5	sem alterações	80	120	75	195	220	80	200
6	sem alterações	52	110	80	198	210	90	225
7	sem alterações	69	120	80	203	200	90	250
8	sem alterações	48	120	80	185	220	80	250
média	-	67	118	79	194	209	85	231
DP	-	12	5,30	4,43	6,55	10,16	13,89	39,53
mediana	-	69	120	80	195	210	85	238

APÊNDICE E

Tabela XI: Nível de potência em Watts (W) no qual foi determinado o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do teste contínuo em rampa e potências do teste descontínuo em degraus realizados pelos voluntários.

Voluntário	Potência (W)			
	Teste contínuo em rampa	Teste descontínuo em degraus		
	LAV 100%	degrau 1 70% LAV	degrau 2 100% LAV	degrau 3 130% LAV
1	80	56	80	104
2	114	80	114	148
3	112	78	112	146
4	89	62	89	116
5	100	70	100	130
6	122	85	122	159
7	105	74	105	137
8	103	72	103	134
Média	103,13	72,19	103,13	134,06
DP	13,63	9,54	13,63	17,72
Mediana	104	73	104	135,5