

Camila Peter Hoefelmann

**REPRODUTIBILIDADE E VALIDADE DA ELETROMIOGRA-
FIA DE SUPERFÍCIE COMO UM MÉTODO PARA IDENTIFI-
CAÇÃO DOS LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA NO
CICLISMO**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Educação Física da
Universidade Federal de Santa Catari-
na para a obtenção do grau de Mestre
em Educação Física.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Diefen-
thaeler

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Hoefelmann, Camila Peter

Reprodutibilidade e validade da eletromiografia de superfície como um método para identificação dos limiares de transição fisiológica no ciclismo / Camila Peter Hoefelmann ; orientador, Fernando Diefenthaler - Florianópolis, SC, 2013.

136 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Inclui referências

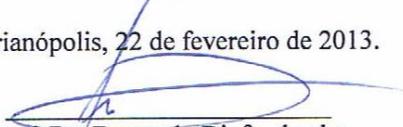
1. Educação Física. 2. ciclismo. 3. limiar eletromiográfico. 4. limiares de lactato. 5. limiares ventilatórios. I. Diefenthaler, Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

Camila Peter Hoefelmann

REPRODUTIBILIDADE E VALIDADE DA ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE COMO UM MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA NO CICLISMO

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Educação Física” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Educação Física.

Florianópolis, 22 de fevereiro de 2013.

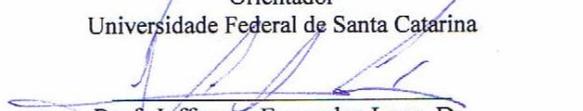


Prof. Dr. Fernando Diefenthaler
Coordenador do Curso

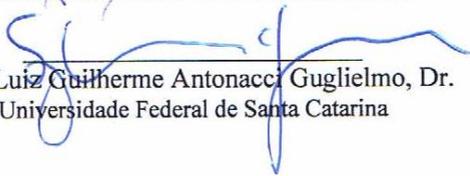
Banca Examinadora:



Prof. Fernando Diefenthaler, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Jefferson Fagundes Loss, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Aos meus pais, Verner e Edeli, por
todo o apoio, amor e carinho que me
tornaram capaz de chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edeli e Verner, agradeço por todo amor, carinho e compreensão. Já faz mais de 10 anos que eu resolvi me mudar para Florianópolis para cursar Educação Física na UFSC. Desde lá, me apaixonei pela “ilha da magia” e não quis mais voltar. Eu escolhi essa cidade para viver! É aqui que conquistei grandes amizades, que eu tenho vivido lindos momentos! É aqui que eu fiz a minha graduação, me especializei e agora estou prestes a concluir mais uma etapa acadêmica de minha vida. É aqui que tenho desenvolvido e aprimorado a minha atuação profissional. Tudo isso devo a vocês, que sempre me orientaram, me apoiaram e me incentivaram ao longo de toda a minha vida. Obrigada por todos os ensinamentos e por todos os princípios de vida que vocês me transmitiram, valores que levarei sempre comigo no coração. Eu amo muito vocês!

À minha irmã Luana, minha melhor amiga! Juntas, temos vivido muitos bons momentos e temos aprendido e amadurecido muito uma com a outra. Obrigada por tudo, eu te amo! Ao meu irmão, Tiago, meu melhor amigo! Obrigada por todo carinho, atenção e apoio! À minha cunhada Loli e ao meu cunhado Daniel, vocês são muito queridos e importantes pra mim! Obrigada por tudo!

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina por me proporcionar um ensino superior gratuito de qualidade, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro concedido durante os dois anos de estudos.

Aos professores do Programa de Graduação e Pós-Graduação em Educação Física, obrigada! Em especial, ao meu orientador Fernando Diefenthaler, obrigada pela oportunidade, pela confiança e por todos os ensinamentos!

Aos membros titulares da banca examinadora, professor Jefferson Loss, obrigada pela disponibilidade em oferecer as suas ricas contribuições para o meu trabalho. Ao professor e coordenador do LAEF, Luiz Guilherme Guglielmo, obrigada pelo apoio e por todos os ensinamentos que tenho tido com você, desde a graduação.

A todos os colegas do BIOMECH que de alguma forma me auxiliaram e me apoiaram no desenvolvimento do estudo, obrigada! Agradeço em especial ao Fábio Lanferdini e ao Joscelito Berneira pela grande ajuda durante as coletas de dados; e ao Luis Antônio de Lima, o nosso “engenheiro de plantão”, pelo seu papel essencial nas análises da EMG, muito obrigada!

Aos colegas do LAEF, agradeço a parceria e os aprendizados! Em especial ao Ricardo Dantas, obrigada por toda a sua paciência e disposição em ajudar sempre que precisei! Eu sempre aprendo muito com você e admiro a sua atuação acadêmica e profissional. Aos atletas, agradeço por se disponibilizaram em participar como voluntários do estudo, realizando os quatro dias de testes com muita dedicação e seriedade!

Em especial, agradeço ao amigo Vitor Costa, um gigante do mountain bike e da fisiologia do exercício! Você abraçou o meu projeto desde o início e teve muita paciência, conhecimento e uma didática incrível para me orientar e me ensinar ao longo de todo o processo. Eu aprendi e sigo aprendendo muito com você! Obrigada por tudo!

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar a reprodutibilidade e a validade da eletromiografia de superfície (EMG) como um método de identificação dos limiares fisiológicos. A validade foi investigada por meio da comparação com a resposta do lactato sanguíneo (LL1 e LL2) e parâmetros ventilatórios (LV1 e LV2) em protocolos incrementais do tipo degrau e rampa, respectivamente. Dezoito ciclistas bem treinados (25 ± 8 anos, $70,6 \pm 7,7$ kg, $177,2 \pm 4,7$ cm) realizaram uma série de testes incrementais em ordem aleatória: 1) dois testes incrementais degrau (30 W a cada 3 min) para identificar a potência máxima (Pmax), o consumo máximo de oxigênio (VO_2 max), a frequência cardíaca máxima (FCmax) e as intensidades referentes aos LL e LEMG; 2) dois testes incrementais rampa (2 W a cada 1 s) para identificar a Pmax, VO_2 max, a FCmax e as intensidades referentes aos LV e LEMG. O LEMG foi identificado por inspeção visual e modelos matemáticos. Foi utilizada estatística descritiva (média \pm dp). Para verificar a normalidade dos dados, utilizou-se o teste de *Shapiro-Wilk*. O teste t de student para amostras pareadas, o índice de correlação intra-classe (ICC), o erro típico de medida (ETM) e o coeficiente de variação do ETM (ETM_{CV}) foram utilizados para análise de reprodutibilidade. Para a validade, utilizou-se a análise de variância “one-way” para dados repetidos (ANOVA), a correlação de Pearson (Matrix) e a análise de concordância de Bland e Altman. O nível de significância foi $p < 0,05$. O $LEMG_{visualrampaRF}$ apresentou alta reprodutibilidade, com baixa variabilidade intra-individual ($ETM_{CV}=3,5\%$) e significativas correlações ($ICC=0,90$; $p < 0,05$); assim como o $LEMG_{visualdegrauRF}$ ($ETM_{CV}=4,9\%$; $ICC=0,83$; $p < 0,05$); o LV2 ($ETM_{CV}=2,6\%$; $ICC=0,96$; $p < 0,05$); e o $LL_{2,3,5}$ ($ETM_{CV}=2,1\%$; $ICC=0,96$; $p < 0,05$). O $LEMG_{visualrampaRF}$ (323 ± 34 W; 79 ± 5 % Pmax) não apresentou diferença significativa em relação ao LV2 (310 ± 42 W; 76 ± 7 % Pmax), com significativas correlações ($r=0,57$; $p < 0,05$) em 16 sujeitos, contudo houve alta variabilidade individual pela análise de concordância. O $LEMG_{visualdegrauRF}$ (277 ± 30 W; 85 ± 5 % Pmax) não apresentou diferenças significativas em relação ao $LL_{2,3,5}$ (262 ± 31 W; 80 ± 4 % Pmax), com significativas correlações ($r=0,64$; $p < 0,05$) em 11 ciclistas, mas com alta variabilidade individual. Em ciclistas competitivos, o LEMG identificado por inspeção visual em protocolo rampa e degrau apresenta alta reprodutibilidade. O LEMG apresenta validade para estimar o LV2 e LL2 quando analisados os valores médios, contudo a baixa concordância entre os valores individuais pode limitar a sua utilização.

Palavras-chave: ciclismo, teste incremental, limiares eletromiográficos, limiares de lactato e limiares ventilatórios.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the reliability and validity of the electromyography (EMG) as a method to identify the physiological thresholds (PT). The validity was using the blood lactate response (LT1 and LT2) and ventilatory parameters (LV1 and LV2) during incremental step and ramp protocols, respectively. Eighteen well-trained cyclists (25 ± 8 years, 70.6 ± 7.7 kg, 177.2 ± 4.7 cm) were volunteered for this study. Cyclists performed in a random order a serie of incremental exercise tests to analyze reliability and validity of LEMG: 1) two incremental step tests (30W every 3 min) to identify maximum power output (Pmax), maximal oxygen uptake (VO_2 max), maximum heart rate (HRmax) and intensities at LL and LEMG; 2) two incremental ramp test (1W every 2s) to identify Pmax, VO_2 max, HRmax and intensities at VL and LEMG. The LEMG was determined by visual inspection and mathematical models. Descriptive statistics was used as mean \pm SD. Shapiro-Wilk test was used to verify the normality of the data. Student's t test for paired samples, intraclass correlation coefficients (ICC), typical error of measurement (ETM) and coefficient of variation (ETM_{CV}) were calculated to determine the test-retest reliability. Anova one way with repeated measures to compare the means of the validity. Also, pearson correlation (Matrix) and analysis of concordance was used. The level of significance was $p < 0.05$. The main results were that great part of the variables showed high test-retest reproducibility. The $LEMG_{\text{visualrampRF}}$ ($ETM_{CV} = 3.5\%$; $ICC = 0.90$); $LEMG_{\text{visualstepRF}}$ ($ETM_{CV} = 4.9\%$; $ICC = 0.83$); VT2 ($ETM_{CV} = 2.6\%$; $ICC = 0.96$); and LL_{2,3,5} ($ETM_{CV} = 2.1\%$; $ICC = 0.96$). The $LEMG_{\text{visualrampRF}}$ (323 ± 34 W) showed non-significant difference compared to LV2 (310 ± 42 W), with significant correlations ($r = 0.57$) in 16 cyclists; however there was high individual variability on the data. The $LEMG_{\text{visualstepRF}}$ (277 ± 30 W) was not significant different compared to LL_{2,3,5} (262 ± 31 W), with significant correlations ($r = 0.64$) in 11 cyclists; also high individual variability was found between the measures. Therefore, the LEMG identified by visual inspection during step and ramp incremental exercise test shows high reliability. The non-significant differences on the mean values between the LEMG and both PT showed validity of the data; however, the low concordance between the individual values may limit its use.

Key-words: cycling, incremental test, EMG thresholds, lactate threshold and ventilatory thresholds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Conceito proposto por Kindermann et al (1979): gráfico lactato x intensidade com inclusão da transição aeróbia-anaeróbia como um modelo para obter as diferentes zonas de intensidade do treinamento aeróbio (adaptado de Faude et al, 2009).....	27
Figura 2.	Método v-slope proposto por Beaver et al (1986) para identificação do LV1 (adaptado de Meyer et al, 2005).....	34
Figura 3.	Método proposto por Beaver et al (1986) para identificação do LV2 (adaptado de Meyer et al, 2005).....	34
Figura 4.	Método de identificação do LV1 e LV2 proposto por Davis (1985) (LUCIA et al, 2000).....	35
Figura 5.	Exemplo individual do método de identificação do limiar de fadiga proposto por deVries et al (1982).....	39
Figura 6.	Ilustração do protocolo descontínuo submáximo para identificação do limiar de fadiga proposto por deVries et al (1987).....	40
Figura 7.	Limiares eletromiográficos identificados no domínio do tempo e da frequência do sinal EMG durante protocolo de teste incremental em cicloergômetro proposto por CAMIC et al (2010).....	42
Figura 8.	Primeiro e segundo limiar eletromiográfico identificados em protocolo incremental contínuo máximo em cicloergômetro (LUCIA et al, 1999).....	57
Figura 9.	Análise de concordância de Bland e Altman entre LEMG _{visualdegrauRF} e LV2.....	87
Figura 10.	Análise de concordância de Bland e Altman entre LEMG _{visualdegrauRF} e LL2 _{3,5}	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Reprodutibilidade e comparação da potencia máxima – Pmax (W), frequência cardíaca máxima – FCmax (bpm) e consumo máximo de oxigênio -VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) provenientes dos testes degrau e rampa.....	77
Tabela 2.	Frequência de sujeitos em que foi detectado o LEMG pelas diferentes análises matemáticas e de inspeção visual do sinal EMG, assim como os valores médios ± desvio padrão e coeficiente de variação inter-individual.....	78
Tabela 3.	Frequência de sujeitos em que foram detectados dois limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2) pelas análises tri-segmentar (simultânea e fracionada) durante o protocolo rampa, assim como os valores médios ± desvio padrão e coeficiente de variação interindividual.....	79
Tabela 4.	produtibilidade das potências (W) referentes aos limiares de lactato (LL), ventilatórios (LV) e eletromiográficos (LEMG).....	80
Tabela 5.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{bisegRF} , LL e LV (n=12).....	82
Tabela 6.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{1trisimRF} , LL1 e LV1 (n=10).....	82
Tabela 7.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{2trisimRF} , LL2 e LV2 (n=5).....	82
Tabela 8.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{2trisimVL} , LL2 e LV2 (n=7).....	82
Tabela 9.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{1trifracRF} , LL1 e LV1 (n=7).....	83
Tabela 10.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{2trifracRF} , LL2 e LV2 (n=12).....	83
Tabela 11.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{2trifracVL} , LL2 e LV2 (n=11).....	83
Tabela 12.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{visualrampaRF} , LL e LV (n=16).....	83
Tabela 13.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG _{visualrampaVL} , LL e LV (n=18).....	84

Tabela 14.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMGvisualdegrauRF, LL e LV (n=11).....	84
Tabela 15.	Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMGvisualdegrauVL, LL e LV (n=11).....	84

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

bpm -	Batimentos cardíacos por minuto
cm -	Centímetros
CO ₂ -	Dióxido de carbono
EMG -	Eletromiografia de superfície
FC -	Frequência cardíaca
FCmax -	Frequência cardíaca máxima
kg -	Quilograma
[Lac] -	Concentração de lactato
LEMG -	Limiar eletromiográfico
LEMG1 -	Limiar eletromiográfico 1
LEMG2 -	Limiar eletromiográfico 2
LEMG _{MPFVL} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo valor MPF no músculo vasto lateral
LEMG _{MPRF} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo valor MPF no músculo reto femoral
LEMG _{RMSVL} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo valor RMS no músculo vasto lateral
LEMG _{RMSRF} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo valor RMS no músculo reto femoral
LEMG _{bisegVL} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo método bi-segmentar no músculo vasto lateral
LEMG _{bisegVL} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo método bi-segmentar no músculo reto femoral
LEMG _{trifracVL} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo método tri-segmentar fracionado no músculo vasto lateral
LEMG _{trifracRF} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo método tri-segmentar fracionado no músculo reto femoral.
LEMG _{trisimVL} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo método tri-segmentar simultâneo no músculo vasto lateral.
LEMG _{trisimRF} -	Limiar eletromiográfico identificado pelo método tri-segmentar simultâneo no músculo reto femoral.
LEMG _{visualrampaVL}	Limiar eletromiográfico identificado por inspeção visual no músculo vasto lateral durante teste rampa
LEMG _{visualrampaRF}	Limiar eletromiográfico identificado por inspeção visual no músculo reto femoral durante teste rampa
LEMG _{visualdegrauVL}	Limiar eletromiográfico identificado por inspeção visual no músculo vasto lateral durante teste degrau
LEMG _{visualdegrauRF}	Limiar eletromiográfico identificado por inspeção visual no músculo reto femoral durante teste degrau

LF -	Limiar de fadiga
LL -	Limiar de lactato
LL1 -	Limiar de lactato 1
LL1 _{visual}	Limiar de lactato 1 identificado por inspeção visual
LL1 _{2,0}	Limiar de lactato 1 identificado por concentração fixa de 2 mmol.l ⁻¹
LL1 _{Berg}	Limiar de lactato 1 identificado pelo método individual
LL2 -	Limiar de lactato 2
LL1 _{,3,5}	Limiar de lactato 2 identificado por concentração fixa de 3,5 mmol.l ⁻¹
LL1 _{Berg}	Limiar de lactato 2 identificado pelo método individual
ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	Mililitros por quilo de peso por minuto
LTF -	Limiares de transição fisiológica
LTF1 -	Limiar de transição fisiológica 1
LTF2 -	Limiar de transição fisiológica 2
LV -	Limiares ventilatórios
LV1 -	Limiar ventilatório 1
LV2 -	Limiar ventilatório 2
MFEL -	Máxima fase estável de lactato
mmol·L ⁻¹ -	Concentração de lactato em milimolares por litro de sangue
MPF -	median power frequency
O ₂ -	Oxigênio
PC -	Potência crítica
Pmax -	Potência máxima
RF -	Reto femoral
RMS -	Root mean square
rpm -	Rotações por minuto
VE -	Ventilação pulmonar
VE/VO ₂ -	Equivalente ventilatório de oxigênio
VE/VCO ₂ -	Equivalente ventilatório de dióxido de carbono
VL -	Vasto lateral
VO ₂ -	Consumo de oxigênio
VO ₂ max -	Consumo máximo de oxigênio
W -	Watts
W·min -	Watts por minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	19
1.2	OBJETIVOS.....	23
1.2.1	Objetivo Geral.....	23
1.2.2	Objetivos Específicos.....	24
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	25
2.1	LIMIARES DE LACTATO E VENTILATÓRIOS.....	25
2.1.1	Introdução ao conceito de limiares.....	25
2.1.2	Protocolo e critérios de identificação dos limiares de lactato.....	28
2.1.3	Protocolo e critérios de identificação dos limiares ventilatórios.....	32
2.2	LIMIARES ELETROMIOGRÁFICOS.....	36
2.2.1	Conceito e métodos de identificação.....	36
2.2.2	Evidências da validade comparado aos limiares de transição fisiológica.....	46
2.2.2.1	Evidências da validade do LEMG comparado ao LV1 e LL1.....	47
2.2.2.2	Evidências da validade do LEMG comparado ao LV2 e LL2.....	53
2.2.2.3	Evidências da validade do LEMG1 e LEMG2 comparados ao LV1, LL1, LV2 e LL2.....	56
2.2.3	Reprodutibilidade do LEMG.....	61
2.2.4	Considerações finais sobre LEMG.....	62
3.	MÉTODOS.....	65
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	65
3.2	SUJEITOS DO ESTUDO.....	65
3.3	INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	65
3.4	COLETA DE DADOS.....	66
3.5	PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS....	68
3.5.1	Avaliação antropométrica.....	69
3.5.2	Teste incremental degrau em cicloergômetro.....	69
3.5.3	Teste incremental rampa em cicloergômetro.....	69
3.6	TRATAMENTO DOS DADOS.....	70
3.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	74
4.	RESULTADOS.....	77
4.1	REPRODUTIBILIDADE E COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES MÁXIMOS.....	77
4.2	FREQUENCIAS DE IDENTIFICAÇÃO DA PO-	

	TÊNÇIA REFERENTE AO LEMG.....	78
4.3	REPRODUTIBILIDADE DO LEMG, LL E LV.....	79
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE LEMG, LL E LV.....	81
4.5	ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA ENTRE LEMG, LV2 e LL _{3,5}	87
5.	DISCUSSÃO	89
5.1	REPRODUTIBILIDADE DO LEMG.....	89
5.2	VALIDADE DO LEMG.....	99
5.3	VALIDADE DO LEMG COMPARADO AO LV.....	101
5.4	VALIDADE DO LEMG COMPARADO AO LL.....	110
6.	CONCLUSÕES	119
	REFERENCIAS	121
	APENDICE	131

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

O treinamento considerado adequado para cada modalidade esportiva depende em grande parte da determinação da intensidade de exercício capaz de ativar os diferentes sistemas de energia solicitados primordialmente pela atividade em questão. Dessa forma, a avaliação da intensidade de treinamento se torna essencial para alcançar bons resultados no esporte (BURNLEY e JONES, 2007). Os limiares metabólicos, ou limiares de transição fisiológica (LTF), têm sido considerados índices adequados para a determinação dos domínios de intensidade de exercício (PRIGLE e JONES, 2002); avaliação e predição do desempenho em modalidades onde a capacidade aeróbia é determinante (BENEKE et al, 2003); prescrição de intensidades de exercício e controle dos efeitos de treinamento (WELTMAN et al, 1992).

Atualmente, há um grande número de metodologias e terminologias utilizadas na literatura para identificar os LTF, mas que basicamente representam apenas duas respostas fisiológicas ao exercício. De forma geral, o primeiro LTF (LTF1) representa o primeiro aumento significativo de intensidade metabólica em relação ao repouso e a mínima intensidade para a obtenção de melhorias no componente aeróbio (BEAVER et al, 1985; FARREL et al, 1979; KINDERMAN et al, 1979). O segundo (LTF2) pode ser considerado como a intensidade ideal para melhoria da capacidade aeróbia, e exercícios realizados em torno desta intensidade aumentam a participação do metabolismo anaeróbio (HECK et al,

1985; KINDERMAN et al, 1979). Ambos os LTF são identificados por meio da mensuração da concentração de lactato sanguíneo - [Lac] (limiar de lactato 1 – LL1; e limiar de lactato 2 – LL2) ou de parâmetros ventilatórios (limiar ventilatório 1 – LV1; e limiar ventilatório 2 – LV2) durante um protocolo de teste incremental.

Na década de 1980, deVries e colaboradores (1982) desenvolveram os primeiros estudos associando o sinal eletromiográfico com alterações metabólicas (limiares de lactato - LL) e ventilatórias (limiares ventilatórios - LV). A partir de um modelo matemático originado do método de determinação da potência crítica (PC) em um protocolo descontínuo em cicloergômetro (MORITANI et al, 1981), os autores propuseram a identificação do limiar de fadiga (LF). De acordo como os autores, esse índice representa a mais alta potência que pode ser sustentada sem evidência de fadiga neuromuscular (“*the onset of fatigue*”) (deVRIES et al, 1982). Em 1987, outro estudo liderado pelo mesmo pesquisador propôs um novo modelo matemático para determinar o LF a partir de um protocolo descontínuo submáximo para aplicá-lo em pacientes clínicos (deVRIES et al, 1987). Alguns anos depois, o mesmo modelo foi aplicado em um protocolo incremental (contínuo) do tipo degrau (estágios de 2 min), demonstrando que o LF poderia ser identificado a partir de um único teste por meio da análise do sinal da eletromiografia de superfície (EMG) no domínio do tempo (*root mean square - RMS*) (deVRIES et al, 1990). Recentemente, Camic e colaboradores (2010) utilizaram este mesmo teste e modelo matemático e o adaptaram para a análise no domínio da frequência (*median power frequency – MPF*). Os autores encontraram um LF para cada tipo de análise (RMS e

MPF), ambos em intensidades de exercício coincidentes com os LV (LV1 e LV2, respectivamente).

A validade do LF para detectar a intensidade associada ao LV e LL também foi investigada por diversos estudos a partir de outras análises do sinal EMG, principalmente durante protocolo incremental do tipo rampa (LUCIA et al, 1997,1999) ou pequenos degraus (estágios ≤ 1 min) (HUG et al, 2003a,b; MELLO et al, 2006; JURIMAE et al, 2007; CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; NAGATA et al, 1981). O LF também passou a receber outra nomenclatura, como limiar eletromiográfico (LEMG). Basicamente, os autores propõem a identificação do momento em que ocorre um aumento não-linear (“breakpoint”) da amplitude do sinal EMG por meio de modelos matemáticos de regressões lineares (LUCIA et al, 1997 e 2000; CANDOTTI et al, 2008; MELLO et al, 2006) ou por inspeção visual dos dados RMS plotados em função da intensidade de exercício (AIRAKSINEN et al, 1992; CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 2008; HUG et al, 2003b; JURIMAE et al, 2007). Estes estudos foram desenvolvidos em diferentes grupos, como ciclistas recreacionais (CAMATA et al, 2008; CANDOTTI et al, 2008; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; HUG et al, 2003b; SEBURN et al, 1992), ciclistas profissionais (LUCIA et al, 2000; HUG et al, 2003; HELAL et al, 1987), e até mesmo cardiopatas (LUCIA et al, 1997).

Dentre os resultados encontrados, alguns apontam a validade do LEMG para identificação do LV1 (HELAL et al, 1987; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; GRAEF et al, 2008; HUG et al, 2003b; LUCIA et al, 1997; MELLO et al, 2006), outros não verificaram associação entre os dois referidos índices (HUG et al, 2003a, GLASS et al, 1997;

MORITANI et al, 1993), enquanto outras evidências sugerem a sua aplicabilidade para estimar o LV2 (CAMATA et al, 2008; HUG et al, 2003a; JURIMAE et al, 2007; LUCIA et al, 1999). A validade do LEMG para detectar a intensidade associada ao LL1 ou LL2 também parece estar contraditória. Enquanto alguns encontraram coincidência entre os dois métodos (CANDOTTI et al, 2008; LUCIA et al, 1997; MONETA et al, 1998), outros não observaram esta associação (MONETA et al, 1994; NAGATA et al, 1981; PRINGLE e JONES, 2002; SEBURN et al, 1992; HELAL et al, 1987; deVRIES et al, 1982).

Recentemente, dois estudos observaram duas perdas de linearidade do sinal EMG (LEMG1 e LEMG2) durante protocolo incremental (LUCIA et al, 1999; HUG et al, 2003a), e não apenas uma como verificado nos demais estudos. Hug e colaboradores (2003a) relataram coincidência apenas entre o segundo limiar (LEMG2 e LV2). Em contrapartida, Lucia et al (1999) verificaram fortes correlações entre o primeiro (LEMG1, LV1 e LL1) e o segundo (LEMG2, LV2 e LL2), todos determinados a partir de protocolo do tipo rampa. Em contrapartida, alguns autores parecem demonstrar que a identificação do LEMG parece ser sensível, vulnerável ou até mesmo limitado por fatores como a temperatura ambiente (TYKA et al, 2009), depleção de glicogênio (GLASS et al 1997) e níveis da [Lac] (SEBURN et al, 1992).

Em uma criteriosa revisão de literatura realizada pelo presente estudo, foi possível observar que as diversas nomenclaturas, critérios e protocolos de teste existentes para a identificação e descrição dos LTF parecem ter resultado em algumas divergências no emprego das variáveis e na interpretação do que elas representam, o que pode representar uma limitação para os resultados apresentados em relação à validade do

LEMG. Para alguns autores, um protocolo incremental do tipo rampa ou pequenos degraus (estágios ≤ 1 min) parece ser mais indicado para determinação do LV1 e LV2 (WESTON e GABBETT, 2001; LUCIA et al, 2000; DENADAI et al, 1999), enquanto isso, parece consenso que um do tipo degrau (com estágios ≥ 3 min) parece ser mais preciso para determinação do LL1 e LL2 (DENADAI, 1999; DAVIS et al, 2007; BENTLEY et al, 2007). O entendimento do comportamento do fenômeno investigado também parece crucial para que os ajustes matemáticos sejam realizados da forma mais adequada na tentativa de identificar o LEMG.

Além disso, apesar de muitos estudos procurarem demonstrar a validade do uso da EMG como uma alternativa para a identificação dos LTF, poucos investigaram a sua reprodutibilidade (deVRIES et al, 1987; LUCIA et al, 1999). Desta forma, a determinação da validade do LEMG, sem antes garantir que o índice é reprodutível, limita a sua aplicabilidade prática. Portanto, em virtude dos pressupostos supracitados e por não haver pesquisas sobre a reprodutibilidade e a validade do LEMG ao compará-lo com LV e LL identificados a partir de um protocolo incremental rampa e degrau respectivamente em uma mesma amostra, surge a seguinte questão a investigar: a EMG é um método reprodutível e válido para identificar as intensidades referentes aos LV e LL obtidos, respectivamente, em protocolos incrementais do tipo rampa e degrau em cicloergômetro?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Investigar a reprodutibilidade e a validade da EMG como um método de identificação dos LTF por meio da comparação com a resposta do lactato sanguíneo (LL1 e LL2) e parâmetros ventilatórios (LV1 e LV2) em protocolos incrementais do tipo degrau e rampa em cicloergômetro.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Comparar e correlacionar as intensidades referentes aos limiares eletromiográficos identificados a partir de um modelo matemático nos testes rampa 1 e 2;
2. Comparar e correlacionar as intensidades referentes aos limiares eletromiográficos identificados a partir de um modelo matemático nos testes degrau 1 e 2;
3. Comparar e correlacionar as intensidades referentes aos limiares eletromiográficos identificados a partir de um modelo de inspeção visual nos testes rampa 1 e 2;
4. Comparar e correlacionar as intensidades referentes aos limiares eletromiográficos identificados a partir de um modelo de inspeção visual nos testes degrau 1 e 2;
5. Comparar e correlacionar as intensidades referentes aos limiares eletromiográficos e ventilatórios.
6. Comparar e correlacionar as intensidades referentes aos limiares eletromiográficos e de lactato.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Em virtude de um dos objetivos deste trabalho se destinar a averiguar a validade do LEMG por meio da comparação com respostas do lactato sanguíneo e variáveis respiratórias, considerou-se conveniente pontuar algumas questões sobre os LL e LV na presente revisão de literatura. Portanto, o tópico seguinte (“2.1”) aborda questões referentes a conceituações, metodologias e critérios de determinação dos LTF encontradas na literatura e que também servirão de base para as considerações feitas sobre os limiares eletromiográficos abordados no tópico “2.2”.

2.1 LIMIARES DE LACTATO E VENTILATÓRIOS

2.1.1 Introdução ao conceito de limiares

Durante o início do século XX, o consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$) foi o primeiro e mais comum índice de avaliação aeróbia, ao distinguir o nível de condicionamento físico dos sujeitos (FAUDE et al, 2009). Contudo, a sua sensibilidade para distinguir a performance em grupos de atletas homogêneos com similar $VO_2\text{max}$ passou a ser questionada pela literatura (HECK et al, 1985; BASSET e HOWLEY, 2000). Além disso, a necessidade de determinação deste índice a partir de esforços máximos também limitou a sua aplicabilidade em pacientes clínicos. Nesse sentido, índices submáximos (limiares) foram sendo estabelecidos na literatura como parâmetros de avaliação cardiorrespiratória

tanto de atletas como de pacientes clínicos (FAUDE et al, 2009; MEYER et al, 2006).

Inicialmente, Hollmann (1963) estabeleceu o termo “*ponto de ótima eficiência respiratória*” como correspondente ao primeiro aumento do equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO_2) e da concentração arterial de lactato sanguíneo durante teste incremental. Wasserman e McLlory (1964) denominaram essa mesma intensidade de exercício como “*limiar anaeróbio*”, a partir da relação entre a ventilação e o VO_2 em cardiopatas. Com o desenvolvimento do método enzimático de mensuração do lactato sanguíneo, a [Lac] também passou a ser utilizada como um parâmetro para avaliar a capacidade aeróbia e diversos modelos de “*limiar de lactato*” foram desenvolvidos a partir da identificação do primeiro aumento da [Lac] durante exercício incremental (BEAVER et al, 1985; HUGSHON et al, 1987; WELTMAN et al, 1990).

Em 1979, Kindermann e colaboradores introduziram o termo “*transição aeróbia-anaeróbia*” como um conceito para a predição da performance e a prescrição do treinamento em esportes onde a capacidade aeróbia é determinante (figura 1). Desde então, esse modelo tem sido adotado, ampliado e aprimorado por diferentes pesquisadores por meio de marcadores de lactato sanguíneo ou de trocas gasosas. Este modelo consiste de dois limiares identificados durante um teste incremental, tanto por mensuração da [Lac] (LL1 e LL2) como pela observação de variáveis respiratórias (LV1 e LV2) (FAUDE et al, 2009; MEYER et al, 2005).

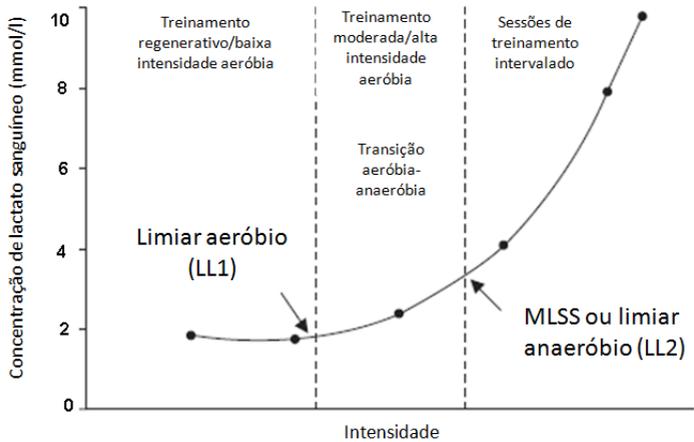


Figura 1 - Conceito proposto por Kindermann et al (1979): gráfico lactato x intensidade com inclusão da transição aeróbia-anaeróbia como um modelo para obter as diferentes zonas de intensidade do treinamento aeróbio (adaptado de Faude et al, 2009).

Conforme o modelo proposto por Kindermann et al (1979), na faixa de baixa intensidade, há uma intensidade em que a [Lac] apresenta o primeiro aumento em relação aos valores basais. Essa intensidade foi denominada pelos autores como “*limiar aeróbio*” (LL1) por indicar um limite de metabolismo quase exclusivamente aeróbio, permitindo a prática do exercício durante aproximadamente 4 horas. Esta intensidade de exercício refere-se a mesma originalmente proposta por Wasserman e McLlory (1964) a partir de trocas gasosas e denominada de “*limiar anaeróbio*”. Outras nomenclaturas tem sido encontradas na literatura para representar o mesmo índice fisiológico a partir de outros critérios, como “*onset of plasma lactate accumulation – OPLA*” (FARREL et al, 1979), “*limiar de lactato – LL*” (WELTMAN, et al., 1990), e “*menor equivalente*” (BERG et al, 1990).

Conforme o modelo de Kindermann et al (1979), intensidades de exercício logo acima do “*limiar aeróbio*” (LL1) resultam em elevadas, mas estáveis [Lac] durante exercícios de intensidade constante (FAUDE et al, 2009). A mais alta intensidade constante que ainda resulta em um equilíbrio entre a liberação e a remoção de lactato sanguíneo representa a máxima fase estável de lactato (MFEL), podendo ser mantida por períodos entre 45-60 min (BARON et al, 2008; BENEKE et al, 2003). Este índice foi denominado por Kindermann et al (1979) e referenciado por outros autores (HECK et al, 1985) como “*limiar anaeróbio*” (LL2), portanto, a mesma nomenclatura utilizada por Wassermann e McLlory para referir-se ao LL1, o que levou a uma considerável confusão e má interpretação destes fenômenos fisiológicos na literatura (FAUDE et al, 2009).

2.1.2 Protocolo e critérios de identificação dos limiares de lactato

Durante os últimos 50 anos, os limiares de lactato se tornaram importantes na avaliação aeróbia. Os debates científicos acerca do tema resultaram em diferentes terminologias, mecanismos fisiológicos e conceitos destes índices (FAUDE et al, 2009). Contudo, parece consenso que testes de exercício incremental promovem um aumento exponencial da [Lac] e que alterações nestas curvas podem indicar mudanças na capacidade aeróbia do avaliado (FAUDE et al, 2009; MEYER et al, 2004; DENADAI et al, 1999; BENTLEY et al, 2007; BENEKE et al, 2003).

Atualmente, considera-se que o comportamento da [Lac] durante exercício incremental e de intensidade constante apresenta dois típicos momentos fisiológicos, respectivamente: 1) a intensidade de exercí-

cio associada ao primeiro aumento da [Lac] em relação aos níveis basais (LL1); e 2) a mais alta intensidade constante de exercício que pode ser mantida por um longo período de tempo sem um contínuo aumento na [Lac] (MFEL) (FAUDE et al, 2009; BILLAT et al, 2003; MEYER et al, 2005; DENADAI et al, 1999). Para alguns autores, a intensidade referente a MFEL está associada ao LL2 (PRINGLE e JONES et al, 2002; DENADAI et al, 1999; HECK et al, 1985; GROSSL et al, 2012), um índice que tem recebido diferentes nomenclaturas, como “limiar anaeróbio” (KINDERMANN et al, 1979), “*onset blood lactate accumulation – OBLA*” (SJODIN e JACOBS, 1981), “limiar anaeróbio individual – IAT” (STEGMANN, 1981; BERG et al, 1990) e “lactato mínimo – LAC_{min}” (TEGTBUR et al, 1993), a depender do método utilizado para sua identificação.

A vantagem de identificação do LL2 consiste na possibilidade de identificar este índice de capacidade aeróbia em apenas um único teste incremental, diferentemente da MFEL, em que são necessárias diversas sessões de testes de intensidade constante com 30 min de duração realizadas em diferentes dias (BENEKE et al., 2003). Um aumento na [Lac] não maior que $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ entre o 20º e 30º min durante os testes de carga constante parece ser o procedimento mais adequado para determinar a MFEL (BENEKE et al, 2003).

Atualmente, um dos principais modelos utilizados na literatura para discriminar as diferentes intensidades de exercício a partir do comportamento exponencial do lactato sanguíneo durante um teste incremental assume a existência de três domínios fisiológicos (conforme a Figura 1 apresentada anteriormente), mas com diferentes nomenclaturas (moderado, pesado e severo). Neste modelo, o LL1 representa o limite

de transição entre o domínio moderado para o pesado e o LL2 ou a MFEL como o limite de transição entre o domínio pesado para o severo (PRINGLE e JONES, 2002). Portanto, aplicações práticas da determinação do LL2 incluem, além da avaliação e predição de performance em modalidades aeróbias (BENEKE et al, 2003), a prescrição de intensidades de exercício e o controle dos efeitos de treinamento (WELTMAN et al, 1990).

Em uma revisão de literatura sobre a influência da variação de protocolos de teste em marcadores usualmente utilizados para mensurar o desempenho, Bentley et al (2007) afirmam que a manipulação da duração dos estágios e incrementos pode levar a relevantes diferenças nas curvas de lactato sanguíneo. Uma possível razão seria o tempo necessário para ocorrer a difusão do lactato para a corrente sanguínea, antes do incremento do próximo estágio (BENTLEY et al, 2007). A literatura parece demonstrar que para obter mensurações precisas do lactato sanguíneo em resposta ao exercício incremental, são necessários estágios com duração entre 3-6 min, sendo que 3 min parecem promover a mais válida e reprodutível mensuração da performance aeróbia (BENTLEY et al, 2007).

Faude e colaboradores (2009), em uma criteriosa revisão de literatura, encontraram 25 diferentes conceitos dos limiares de lactato. Os autores dividiram as metodologias em três categorias: 1) métodos que utilizam concentrações fixas de lactato sanguíneo durante protocolo incremental (LL1 ou LL2); 2) que detectam o primeiro aumento na [Lac] acima dos valores basais (LL1); e 3) que identificam a MFEL ou uma mudança abrupta na curva de lactato sanguíneo (LL2). Na sequên-

cia, estão descritos brevemente alguns destes métodos, conforme apresentado em Faude et al (2009).

Em relação aos critérios de concentração fixa do lactato sanguíneo, Mader et al (1976) e Heck et al (1985) definiram o LL2 como a intensidade de exercício referente à concentração fixa de lactato de 4,0 e 3,5 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ em diferentes protocolos incrementais com estágios de duração de cinco e três min, respectivamente. Sjodin e Jacobs (1981) sugeriram a nomenclatura OBLA (*onset of blood lactate accumulation*) também referente à concentração fixa de lactato de 4,0 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Outros autores determinaram a concentração fixa de 2 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ como referente ao LL1 (KINDERMANN et al, 1979).

Entre os métodos de determinação do primeiro aumento da [Lac] acima dos valores basais (LL1), Weltman e colaboradores (1987) o determinaram como a intensidade associada a 0,2 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ acima do menor valor de lactato no exercício. Hughson e Green (1982) identificaram o LL1 a partir de um incremento de 0,5 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ acima das concentrações de repouso. O menor valor da divisão entre [Lac] e intensidade (menor equivalente) foi o critério utilizado por Berg et al (1990) para identificar este mesmo índice fisiológico. Já Beaver et al (1985) utilizaram uma transformação logarítmica (log-log) para encontrar o primeiro aumento da [Lac] mais objetivamente com a intersecção de duas regressões lineares.

Em divergência ao método de concentração fixa para determinar o LL2, alguns autores consideram que esse critério pode apresentar limitações no sentido de não considerar as variações individuais existentes na cinética da curva de lactato durante um teste incremental (STEGMANN, 1981; TEGBUR et al, 1993; BERG et al, 1990). Nesse

sentido, Stegmann et al (1981) propuseram que o LL2 poderia ser identificado a partir de valores individuais [Lac] determinadas durante um teste incremental. Em virtude da grande variabilidade interindividual nos resultados encontrados ([Lac] entre 1,4 e 7,5 mmol·l⁻¹), os autores apresentaram um método de determinação individual do LL2 (*individual anaerobic threshold* - IAT). A complexidade na determinação do IAT está nas sucessivas amostras de lactato sanguíneo coletadas no pós-exercício e no modelo matemático utilizado para a identificação do limiar. Por este método, o IAT é identificado por meio de uma linha reta traçada a partir da [Lac] de recuperação, tangente à [Lac] observada durante um teste incremental. Posteriormente, Berg et al. (1990) também propuseram um método individual denominado IAT na tentativa de facilitar a identificação do LL2. Os autores sugerem que o IAT seja identificado a partir de dois momentos: primeiro é identificado o menor valor equivalente entre o lactato e a carga ([Lac]·W⁻¹); em seguida é adicionado 1,5 mmol·l⁻¹ ao valor do menor equivalente entre o lactato e a carga para a obtenção do IAT.

2.1.3 Protocolo e critérios de identificação dos limiares ventilatórios

Durante exercício incremental, o primeiro aumento na liberação de lactato sanguíneo parece ocorrer pela desproporção existente entre a oferta e o requerimento de oxigênio pela mitocôndria, resultando no aumento da conversão de ácido pirúvico em ácido láctico no citoplasma da célula (WASSERMANN et al, 1973). Segundo os autores, em função do seu baixo ph, o ácido láctico é rapidamente e completamente dissociado (H⁺ e C₃H₅O₃⁻), sendo tamponado preferencialmente pelo sistema de

bicarbonato. Como esta reação ocorre preferencialmente no sangue, o resultado básico deste tamponamento é o aumento da formação de gás carbônico (CO_2) e consequentemente da pressão parcial de CO_2 (PCO_2). Assim, o CO_2 resultante do tamponamento se soma ao CO_2 produzido pelo metabolismo celular, determinando um aumento na ventilação pulmonar (VE) em relação à intensidade de exercício (VO_2). Portanto, a intensidade de exercício associada ao aumento da ventilação passou a ser denominada de LV1 (DAVIS, 1985; McLLELAN, 1985; LUCIA et al, 2000) embora, originalmente, Wasserman et al (1973) tenha denominado esse fenômeno de “limiar anaeróbio”. O termo “limiar anaeróbio”, como descrito no tópico anterior, também foi utilizado para denominar o LL2 (KINDERMANN et al, 1979), o que resultou em uma considerável confusão na literatura (MEYER et al, 2005).

A identificação gráfica do LV1 pode ser também realizada a partir do método v-slope (BEAVER et al, 1986), o qual plota o VCO_2 no eixo vertical e o VO_2 no eixo horizontal (Figura 2). Após uma relação inicialmente linear, surge um súbito aumento da curva indicando o excesso de CO_2 exalado. A intersecção das duas linhas de regressão para as partes superior e inferior da função indica o LV1. Conforme descrito em Meyer et al (2005), existem outros três critérios na literatura para a identificação do LV1: a) o primeiro aumento do equivalente parcial de O_2 (VE/VO_2), sem o concomitante aumento do equivalente parcial de CO_2 (VE/VCO_2); b) o primeiro aumento desproporcional da razão de trocas respiratórias ($\text{RER} = \text{VCO}_2/\text{O}_2$), ou seja, apenas uma nova expressão para o método v-slope já proposto por Beaver et al (1986); e c) primeiro aumento da fração expirada de O_2 .

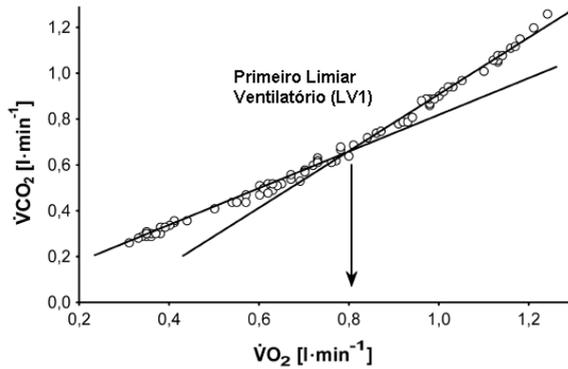


Figura 2 - Método v-slope proposto por Beaver et al (1986) para identificação do LV1 (adaptado de Meyer et al, 2005).

O LV2, ou ponto de compensação respiratória (PCR), representa o início da hiperventilação induzida pelo exercício e é determinada de forma similar ao v-slope, ou seja, um aumento desproporcional da VE (eixo vertical) relacionada ao VCO_2 (eixo horizontal) (Figura 3).

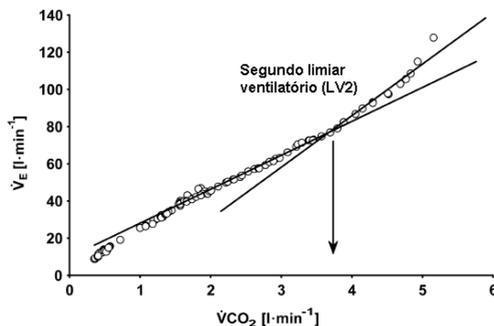


Figura 3 - Método proposto por Beaver et al (1986) para identificação do LV2 (adaptado de Meyer et al, 2005).

Outra metodologia usualmente utilizada na literatura é o aumento do VE/VCO_2 concomitante ao aumento do VE/VO_2 (DAVIS, 1985; McLLELAN et al, 1985). Segundo os autores, procura-se identificar durante um exercício incremental o momento onde existe um aumento da VE/VO_2 e da $P_{et}O_2$ sem uma mudança equivalente do VE/VCO_2 e da $P_{et}CO_2$. De acordo com a teoria proposta, o fato da VE/VCO_2 não aumentar na mesma intensidade onde ocorre o aumento da VE/VO_2 , permanecendo estável mesmo após alguns incrementos de carga, implica que a PCO_2 não se altera na região onde supostamente existe o tamponamento do ácido láctico (tamponamento isocápnico). Esta intensidade de exercício está associada ao LV1. À medida que a intensidade de exercício aumenta acima do LV1, existe um aumento da acidose metabólica, determinando uma queda acentuada do pH e com isso um aumento também da VE/VCO_2 e queda da $P_{et}CO_2$. Neste momento, atinge-se o ponto de compensação respiratória da acidose metabólica, ou LV2 (Figura 4).

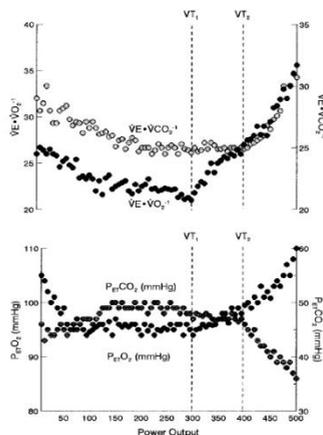


Figura 4 - Método de identificação do LV1 e LV2 proposto por Davis (1985) (LUCIA et al, 2000).

Para identificação dos limiares ventilatórios, usualmente são utilizados testes de natureza contínua com pequenos e rápidos incrementos do tipo degrau ou protocolos rampa, com duração total do teste não maior que 12 min (MEYER et al, 2005). Incrementos de 10-30 W e durações de estágios de 30-60 s parecem ser os mais usualmente utilizados (LUCIA et al, 2000; DAVIS, 1985; BEAVER et al, 1985; WASSERMAN et al, 1973; MEYER et al, 2005). Incrementos em estágios mais curtos se justificam pela sua maior sensibilidade para detectar o tamponamento isocápnico (aumento do VE/VO_2 sem aumento da VE/VCO_2), o que parece não ocorrer em estágios com durações maiores (3-5 min) (DAVIS, 1985). Meyer et al (2005) destaca que o protocolo rampa parece ser o mais indicado para determinar os limiares ventilatórios, diferentemente dos limiares de lactato que parecem ser melhor determinados em protocolos com incrementos do tipo degrau (*step*).

2.2 LIMIAR ELETROMIOGRÁFICO

2.2.1 Conceito e métodos de identificação

A EMG tem sido utilizada como um meio de fornecer informações sobre o padrão de ativação muscular e sobre como o sistema nervoso central controla o movimento, sendo também um método de estimativa da fadiga neuromuscular (MORITANI e YOSHITAKE, 1998). A fadiga neuromuscular é comumente identificada a partir das respostas do domínio do tempo e da frequência do sinal EMG. No domínio do tempo, a fadiga é caracterizada por um aumento na amplitude do sinal que reflete um recrutamento adicional de unidades motoras, aumento das taxas

de disparo e/ou sincronização (BASMAJIAN e DELUCA, 1985). No domínio da frequência, a fadiga está associada a uma compressão do espectro de frequência e redução da mediana de frequência que é determinada primariamente pela velocidade de condução da fibra muscular (BASMAJIAN e DELUCA, 1985) e mudanças no formato de onda do potencial de ação (MILLS, 1982).

Na década de 1980, estudos observaram um aumento da atividade EMG durante testes incrementais contínuos e descontínuos em cicloergômetro (deVRIES et al, 1982, 1987; NAGATA et al, 1981; HELAL et al, 1987; AIRAKSINEN et al, 1989; VITASSALO et al, 1985). Embora esse mecanismo não seja totalmente compreendido, alguns autores têm lhe atribuído o acúmulo local de subprodutos metabólicos, tais como o ácido láctico e os íons de hidrogênio (MORITANI e YOSHITAKE, 1998). Essas mudanças parecem afetar o acoplamento excitação-contração do músculo, incluindo as propriedades musculares de membrana e de propagação do potencial de ação, levando a uma consequente diminuição da força exercida e a uma contratilidade deficiente. Dessa forma, para compensar esta situação durante um exercício incremental, a produção de força muscular deve ser aumentada através do recrutamento adicional de unidades motoras (MORITANI E YOSHITAKE 1998).

Nesse sentido, ao mensurar a atividade EMG durante um protocolo descontínuo em cicloergômetro, deVries e colaboradores (1982) denominaram o limiar de fadiga (LF) como a mais alta potência que pode ser sustentada no cicloergômetro sem aumento na atividade eletromiográfica da musculatura envolvida. Neste estudo, os autores procuraram investigar a validade do LF através das relações com a PC (MO-

RITANI et al, 1981) e com o LV (DAVIS et al, 1976). DeVries e colaboradores (1982) analisaram a amplitude do sinal eletromiográfico no domínio do tempo do músculo vasto lateral (VL) de homens e mulheres durante consecutivos testes de tempo de exaustão (protocolo descontínuo) em diferentes intensidades no cicloergômetro. Os esforços foram realizados com cargas de intensidade constante correspondente a 275, 300, 350 e 400 W para homens e 225, 250, 300 e 350 para mulheres. Intervalos mínimos de 30 min foram realizados entre os esforços com o objetivo de proporcionar um tempo adequado para a frequência cardíaca retornar aos valores de 5 bpm acima dos valores pré-exercício (Figura 5).

Segundo os autores, o LF foi identificado a partir da taxa de inclinação da integral do sinal eletromiográfico (iEMG) em função do tempo calculada em cada teste de tempo de exaustão. Em um segundo momento, as cargas foram plotadas em função das suas respectivas inclinações para a obtenção da equação da reta. O intercepto da reta no eixo vertical (potência) quando a inclinação foi extrapolada para zero foi denominada como a potência referente ao LF, ou seja, a maior potência constante mantida pelo sujeito no cicloergômetro que não requer um aumento da atividade EMG dos grupos musculares envolvidos para mantê-la (Figura 5).

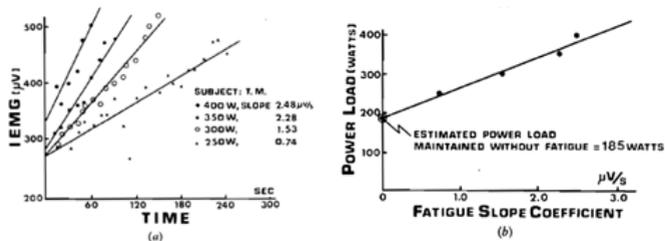


Figura 5 - Exemplo individual do método de identificação do limiar de fadiga proposto por deVries et al (1982).

Dentre os resultados alcançados, observam-se fortes correlações encontradas entre a potência no LF com a PC ($r=0,87$) sendo a associação ainda maior entre o LF e o LV ($r=0,90$), sugerindo que poderia haver um único fenômeno por trás desses índices. Além disso, o LF ($190,5 \pm 14$ W) parece ocorrer em uma intensidade de esforço próxima ao LV ($187,1 \pm 15,9$ W), não sendo observadas diferenças significativas entre as variáveis. No entanto, a PC ($165,9 \pm 12,8$ W) foi significativamente inferior ao LF. Sendo assim, apesar das fortes correlações encontradas, se torna prematuro sugerir que exista apenas um fenômeno que possa ser representado pelos índices avaliados, visto que a diferença entre o LF e LV para a PC foi de aproximadamente 20W. Por fim, o erro padrão de estimativa do LV a partir da equação de predição utilizando o LF foi de 13%.

Em estudo posterior, deVRIES et al, (1987) modificaram a sequência de testes supra-máximos realizados no estudo de 1982 e propuseram um teste sub-máximo de cargas constantes para determinar o LF em indivíduos com baixa aptidão física. Os autores também buscaram determinar a validade do LF através de comparações com o LL identificado pelo “*onset blood lactate accumulation*” (OBLA) com as concen-

trações fixas de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (SJODIN e JACOBS, 1982); e com o modelo da PC (MORITANI et al, 1981). O teste envolveu séries de cargas contínuas correspondentes a 69, 137, 172 e 206 W, com estágios de duração de 2 min separados por intervalos de descanso com tempo suficiente para permitir que a frequência cardíaca do sujeito retornasse próximo a 10 bpm acima do nível pré-exercício (protocolo descontínuo submáximo). O LF foi determinado utilizando as curvas de fadiga do sinal EMG do VL, sendo definido como a potência que produz uma inclinação da relação tempo-voltagem do sinal EMG significativamente diferente da inclinação zero. Após o primeiro coeficiente de inclinação significativa ser observado, a precisão foi melhorada pela interpolação de uma ou duas potências adicionais entre a que induziu o último coeficiente de inclinação não significativo e aquele que forneceu o primeiro coeficiente de inclinação significativo (Figura 6).

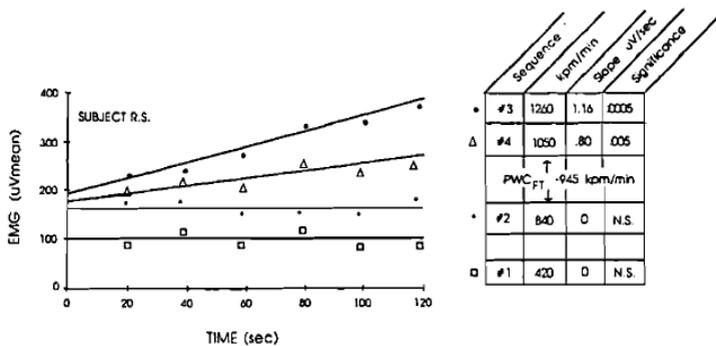


Figura 6 - Ilustração do protocolo descontínuo submáximo para identificação do limiar de fadiga proposto por deVries et al (1987).

Diferentemente do estudo de 1982, deVries et al. (1987) não encontraram significativas diferenças entre as potências referentes ao LF ($237 \pm 64 \text{ W}$) e a PC ($230 \pm 22 \text{ W}$). Além disso, foi verificada moderada

correlação entre o LF e a PC de $r=0,67$. Por outro lado, o LL (175 ± 35 W) foi significativamente inferior ao LF, sendo também encontrada moderada correlação entre estas variáveis de $r=0,57$ ($p<0,01$). Baseado nesses resultados, os autores sugeriram que o LF e a PC parecem mensurar o mesmo fenômeno fisiológico, ou seja, a maior intensidade que pode ser mantida sem evidência de fadiga neuromuscular, no entanto, o LL não pode ser resultado do mesmo fenômeno.

A contradição encontrada em ambos os estudos anteriores confunde o leitor interessado visto que é possível observar diferenças metodológica nas pesquisas de deVries e colaboradores. Um dos critérios para identificar o LV (aumento da VE/VO_2 sem o aumento na VE/VCO_2) é comumente utilizado nos modelos atuais para se determinar os LTF e parece estar associado ao LV1, e não ao LV2 (MEYER et al, 2005). Por outro lado, a intensidade associada ao OBLA tem sido referenciada como LL2 (SJODIN e JACOBS, 1981). Além disso, existem diferenças entre o protocolo submáximo e supramáximo e que podem gerar critérios distintos na determinação da PC assim como o LF. Sendo assim, fica a dúvida sobre o real fenômeno fisiológico que está sendo observado.

Alguns anos depois, o mesmo modelo de deVries et al (1987) foi aplicado em um protocolo incremental (contínuo), demonstrando que o LF poderia ser identificado a partir de um único teste por meio da análise do domínio do tempo do sinal EMG (RMS) (deVRIES et al, 1990). Recentemente, Camic e colaboradores (2010) utilizaram este mesmo modelo matemático e o adaptaram também para a análise do domínio da frequência (MPF) durante um protocolo incremental do tipo degrau, encontrando um LF em cada análise (RMS e MPF), ambos em

intensidades de exercício coincidentes com os limiares ventilatórios (LV1 e LV2, respectivamente) (Figura 7).

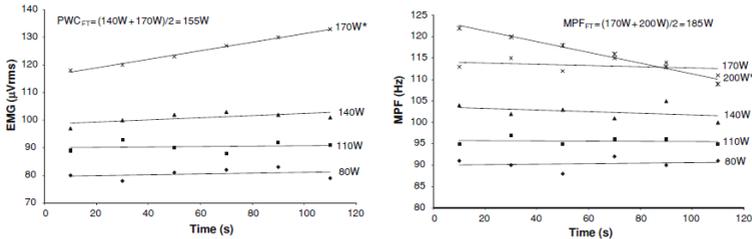


Figura 7 - Limiares eletromiográficos identificados no domínio do tempo e da frequência do sinal EMG durante protocolo de teste incremental em cicloergômetro proposto por CAMIC et al (2010).

Durante a década de 1980, outros estudos propuseram a identificação do LF por meio de outras análises do sinal EMG (NAGATA et al, 1981; HELAL et al, 1987; AIRAKSINEN et al, 1992). Basicamente, os autores propõem a identificação do momento em que ocorre um aumento não-linear (“breakpoint”) da amplitude do sinal EMG por meio de modelos matemáticos de regressões lineares (HELAL et al, 1987; NAGATA et al, 1981) ou por inspeção visual dos dados RMS plotados em um gráfico em função da intensidade de exercício (AIRAKSINEN et al, 1992).

Nagata et al. (1981) avaliaram 10 sujeitos durante um protocolo incremental com aumentos $24,5 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ até a exaustão voluntária máxima. Os autores determinaram o LF através do aumento não linear da iEMG e uma abrupta alteração no espectro da frequência e compararam com o LV e LL. Dentre os resultados alcançados, o VO_2 no LF ($1,91 \pm 0,36 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) foi significativamente maior que no LL ($1,71 \pm 0,30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$), embora tenha sido relatada forte associação entre estas variáveis ($r=0,92$, $p<0,001$). No entanto, o consumo de oxigênio no LF não

foi significativamente diferente do LV ($1,87 \pm 0,35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$), sendo ainda verificada elevada correlação ($r=0,92$). As diferenças encontradas entre os valores dos limiares com o LF podem ser protocolo dependente, ou seja, apesar dos autores terem usados diferentes marcadores bioquímicos para determinação do LL, um minuto de estágios de duração durante os testes parecem ser insuficientes para estabilização das variáveis e consequentemente alterar o valor na sua identificação (BENTLEY et al, 2007). Por outro lado, em estudo prévio Wasserman et al. (1973) demonstraram não haver diferenças entre o LV e LL. Sendo assim, percebe-se que ambos os métodos de determinação dos LTF estão relacionados com a primeira transição fisiológica e os resultados do presente estudo são semelhantes ao de DeVries et al. (1987).

Resultados semelhantes aos encontrados sobre a forte correlação entre o LV e o LF foram apresentados por Helal et al. (1987), ao submeterem nove ciclistas de elite ($\text{VO}_2\text{max}=71,2 \pm 1,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) a um protocolo do tipo degrau com incrementos de 25 W a cada estágios de 2 min. Os autores definiram o LV por meio do ponto de ruptura do VE/VO_2 sendo a potência encontrada a 275 W. O LL foi identificado por inspeção visual a partir do aumento sistemático da curva e localizado a uma $[\text{Lac}]$ de $2.2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ na potência de 250 W. Já o LF foi definido como o ponto de quebra do sinal EMG na potência equivalente a 275 W. Novamente, os métodos dos LTF estão associados com a primeira transição metabólica e os resultados deste estudo demonstraram que o LV e o LF ocorreram em um estágio diferente do LL o que suporta os estudos de DeVries et al. (1987) e Nagata et al. (1982).

Airaksinen et al. (1992) encontraram resultados bastante interessantes, ao não observarem diferenças significativas entre LL, LV e

LF, todos índices observados a 300 W. Além disso, foram observadas altas e significativas correlações entre os métodos ($r=0,91$ a $0,96$). Os autores também utilizaram protocolo incremental do tipo degrau com incrementos de 30 W a cada estágios de 2 min de duração no cicloergômetro. A contradição deste estudo está relacionada ao critério de identificação do LV, pois foi utilizada a perda de linearidade do VE/VO_2 (LV1); e do LL sendo identificado a partir das concentrações fixas de 4 $mmol \cdot l^{-1}$ (LL2). Diferentemente do estudo de Nagata et al (1981) e Helal et al (1987) com sujeitos não treinados e treinados, respectivamente, onde as [Lac] no limiar foram em torno de 2 $mmol \cdot l^{-1}$.

É possível observar também que os três estudos (NAGATA et al, 1981 HELAL et al, 1987; AIRAKSINEN et al, 1992) utilizaram estágios de dois e um minuto de duração para identificar o LL o que, segundo Bentley et al (2007) pode não ser indicado para protocolos com o intuito de mensurar esse índice metabólico em virtude da necessidade de estabilização do lactato sanguíneo, o que parece ocorrer em estágios com durações maiores (>3 min). Além disso, um dos critérios utilizados para determinação dos limiares ventilatórios (aumento do VE/VO_2 sem aumento no VE/VCO_2) parece estar associado ao primeiro limiar, e não ao segundo (MEYER et al, 2005; DAVIS et al, 1985). Da mesma forma, a utilização de incrementos de carga a cada 2 min também pode não refletir o comportamento ideal das variáveis respiratórias para determinar a intensidade referente aos limiares ventilatórios (LUCIA et al, 2000).

Vitassalo et al. (1985) utilizaram critérios diferentes dos adotados pelos estudos relatados acima para identificar os limiares ventilatórios e encontraram resultados distintos em diferentes atletas treinados

($\text{VO}_2\text{max} = 59,6 \pm 2,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Os critérios adotados foram o primeiro aumento do VE/VO_2 e da VE/PO para o primeiro limiar; e o segundo aumento das variáveis ventilatórias combinado com as concentrações fixas de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para o segundo limiar. Quando a iEMG dos músculos do quadríceps foram relacionados com a intensidade, a não-linearidade foi encontrada no primeiro limiar, mas nenhuma mudança foi encontrada no segundo limiar. Portanto, Vitassalo et al. (1985) sugeriram que o LF, assim como nos estudos anteriores aqui relatados, parece ser um indicador apenas do LTF1.

Fechando os estudos e modelos de identificação do LF dos estudos precursores do final da década de 1980, Matsumoto et al. (1991) e Moritani et al. (1993) propuseram um procedimento diferenciado a partir da iEMG para identificar a potência associada com o início da fadiga neuromuscular durante cicloergômetro, denominado pelos autores como teste de limiar de fadiga eletromiográfico ou teste de limiar de fadiga neuromuscular. O teste de limiar de fadiga eletromiográfico é uma adaptação do “teste de capacidade física de trabalho no limiar de fadiga”, o modelo unipolar original proposto por deVries et al. (1982).

Moritani et al. (1993) encontraram alta e significativa correlação ($r=0,92$) entre o VO_2 no LV1 e no LF, porém com diferenças significativas entre eles ($1,72 \pm 0,12 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ e $1,84 \pm 0,12 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente). Além disso, a magnitude da correlação sugeriu que aproximadamente 85,2% da variação do LV1 pode ser explicada pelo LF. Os autores utilizaram os mesmos critérios de Airaksinen et al (1992) para identificar LV1 por meio de variáveis respiratórias, contudo, diferente dos outros estudos, os autores definiram corretamente essa intensidade como referente à transição do metabolismo aeróbio anaeróbio. Em vir-

tude da intensidade referente ao LF ter sido significativamente maior comparado ao LV1, os autores especularam a possibilidade de o LF estar associado ao metabolismo de estado de equilíbrio do lactato sanguíneo. Corroborando com estes achados, Matsumoto et al. (1991) utilizaram o mesmo protocolo e critérios do estudo de Moritani et al. (1993) e encontraram alta correlação significativa entre o VO_2 no LV1 e no LF ($r=0,823$), sem diferença significativa entre eles ($1,39 \pm 0,44 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ e $1,33 \pm 0,57 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente).

Portanto, os resultados apresentados pelos estudos precursores do final da década de 1980 em relação ao uso da EMG para identificação dos limiares parecem estar um pouco contraditórios principalmente devido a discordâncias metodológicas. No entanto, percebe-se que de forma geral o LF se encontra em intensidade semelhante ao LV1 identificado pelo mesmo critério (DAVIS et al, 1976 e WASSERMANN et al, 1973) em todos os estudos (DEVRIES et al. 1982; NAKATA et al. 1981; HELAL et al. 1987; AIRAKISINEN et al. 1992), exceto o estudo de Vitassalo et al. (1985).

2.2.2 Evidências da validade comparado aos limiares de transição fisiológica

A partir dos estudos precursores da década de 1980, outras pesquisas foram sendo realizadas com o intuito de investigar o LF, que também passou a ser denominado de limiar eletromiográfico (LEMG). Estas pesquisas buscaram identificar o LEMG em sujeitos com diferentes níveis de condicionamento físico (LUCIA et al, 2007; LUCIA et al, 2009), a partir de diferentes formas de análise do sinal EMG (CAMATA

et al, 2008; CAMIC et al, 2011), em diferentes musculaturas (HUG et al, 2003; JURIMAE et al, 2007), além de verificar a influência de fatores como depleção de glicogênio (GLASS et al, 2007), níveis de lactato sanguíneo (SEBURN et al, 1992) e temperatura ambiente (TYKA et al, 2009) sobre o LEMG. Os estudos mensuraram variáveis respiratórias (LV1 e LV2) e analisaram a resposta do lactato sanguíneo (LL1 e LL2) ao exercício para verificar evidências da validade do método.

Contudo, alguns estudos parecem permanecer com limitações e contradições metodológicas que poderiam comprometer os resultados encontrados e que deixam a dúvida em relação a qual dos fenômenos fisiológicos foram observados (primeiro ou segundo limiar). A presente revisão de literatura procurou analisar os estudos encontrados e os separou em três tópicos conforme os resultados apresentados, no intuito de facilitar o entendimento do fenômeno: a) estudos que verificaram evidências da validade do LEMG quando comparado com o primeiro limiar de transição fisiológica (LV1 ou LL1); b) estudos que verificaram evidências da validade do LEMG quando comparado com o segundo limiar de transição fisiológica (LV2 ou LL2); e c) estudos que verificaram evidências da validade de dois limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2) quando comparados com o primeiro e segundo limiar de transição fisiológica.

2.2.2.1 Evidências da validade do LEMG comparado ao LV1 e LL1

Assim como os resultados apresentados na década de 1980, outros estudos também observaram associações do LEMG com o LTF1 (LV1

e/ou LL1). Lucia e colaboradores (1997) submeteram um grupo de cardíacos transplantados a um protocolo incremental do tipo rampa e não encontraram diferenças significativas entre o LEMG, LV1 e LL1, a uma intensidade de 59-62% do VO_2 max. Além disso, foram constatadas fortes correlações entre os métodos ($r=0,76$ entre LEMG e LV; $r=0,74$ entre LF e LL).

Uma limitação metodológica apresentada pelo estudo foi o uso de estágios com durações inferiores a 3 min para análise do lactato sanguíneo, o que poderia alterar o comportamento exponencial característico dessa variável (BENTLEY et al, 2007). A mais alta intensidade não associada a um aumento nas [Lac] acima dos valores basais (WELTMAN et al, 1990) e o aumento do VE/VO_2 sem aumento do VE/VCO_2 (DAVIS, 1985), referenciado no estudo para LL1 e LV1 respectivamente, são critérios atualmente determinantes do primeiro limiar metabólico (FAUDE et al, 2009; MEYER et al, 2005). Portanto, a conclusão sustentada pelos autores de que o LEMG observado estaria associado ao momento de transição do metabolismo aeróbio parece estar sem fundamentos consistentes.

Gassi et al (2010), Glass et al (2008), Mello et al (2006), Graef et al (1998) e Hug et al (2003b) também encontraram correlações do LEMG com o LV1. Gassi et al. (2010) e Mello et al. (2006) identificaram o LV1 apenas pelo aumento da VE/VO_2 sem o aumento da VE/VCO_2 (WASSERMAN e KOIKE, 1992). Glass et al (1998) e Graef et al (2008) utilizaram métodos de regressão linear para determinar o ponto de inflexão nas curvas $VCO_2 \times VO_2$ (BEAVER et al, 1986) e $VE \times VO_2$ (ORR et al, 1982), respectivamente. Já Hug et al (2003b) compararam os métodos de aumento do VE/VO_2 e v-slope ($VCO_2 \times VO_2$).

Independente do critério utilizado, os cinco estudos não encontraram diferenças significativas entre o LEMG e LV1, com moderadas correlações entre os índices ($r=0,68$ e $r=0,77$) verificadas em Glass et al (2008) e Graef et al (1998), respectivamente. Para Mello et al (2006), conforme a estatística de Bland-Altman, nenhum caso excedeu o limite de dois desvio-padrão para as diferenças. Hug et al (2003b), por sua vez, encontrou fortes correlações do LEMG identificado pelo aumento do valor RMS em ambos protocolos de LV1 ($r=0,97$ para VE/VO₂; $r=0,98$ para VCO₂ slope). É possível observar que os protocolos escolhidos nos estudos foram realizados com incrementos a cada um minuto (HUG et al, 2003b; MELLO et al, 2006; GASSI et al, 2010) ou a cada 2 min (GLASS et al, 1998; GRAEF et al, 2008). Nenhum dos estudos optou pelo uso de um protocolo incremental do tipo rampa, que, segundo alguns autores, pode representar melhor o comportamento linear das variáveis ventilatórias durante um teste incremental (DENADAI et al, 1999; LUCIA et al, 2000).

Estudo de Moneta et al (1998) também encontrou semelhanças entre o LEMG e o LTF1 identificado pelas [Lac] em um protocolo incremental no cicloergômetro (50 W a cada 3 min) com 28 jogadores de futebol. O LEMG nos músculos reto femoral - RF (176,3 + 8,7 W) e sóleo (171,8 + 8,9 W) ocorreu em intensidade similar ao LL1 (164 + 6,9 W), identificado pelo método de Beaver et al (1985), contudo não foram encontradas correlações entre os métodos. Beaver et al (1985) propõe a transformação log-log transformando a curva de lactato em duas retas para avaliar o primeiro aumento da [Lac] e, assim como outros estudos da época (WASSERMANN et al, 1973), os autores assumem a existência de apenas um único fenômeno no teste incremental, ou seja, uma

única inflexão a partir da linha de base (LL1). No caso deste estudo, é possível observar uma linha de base quase inexistente, fazendo com que as duas retas sejam projetadas para o meio do teste, o que pode ter gerado diferenças nas cargas encontradas.

A mesma limitação metodológica é observada no estudo de Candotti e colaboradores (2008). Os autores também encontraram evidências da validade da EMG ao comparar com o LL1 identificado pelo método de Beaver et al (1985) ao submeter 24 sujeitos a um protocolo degrau (25 W a cada 3 min). As potências observadas para LEMG (134 ± 21 W) e LL1 (132 ± 30 W) não apresentaram diferenças significativas, com altas correlações entre os métodos ($r=0,826$ e $r=0,872$ para VL e RF, respectivamente), contudo a [Lac] referente ao LL1 foi alta ($4,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), com valor característico de LL2. Além disso, os valores de potência observados em LEMG e LL1 foram superiores ao apresentado como a potência máxima do teste ($131 \pm 29,7$ W), o que parece demonstrar alguma incoerência nos resultados do estudo. Ainda, observa-se que para a identificação do LEMG, foram utilizadas retas de regressão linear semelhantes ao que foram propostas por Lucia et al (1999) em um protocolo rampa. Visto que em protocolos do tipo degrau há uma tendência de estabilização da [Lac] bem como de variáveis fisiológicas em cada estágio, a regressão linear utilizada para representar o comportamento da ativação muscular (valor RMS) pode não ter sido a mais adequada.

De forma semelhante, ao utilizar um método de identificação do primeiro aumento da [Lac] (HUGHSON et al, 1987), Tyka et al (2009) observaram mais uma evidência da associação entre LEMG e LL1, ao encontrarem altas correlações entre os métodos identificados em protocolo incremental realizados em diferentes temperaturas do ambiente

($r=0,91$ em 23°C ; $r=0,96$ em 31°C ; e $r=0,97$ em 37°C). Contudo, a $[\text{Lac}]$ encontrada para LL1 também foi alta, em torno de $4,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Além disso, foi encontrada uma intensidade referente ao LEMG e LL1 significativamente maior na temperatura de 23°C , comparado a 31°C e a 37°C . Os resultados apresentados pelos autores parecem demonstrar que, durante exercício com altas temperaturas (31°C e 37°C), as unidades motoras rápidas parecem ser recrutadas mais cedo do que em temperatura ambiente, enfatizando o cuidado em relação às influências ambientais sobre o método.

Com o objetivo de comparar o LEMG, LV1 e LL1 em condições normais e com depleção de glicogênio, Glass et al (1997) submetem seis ciclistas a um protocolo com carga inicial de 90 W e incrementos de 45 W a cada 2 min. Os autores observaram que em condições normais de glicogênio, o LV1 ($3,36 \pm 0,42 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$), LL1 ($3,51 \pm 0,34 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) e LEMG ($3,46 \pm 0,31 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) ocorreram em similar VO_2 . Contudo, em condições de depleção, o LEMG ($4,41 \pm 0,54 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) e LL1 ($3,96 \pm 0,40 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) parecem ocorrer em maior VO_2 comparado ao LV1 ($3,37 \pm 0,64 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$). Para os valores de potência, houve diferenças entre LV1 ($180 \pm 28,46 \text{ W}$) e LEMG ($225 \pm 45 \text{ W}$) em condições normais, sem diferenças entre LEMG e LL1 ($202 \pm 24,65 \text{ W}$). Em situação de depleção, as diferenças entre LEMG ($234 \pm 20,12 \text{ W}$) e LL1 ($217 \pm 33,87 \text{ W}$) com o LV1 ($172 \pm 33,87 \text{ W}$) permaneceram. Portanto, em discordância com os resultados dos estudos prévios apresentados, os autores concluem que parece haver um mecanismo em comum que controla LL1 e LEMG, contudo a $[\text{Lac}]$ e a ativação muscular não parecem ser mecanismos controladores do LV1 durante protocolo incremental. Contudo, a utilização de estágios com duração inferior a 3 min para

identificação do LL1 pode ser uma limitação do estudo (BENTLEY et al, 2007; DENADAI et al, 1999).

Surpreendentemente, Seburn et al (1992), contrariando os achados dos estudos anteriores, não encontraram um ponto de inflexão da iEMG no músculo VL em condições normais e elevadas de lactato sanguíneo, demonstrando que o LEMG não pode ser considerado um método de identificação do LL1. O protocolo de teste utilizado foi do tipo degrau com incremento de $23,5 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$, a uma cadência de 90 rpm em apenas seis ciclistas treinados e o ponto de inflexão da [Lac] foi determinado pelos mesmos métodos dos estudos anteriores (BEAVER et al, 1985; HUGHSON et al, 1987). Contudo, também é possível observar a utilização de estágios com durações menores (<3 min) para mensuração do lactato sanguíneo, o que gera dúvidas quanto à determinação do LL, mas não justifica a não identificação do LEMG.

Portanto, os estudos parecem indicar que o LEMG identificado em protocolo incremental é uma alternativa válida para mensurar o LTF1 – LV1 e/ou LL1 (LUCIA et al, 2000; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 2008; MELLO et al, 2006; GRAEF et al, 1998; HUG et al, 2003b; MONETA et al, 1998; CANDOTTI et al, 2008; TYKA et al, 2009). Contudo, as limitações metodológicas apresentadas por alguns estudos podem comprometer os resultados encontrados. Além disso, a identificação do LEMG parece ser sensível, vulnerável ou até mesmo limitada por fatores como a temperatura ambiente (TYKA et al, 2009), depleção de glicogênio (GLASS et al 1997) e níveis da [Lac] (SEBURN et al, 1992), o que demonstra a necessidade de maiores esclarecimentos sobre a validade do LEMG.

2.2.2.2 Evidências da validade do LEMG comparado ao LV2 e LL2

A partir da análise do sinal EMG durante protocolo incremental, alguns estudos constataram a existência de fortes correlações entre o LEMG e o LTF2 - LV2 e LL2 (JURIMAE et al, 2007; CAMATA et al, 2008; MONETA et al, 1994). Jurimäe et al. (2007) não encontraram diferenças significativas entre LEMG e LV2 (identificado pelo aumento concomitante do VE/VO_2 e VE/VCO_2), com correlações significativas para todos músculos analisados ($r=0,58$ para gastrocnêmio lateral - GL; $r=0,69$ para bíceps femoral - BF; $r=0,73$ para vasto medial - VM; e $r=0,81$ para VL). Foram avaliados 49 homens praticantes de ciclismo, handebol, canoagem, levantamento de peso e não praticantes de modalidade esportiva em um protocolo incremental em cicloergômetro ($25 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ na cadência preferida). Os autores sugerem que a identificação do LEMG não é específica a um esporte e pode ser utilizado como método de avaliação em diferentes modalidades esportivas.

Da mesma forma, ao comparar o LTF2 identificado pela ativação muscular (LEMG) e pelo comportamento dos equivalentes ventilatórios - LV2 (McLELLAN et al, 1985), Camata et al (2008) também não encontraram diferenças entre os métodos ao avaliar 13 ciclistas amadores em teste incremental muito semelhante ($20 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ a 90 rpm). Os autores identificaram o LEMG por meio da utilização de diferentes janelas de tempo na análise do valor RMS (2, 5, 10, 30 e 60 s) e não encontraram diferenças significativas. Contudo, o LEMG calculado com janelas de 5 s e 10 s apresentou maior correlação e concordância com o LV2.

Moneta et al (1994) também encontraram correlações entre LEMG e LL2 (IAT pelo Stegman et al, 1981, e [Lac] fixa de 4 mmol^{-1}), em um protocolo com início em 50 W e incrementos de 50 W a cada 3 min (60 rpm) com sete esquiadores e sete corredores de velocidade. No grupo dos esquiadores, foram observadas altas correlações entre a atividade RMS e a [Lac], com maiores valores observados no músculo sóleo ($r=0,88$). No grupo de velocistas, também foram verificadas altas correlações entre os dois parâmetros ($r=0,85$ e $r=0,89$ para RF e sóleo). No grupo de esquiadores, os valores de potência observados foram $280 \pm 6,2 \text{ W}$ (4 mmol^{-1}), $174 \pm 15,6 \text{ W}$ (IAT), $271 \pm 14,9 \text{ W}$ (LEMG no RF), $264 \pm 18 \text{ W}$ (LEMG no BF) e $208 \pm 23,9 \text{ W}$ (LEMG no sóleo). Portanto, o LEMG no músculo sóleo ocorreu logo acima do IAT e em uma potência significativamente diferente do 4 mmol^{-1} . O LEMG do RF e BF ocorreram em intensidade similar a 4 mmol^{-1} . Para o grupo de velocistas, foram encontrados intensidades de $243 \pm 8,6 \text{ W}$ (4 mmol^{-1}), $181 \pm 15,9 \text{ W}$ (IAT), $208 \pm 20,1 \text{ W}$ (LEMG no RF) e $179 \pm 14,9 \text{ W}$ (LEMG no sóleo). Portanto, o LEMG do sóleo ocorreu logo abaixo do IAT e em uma potência significativamente menor que 4 mmol^{-1} . Ainda, o LEMG no RF ocorreu em intensidade entre o IAT e 4 mmol^{-1} .

Já os achados de Pringle e Jones (2002) foram os únicos a não apresentar validade da EMG como método de estimativa do segundo limiar metabólico. Diferentemente de todas as pesquisas realizadas, esse estudo foi o único a verificar a validade do LEMG ao compará-lo com a intensidade referente à máxima fase estável de lactato (MFEL), considerado padrão ouro para avaliação aeróbia (BENEKE et al, 2003), bem como com a PC. Para a identificação do LEMG, os autores analisaram a amplitude do sinal EMG do músculo VL durante 2 min em diferentes

intensidades no cicloergômetro (potências entre 75% a 115% do VO_2max identificado em teste incremental, o equivalente a 230-460 W para homens e 150-275 W para mulheres), protocolo semelhante ao proposto por deVries et al (1982) e Moritani et al (1993). Para identificação da MFEL, foram realizados quatro sessões de 30 min de intensidade constante, sendo determinada como a mais alta potência em que o aumento da [Lac] foi menor que 1mM durante os últimos 20-30 min.

Os resultados encontrados demonstraram que a potência referente à PC foi significativamente maior que a MFEL, apesar de terem apresentado forte correlação. O LEMG pôde ser identificado em apenas metade da amostra (quatro sujeitos) e não foi relacionada à PC ou à MFEL. As razões dos autores para a inabilidade em identificar o LEMG em metade da amostra foi o fato da iEMG ocasionalmente diminuir ao longo do tempo em algumas potências e devido a taxa de aumento com o tempo da iEMG ter sido por vezes inferior em potências maiores comparado às menores e, portanto, o declive da linha de regressão linear foi negativo. Além disso, com os sujeitos pedalando a 20 W acima da MFEL (próximo a PC), a [Lac], o VO_2 e a VE aumentaram significativamente ao longo do tempo, o que não foi observado na iEMG devido a grande variabilidade da resposta EMG entre os sujeitos. Portanto, a partir dos dados obtidos, os autores concluíram que a MFEL parece ser o limite superior do domínio pesado de intensidade do exercício. A 6% acima da MFEL, o VO_2 e as [Lac] aumentaram significativamente com o tempo. A grande variabilidade inter-sujeitos na resposta da EMG durante a determinação da intensidade referente ao LEMG e MFEL sugere que a EMG não pode ser um método para distinguir o aumento do recrutamento de fibras musculares.

Portanto, há fortes evidências da validade do LEMG para identificar o LV2, em virtude dos resultados apresentados por Jurimae et al (2007) e Camata et al (2008), os quais utilizaram protocolos e critérios coerentes e bem fundamentados na literatura (DAVIS et al, 1985; MEYER et al, 2005) para mensurar as variáveis ventilatórias em protocolo incremental. Contudo, a validade do LEMG associada à [Lac] apresentam resultados controversos, visto que alguns apontam para a sua validade (MONETA et al, 1998) e outros não (PRINGLE e JONES, 2002).

2.2.2.3 Evidências da validade do LEMG1 e LEMG2 comparados aos LV1, LL1, LV2 e LL2.

Estudos de Lucia et al (1999) e Hug et al (2003a) encontraram evidências da existência de não apenas uma perda de linearidade da ativação muscular durante um exercício de cargas crescentes, mas de dois momentos de transição, resultados somente observados por Vitassalo et al (1985) durante protocolo descontínuo até então. Além disso, Camic et al (2010), associando análises no domínio do tempo e no domínio da frequência do sinal EMG, encontraram resultados surpreendentes e propuseram uma nova metodologia para a identificação de dois limiares eletromiográficos.

Lucia et al (1999) realizaram o primeiro estudo com 28 ciclistas de elite ($VO_{2max}=69,9 \pm 6,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P_{max}=433 \pm 49,1 \text{ W}$) submetidos a um protocolo incremental do tipo rampa em cicloergômetro (início em 0 W, incremento de 5 W a cada 12 s, com cadência entre 70-80 rpm). Os autores não encontraram diferenças significativas entre LEMG1, LV1 e LL1 (60-70% do VO_{2max}), com moderadas correlações

entre eles ($r=0,66$ para LEMG1 e LV1; $r=0,64$ entre LEMG e LL1), sendo LV1 e LL1 identificados pelos mesmos critérios do estudo de Lucia et al (1997). O diferencial encontrado foi o segundo “ponto de quebra” da EMG (LEMG2), que também não apresentou diferenças com LV2 e LL2 (80-90% $VO_2\text{max}$), além das fortes correlações verificadas ($r=0,82$ e $r=0,80$ para LV2 e LEMG2; LL2 e LF2, respectivamente). Conforme a análise estatística de Bland and Altman, para todas as comparações entre primeiros e segundos limiares, 91% estavam nos limites de concordância.

O método proposto de determinação do LEMG1 e LEMG2 pode ser observado na Figura 8. Cada ponto de dados representa a raiz quadrada da média de um sinal de EMG (valor RMS), registrados em intervalos de dois segundos. Os valores RMS *versus* o tempo foram ajustados matematicamente para as linhas retas correspondentes por regressão linear segmentada.

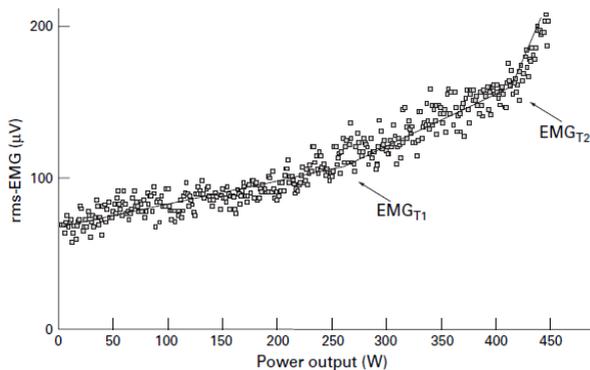


Figura 8 - Primeiro e segundo limiar eletromiográfico identificados em protocolo incremental contínuo máximo em cicloergômetro (LUCIA et al, 1999).

Apesar dos resultados relevantes apresentados por Lucia et al (1999) indicarem a validade da EMG como uma alternativa para identificação dos LTF, é possível constatar aspectos que poderiam comprometer os resultados encontrados. As limitações metodológicas se referem a contradições entre os critérios utilizados e as interpretações dos fenômenos observados. Observa-se o uso de estágios com durações inferiores a 3 min para análise do lactato sanguíneo, o que poderia alterar o comportamento exponencial característico dessa variável (BENTLEY et al, 2007; DENADAI et al, 1999). O fato de ter sido encontrado o LEMG2 foi considerado algo novo que necessitaria de maiores discussões. Os autores especularam que os dois limiares encontrados podem ter ocorrido como resultado de uma mudança no padrão de recrutamento da unidade motora com a possível participação de fibras do tipo IIa e IIb (no LEMG1 e LEMG2, respectivamente). Portanto, apenas sujeitos altamente treinados, como os investigados no estudo, estariam aptos a recrutarem um suficiente número de unidades motoras (principalmente fibras do tipo IIb) próximos a intensidades máximas durante um teste incremental, induzindo a esse segundo ponto de quebra.

Contudo, as conclusões dos autores em relação aos seus resultados encontrados e a metodologia adotada são contraditórias, visto que os autores afirmam que no referido estudo o LEMG1 observado estaria associado ao momento de transição do metabolismo aeróbio para o anaeróbio, corroborando os resultados apresentados por Lucia et al (1997). Porém, foi o LEMG2 quem apresentou fortes correlações com o LV2 e LL2, identificados por critérios característicos de segundo limiar metabólico (aumento concomitante do VE/VO_2 com VE/VCO_2 para LV2; e

concentração fixa de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para LL2), conforme Davis (1985) e Sjodin e Jacobs (1981).

Sustentando a evidência de Lucia et al (1999) sobre existência de duas perdas de linearidade do sinal EMG em exercício incremental, Hug et al (2003) avaliaram oito ciclistas de estrada profissionais ($\text{VO}_2\text{max}=74,6 \pm 2,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $\text{Pmax}=475 \pm 30 \text{ W}$) em um protocolo com início em 100 W e incremento de $26 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$ na cadência preferida. Conforme os resultados, não foram observadas diferenças significativas entre as intensidades referentes ao LEMG2 (86% Pmax) e LV2 (89% Pmax). Contudo, para o primeiro limiar metabólico, LEMG1 (52% Pmax) ocorreu a uma intensidade menor que LV1 (62% Pmax).

Apresentando metodologias e resultados distintos, Camic e colaboradores (2010) tiveram como objetivo verificar se o modelo estimado para determinar o LF (deVRIES et al, 1990) por dados de amplitude do sinal EMG (domínio do tempo) poderia ser aplicado ao domínio da frequência do sinal para derivar um novo limiar de fadiga denominado de limiar de frequência (figura 3). Os autores submeteram 16 homens não treinados a um protocolo incremental (25 W a cada 2 min a uma cadência de 70 rpm) e compararam o LEMG e o limiar de frequência com as potências associadas ao LV1 ($\text{VCO}_2 \times \text{VO}_2$) e LV2 ($\text{VE} \times \text{VCO}_2$), conforme Beaver et al (1986). Os resultados desse estudo indicaram que o modelo do LF proposto por deVries et al (1990) poderia ser aplicado ao domínio da frequência do sinal EMG para estimar o limiar de frequência. Contudo, as respostas induzidas pelo início da fadiga ocorreram a uma menor potência no domínio do tempo comparado ao domínio da frequência. Os autores sugerem que é possível que a dissociação entre os dois limiares seja devido aos bioprodutos metabólicos

que influenciam independentemente os dois domínios da EMG. Portanto, o aumento da amplitude no domínio do tempo pode ser devido a mudanças no pH que alteram a contratilidade muscular, enquanto o decréscimo na frequência pode ser resultado de aumentos na concentração de potássio (K^+) intersticial o que leva a uma progressiva perda de excitabilidade da membrana (CAMIC et al, 2010).

Não foram observadas diferenças significativas entre as potências referentes ao LF (168 ± 36 W) e LV1 (152 ± 33 W), com baixas correlações ($r=0,37$), assim como sem diferenças entre o limiar de frequência (208 ± 37 W) e o LV2 (205 ± 29 W), com significativa e moderada correlação ($r=0,72$). Os achados levaram os autores a sugerir que LF e LV1 demarcariam o domínio moderado para o pesado (LTF1), enquanto que o limiar de frequência e o LV2 demarcariam o domínio pesado para o severo (LTF2). Resultados semelhantes foram apresentados por Zuninga et al (2010). Portanto, Zuninga et al (2010) e Camic et al (2010) contradizem os achados de alguns estudos anteriores (LUCIA et al, 1999; HUG et al, 2003; CAMATA et al, 2008; JURIMAE et al, 2007) ao sugerirem que o domínio da frequência do sinal EMG, e não o domínio do tempo, é capaz de estimar a potência associada ao LTF2.

Portanto, apesar das poucas evidências, ciclistas altamente treinados podem apresentar duas perdas de linearidade do sinal EMG analisado no domínio do tempo durante protocolo incremental, os quais parecem estar associados tanto ao LV1 e LL1 (LUCIA et al, 1999), como ao LV2 (LUCIA et al, 1999; HUG et al, 2003a) e ao LL2 (LUCIA et al, 1999). Contudo, em sujeitos não treinados, também há evidências sobre a identificação de dois limiares eletromiográficos válidos para estimar os dois limiares ventilatórios, contudo somente a partir da análise do

domínio da frequência do sinal EMG é possível observar o LTF2 (CAMIC et al, 2010).

Portanto, em relação às evidências apresentadas sobre a validade da utilização da EMG para identificar os LTF, pode-se observar que, apesar de algumas limitações metodológicas, a maioria dos estudos que investigaram ciclistas recreacionais e amadores, sujeitos sem experiência com a modalidade e atletas treinados de outros esportes, apresentaram o LEMG associado com o LTF1 – LV1 ou LL1 (GRAEF et al, 2008; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 2008; MELLO et al, 2006; HUG et al, 2003b; MONETA et al 1998, CANDOTTI et al, 2008; TYKA et al, 2009), e alguns estudos com o LTF2 – LV2 e LL2 (CAMATA et al, 2008; JURIMAE et al, 2009; MONETA et al, 1994). Pode-se afirmar também que apenas estudos com ciclistas de elite ou profissionais apresentaram duas perdas de linearidade da ativação muscular analisada no domínio do tempo do sinal EMG durante protocolo incremental em cicloergômetro (LUCIA et al, 1999; HUG et al, 2003a).

2.2.3 Reprodutibilidade do LEMG

Do total de estudos revisados, apenas dois investigaram a reprodutibilidade do sinal EMG para identificação dos limiares metabólicos no ciclismo (deVRIES et al, 1987; LUCIA et al, 1999). O primeiro estudo foi realizado por deVries et al (1987), no qual foi encontrada uma alta correlação ($r=0,947$) e sem diferença significativa entre o LF identificados em dois protocolo descontínuos. Em ciclistas altamente treinados, Lucia e colaboradores (1999) não observaram diferenças significativas entre as intensidades referentes aos LEMG1 e LEMG2 determina-

dos no VL e RF por meio da execução repetida de um protocolo incremental rampa em cicloergômetro. Além disso, por meio da correlação de Pearson, foram verificadas altas correlações entre a intensidade associada aos LEMG1 detectados nos teste e reteste ($r=0,83$ e $r=0,96$ no VL e RF, respectivamente) e em ambos LEMG2 ($r=0,86$ e $r=0,87$ no VL e RF, respectivamente).

Alem da carência de estudos sobre reprodutibilidade do LEMG, observa-se uma limitação da análise estatística utilizada pelos estudos realizados. A estatística em estudos de reprodutibilidade tem sido aprimorada por alguns autores. O modelo tradicional (reprodutibilidade relativa) utiliza a comparação de médias e a análise de correlação (teste-reteste) por meio do índice de correlação intra-classe (ICC), ao verificar o grau de associação entre duas medidas (WEIR et al, 2005). Dentre as análises avançadas (reprodutibilidade absoluta), Hopkins (2000) tem sugerido o erro típico de medida (ETM) e o seu coeficiente de variação (CV) para análise da variabilidade intra-sujeitos. Portanto, a reprodutibilidade do LEMG ainda precisa ser investigada para comprovar a precisão da mensuração da ativação muscular como um método de identificação dos LTF.

2.2.4 Considerações finais sobre LEMG

A EMG durante um protocolo incremental em cicloergômetro parece apresentar um aumento com uma ou duas perdas de linearidade (LEMG), as quais podem estar associadas aos LTF. Essas evidências são sustentadas pelas correlações encontradas entre os limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2), ventilatórios (LV1 e LV2) e de lactato

(LL1 e LL2) identificados em protocolos incrementais no cicloergômetro, por meio de diferentes critérios. Contudo, algumas limitações metodológicas verificadas em relação às características do protocolo (incremento de carga e duração do estágio) e critérios de análise das variáveis respiratórias e de lactato sanguíneo podem comprometer os resultados encontrados. Isso se deve, em parte, ao fato dos estudos precursores sobre LEMG terem iniciado na década de 1980, um período em que alguns autores (WASSERMANN et al, 1973) assumiam a existência de apenas um fenômeno fisiológico durante protocolo incremental, o que pode ter influenciado os estudos subsequentes.

Atualmente, é possível afirmar que há um consenso na literatura referente à existência de dois fenômenos fisiológicos durante um protocolo incremental, identificados tanto por variáveis respiratórias (LV1 e LV2) quanto por [Lac] (LL1 e LL2) (FAUDE et al, 2009; MEYER et al, 2005). Portanto, há também a necessidade de estabelecer qual fenômeno fisiológico é possível observar a partir da análise da ativação muscular (LEMG1 e/ou LEMG2). Torna-se prematuro afirmar que a EMG é um método válido para identificar os LTF em virtude das contradições apresentadas pelos estudos. Apesar deles, em sua grande maioria, apontarem para a existência de apenas um LEMG e este, por sua vez, estar associado ao LTF1 (LV1 ou LL1), ainda não há um consenso sobre o motivo pelo qual alguns estudos encontraram correlações do LEMG com o LTF2 (LV2 ou LL2), ou explicações consistentes para a existência de duas perdas de linearidade do sinal eletromiográfico (LEMG1 e LEMG2). Ainda, os poucos estudos realizados sobre a reprodutibilidade do método, com análises estatísticas limitadas, também dificultam a utilização precisa da EMG para determinação desses índices fisiológi-

cos. Por fim, a ausência de estudos de comparação entre os limiares eletromiográficos e a MFEL, padrão ouro para avaliação de capacidade aeróbia, também torna-se um fator limitante para afirmar a validade do método EMG.

A padronização de protocolos e critérios nos estudos envolvendo LEMG torna-se um aspecto fundamental, para que pesquisas futuras possam ser mais coerentes e possíveis de comparação. Em virtude da escassez de pesquisas sobre a reprodutibilidade do LEMG e sobre a sua associação com a MFEL, sugere-se a realização de estudos com esses propósitos investigativos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo, quanto à natureza, caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, a qual tem como objetivo adquirir conhecimentos voltados à aplicação em situações específicas. Em relação à abordagem do problema, o estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, o que significa traduzir em números as opiniões e informações para classificá-las e analisá-las (THOMAS e NELSON, 2002).

Quanto aos objetivos, classifica-se como pesquisa descritiva. Segundo Thomas e Nelson (2002), a pesquisa descritiva é um estudo das características de uma determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relação entre variáveis. Por último, quanto aos procedimentos técnicos, o estudo se enquadra como uma pesquisa empírica, descritiva do tipo inter-relação, classificado como estudo correlacional. Na pesquisa correlacional, são coletados dados sobre diferentes variáveis e estabelece-se uma relação entre elas.

3.2 SUJEITOS DO ESTUDO

Participaram deste estudo 18 ciclistas com no mínimo dois anos de experiência em competições de ciclismo, selecionados de forma intencional não probabilística. A média e o desvio padrão (DP) da idade, massa corporal, estatura e percentual de gordura corporal foram: 25 ± 8 anos, $70,6 \pm 7,7$ kg, $177,2 \pm 4,7$ cm e $9,3 \pm 4,7$ %, respectivamente.

3.3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Os instrumentos utilizados para a avaliação da composição corporal foram uma balança eletrônica da marca TOLEDO[®], com sensibilidade de 100g, para aferição da massa corporal; um estadiômetro da marca Sanny[®], com sensibilidade de 0,5 cm, para mensuração da estatura; e um compasso científico da marca CESCORF[®], com sensibilidade de 0,1 mm, para mensuração das dobras cutâneas.

Os testes incrementais até a exaustão foram realizados em cicloergômetro (bicicleta eletromagnética Lode Excalibur Sport PFM). Para garantir que os atletas realizaram todos os testes com o mesmo posicionamento na bicicleta, foram registrados no software os valores de distância e altura do selim e do guidom para posterior reprodução nos testes seguintes. Para a coleta do lactato sanguíneo, foram utilizados capilares heparinizados e microtubos de polietileno com tampa (tipo Eppendorff). A mensuração das variáveis ventilatórias foi realizada a partir do analisador de gases (QUARK PFTergo COSMED, Roma Itália).

A atividade elétrica dos músculos foi avaliada por meio da EMG. Para tal foi utilizado um sistema de quatro canais Miotool 400 (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda., Porto Alegre, Brasil) com 14 bits de resolução, com modo de rejeição comum com taxa de 126 dB e uma impedância de entrada de 10 GΩ.

3.4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Esforço Físico (LAEF) do Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de

Santa Catarina (UFSC), em parceria com o Laboratório de Biomecânica (BIOMECC) do CDS/UFSC no período de abril a julho de 2012.

Para a coleta do lactato sanguíneo, após a devida higienização do local com algodão e álcool, foram coletados do lóbulo da orelha, sem hiperemia, 25µl de sangue em capilar heparinizado, sendo imediatamente a seguir transferidos para microtubos de polietileno com tampa - tipo Eppendorff - de 1,5ml, contendo 50µl de solução de NaF 1% e armazenado em gelo. A coleta foi realizada antes, ao final de cada estágio de 3 min e ao término do teste incremental de grau. Todos os procedimentos de higienização e cuidados com materiais perfurantes e amostras de sangue foram devidamente seguidos.

Para a mensuração das variáveis respiratórias, primeiramente foram realizadas três calibrações no analisador de gases QUARK PFTergo. A primeira foi a calibração do ar ambiente, que consiste em utilizar uma amostra do ar ambiente para comparação dos valores de VO_2 (20,93 %) e CO_2 (0,03 %) atmosféricos. A segunda foi a calibração do gás, a qual consiste em enviar para o analisador de gases uma amostra padrão de gás do cilindro ($VO_2=16\%$; $CO_2=5\%$). Por fim, foi realizada a calibração da turbina, que consiste em mensurar o volume de uma seringa de três litros para calibração do fluxo da turbina. Durante o teste, os dados de VO_2 foram mensurados respiração a respiração a partir do gás expirado.

Para a aquisição dos dados da EMG, eletrodos de Ag/AgCl com diâmetro de 22 mm, colocados em configuração bipolar, foram fixados sobre o ventre dos músculos VL e RF do membro inferior direito seguindo o alinhamento das fibras musculares, e um eletrodo de referência (terra) foi fixado na tíbia. Anteriormente à colocação dos eletrodos, a

impedância elétrica da pele foi reduzida, mediante a tricotomia e a limpeza da pele com álcool, com o intuito de remover as células mortas e a oleosidade da pele no local do posicionamento dos eletrodos.

A seguir, os eletrodos foram fixados na pele e uma leve pressão manual foi aplicada sobre eles para aumentar o contato entre o gel do eletrodo e a pele. As técnicas de preparação e aplicação dos eletrodos estavam de acordo com as recomendadas pela *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles* (SENIAM) (MERLETTI, 1997). Concluídas as etapas de fixação dos eletrodos e posicionamento dos cabos, os ganhos no eletromiógrafo foram ajustados para cada um dos músculos. A frequência de amostragem foi de 2000 Hz. Para garantir que os eletrodos foram colocados no mesmo local em todos os testes de cada sujeito, foi realizado um mapa do posicionamento dos eletrodos (desenho da localização dos eletrodos em um papel transparente).

3.5 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos da UFSC, sob o processo número 2346/2011. Em um primeiro momento, os objetivos do estudo, os procedimentos e os riscos envolvidos na realização dos testes foram apresentados aos ciclistas e triatletas, que assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice I) e o Termo de Consentimento Pós-Informado (Apêndice II), concordando em participar voluntariamente da pesquisa.

Em seguida, foi realizada a avaliação antropométrica, com o intuito de caracterizar a amostra. As etapas seguintes foram constituídas por

quatro testes máximos incrementais, separados por um período mínimo de 24 horas, os quais foram realizados por ordem definida em sorteio. A realização dos quatro testes de cada sujeito foi completada em um período máximo de duas semanas.

3.5.1 Avaliação antropométrica

Foram realizadas as medidas de massa corporal (kg), estatura (cm) e espessura de sete dobras cutâneas (peitoral, axilar-média, suprailíca, abdominal, tricipital, subscapular e coxa), para estimar o % gordura corporal conforme o protocolo de Jackson & Pollock (1978).

3.5.2 Teste incremental degrau em cicloergômetro

Os ciclistas foram submetidos a um protocolo incremental do tipo degrau (*step*) em bicicleta eletromagnética. O protocolo foi iniciado com uma carga de 100 W com incrementos de 30 W a cada estágio de 3 min na cadência preferida para determinação dos limiares de lactato (LL1 e LL2) e limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2). O mesmo protocolo foi repetido mais uma vez, com um intervalo mínimo de 24 h, para a análise da reprodutibilidade. Ao final de cada estágio de 3 min, foram coletadas amostras de sangue do lóbulo da orelha. O VO_2 foi mensurado respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado. A ativação muscular do RF e VL direito foi mensurada durante todo o teste por meio da EMG.

3.5.3 Teste incremental rampa em cicloergômetro

Os ciclistas foram submetidos a um protocolo incremental do tipo rampa em bicicleta eletromagnética. O protocolo foi iniciado com uma carga de 20 W durante 4 min para a estabilização das variáveis ventilatórias. Após, foram acrescidos 80 W para iniciar o teste em 100 W. A partir de então, ocorreram incrementos 1 W a cada 2s ($30 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$) na cadência preferida para determinação dos limiares ventilatórios (LV1 e LV2) e limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2). O mesmo protocolo foi repetido mais uma vez, com um intervalo mínimo de 24h, para a análise da reprodutibilidade. O VO_2 também foi mensurado respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado. A ativação muscular do VL e RF foi mensurada durante todo o teste por meio da EMG.

3.6 TRATAMENTO DOS DADOS

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ em ambos os testes degrau e rampa foi considerado como o maior valor obtido durante os testes nos dados reduzidos a médias de 15 segundos. A frequência cardíaca máxima (FCmax) foi determinada como o maior valor obtido durante o teste (dados brutos). A análise do lactato sanguíneo foi realizada por intermédio de analisador eletroquímico modelo YSI 1500 STAT. Os limiares de lactato (LL1 e LL2) foram identificados por análise individual (BERG et al, 1990), por concentração fixa (KINDERMANN et al, 1979; HECK et al, 1985) e por inspeção visual (FARREL et al, 1979). Conforme Berg et al (1990), o LL1 foi determinado a partir da menor relação entre [Lac] e potência (W) e o LL2 pela adição do valor de $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ao LL1 (BERG *et al.* 1990). Conforme o critério de concentrações fixas, foram adotados 2

$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (KINDERMANN et al,) e $3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (HECK et al, 1985) para LL1 e LL2 respectivamente. Pelo critério de inspeção visual, o LL1 foi identificado como o primeiro aumento da [Lac] em relação aos níveis basais em um gráfico [Lac] x potência (FARREL et al, 1979). A inspeção visual da [Lac] foi realizada por um avaliador experiente.

Os limiares ventilatórios foram determinados por inspeção visual dos gráficos de VE/VO_2 , VE/VCO_2 , pressão parcial de oxigênio (PetO_2) e pressão parcial de gás carbônico (PetCO_2). O LV1 foi determinado como a intensidade referente ao momento onde ocorre o primeiro aumento da VE/VO_2 , sem aumento da VE/VCO_2 , e primeiro aumento da PetO_2 . O LV2 foi identificado como a intensidade referente ao momento onde ocorre o aumento concomitante da VE/VO_2 , e da VE/VCO_2 e queda da PetCO_2 (DAVIS, 1985; LUCIA et al, 2000). A inspeção visual foi realizada por dois avaliadores experientes. No caso de dúvida, um terceiro avaliador foi considerado.

Para análise dos sinais EMG foi utilizado o *software* MATLAB[®] versão 7.9 (Mathworks Inc., Novi, MI, EUA). Os sinais brutos foram filtrados por meio de filtro digital *Butterworth* de quarta ordem passa banda de 20-500 Hz. Já na fase de análise dos dados buscou-se a determinação do LEMG por meio de dois métodos distintos, a depender do protocolo do teste provedor dos dados.

Para o protocolo incremental do tipo rampa, cada ponto da dispersão de valores RMS *versus* tempo foi obtido pela média dos valores de uma janela fixa de 1 s de duração. O procedimento de detecção dos limiares buscou a divisão ótima da nuvem de dispersão obtida em dois trechos, ou subnuvens I e II, cujos instantes temporais limítrofes entre as subnuvens I e II constituíram a melhor aproximação para os pontos de

inflexão da curva (CANDOTTI et al, 2008), ou em três trechos, ou subnuvens I, II e III, cujos instantes temporais limítrofes entre as subnuvens I e II (limite A) e as subnuvens II e III (limite B) constituíram a melhor aproximação para os pontos de inflexão da curva (LUCIA et al, 1999). Na busca dessa divisão ótima, o conjunto de pontos foi sistematicamente subdividido em arranjos de dois ou de três trechos (com duração mínima de 60 s para o trecho 1 e 30 s para os demais trechos) e, para cada um destes trechos, uma regressão linear a um polinômio de 1ª ordem (reta) foi aplicada para a obtenção do coeficiente de determinação (R^2). Aquele arranjo cujo produto P da multiplicação dos coeficientes de determinação de cada trecho, i.e. $P = R_1^2 \times R_2^2$ e $P = R_1^2 \times R_2^2 \times R_3^2$, gerou o maior valor foi considerado o ótimo para dois ou três trechos, respectivamente. As análises matemáticas utilizadas foram assim definidas: (1) método bi-segmentar ($LEMG_{biseqRF}$ e $LEMG_{biseqVL}$) – permite identificar apenas um limiar (divisão da nuvem em dois trechos); (2) simultâneo ($LEMG1_{trisimRF}$, $LEMG2_{trisimRF}$, $LEMG1_{trisimVL}$ e $LEMG2_{trisimVL}$) – permite identificar dois limiares simultaneamente (divisão da nuvem em três trechos); e (3) fracionado ($LEMG1_{trifracRF}$, $LEMG2_{trifracRF}$, $LEMG1_{trifracVL}$ e $LEMG2_{trifracVL}$) – permite identificar dois limiares de forma intercalada (em um primeiro momento a nuvem é dividida em dois trechos para determinação do $LEMG2$, em um segundo momento a nuvem referente aos pontos de $LEMG2$ até o início do teste é utilizada para determinar o $LEMG1$).

Para o protocolo do tipo incremental por degraus, adicionalmente à dispersão de valores RMS *versus* tempo, dados provenientes da abordagem do sinal EMG efetuada dentro do domínio da frequência (Transformada Discreta de Fourier e posterior cálculo de valores MPF)

foram também analisados. Neste caso, o janelamento fixo para a obtenção de cada ponto das dispersões foi de 20 s, gerando, deste modo, nove pontos por cada estágio de 180 s. A abordagem utilizada foi a de que, para uma dada intensidade de exercício, os pontos representativos do valor RMS ou da MPF deveriam manter-se aproximadamente constantes. Deste modo, a regressão linear por polinômio de 1º grau dos pontos pertencentes a um mesmo estágio deu origem a uma reta de coeficiente angular (β) aproximadamente nulo. A detecção de um limiar ficou então relacionada à detecção de uma reta dentro de um mesmo estágio que possuísse um β significativamente diferente de zero ($p > 0,05$ para o teste t monocaudal, Camic et al, 2010).

Quando do atingimento de um limiar espera-se, no caso do valor RMS ($LEMG_{RMSRF}$ e $LEMG_{RMSVL}$) um aumento de valores ao decorrer do degrau ($\beta > 0$), enquanto no caso da MPF ($LEMG_{MPFRF}$ e $LEMG_{MPFVL}$) o esperado é um decréscimo de valores ao longo de um mesmo estágio ($\beta < 0$). Uma vez que os incrementos neste protocolo são aplicados em degraus, é possível que a real intensidade correspondente à ocorrência de um limiar seja menor do que aquela do degrau onde a diferença de β será detectada. Para diminuir eventuais erros provenientes deste fato, a intensidade do limiar será obtida pela média entre a mais alta intensidade onde $\beta = 0$ e a mais baixa onde $\beta \neq 0$.

A partir do modelo matemático aplicado para a detecção dos limiares eletromiográficos nos protocolos rampa e degrau, foram estabelecidos alguns critérios de exclusão dos resultados considerados “*outliers*”. Para a análise bi-segmentar, a potência referente ao LEMG não poderia ser inferior a 130 W e nem superior ao valor da potência máxima do sujeito ($P_{m\acute{a}x}$) subtraído de 30 W (“ $P_{m\acute{a}x} - 30 \text{ W}$ ”). Na análise

tri-segmentar (simultânea e fracionada), o LEMG1 não poderia ser inferior a 130 W e nem superior ao valor “ $P_{\text{máx}} - 60 \text{ W}$ ”. O LEMG2 não poderia ser inferior a 160 W e nem superior ao valor “ $P_{\text{máx}} - 30 \text{ W}$ ”. Além disso, a potência referente ao LEMG1 não poderia ser superior ao do LEMG2. Por fim, para os LEMG provenientes do teste degrau, foram excluídos os valores abaixo de 100 W e acima de 94% $P_{\text{máx}}$ de cada sujeito.

Além dos modelos matemáticos, o LEMG nos protocolos rampa e degrau também foram identificados por inspeção visual por dois avaliadores experientes, como sendo o breakpoint do valor RMS em um gráfico RMS *versus* potência ($\text{LEMG}_{\text{visualrampaRF}}$, $\text{LEMG}_{\text{visualrampaVL}}$, $\text{LEMG}_{\text{visualdegrauRF}}$ e $\text{LEMG}_{\text{visualdegrauVL}}$).

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os resultados estão expressos com média e DP. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk* ($n < 50$). Para a análise de reprodutibilidade, foram realizados o teste t de student para amostras pareadas, no intuito de verificar se houve diferenças significativas entre cada limiar identificado pelo mesmo método no teste-reteste; o índice de correlação intra-classe (ICC) para verificar as correlações entre cada limiar identificado pelo mesmo método no teste-reteste; e o erro típico de medida (ETM) e seu coeficiente de variação (ETM_{CV}) para análise da variação intra-sujeitos de cada limiar. Para análise comparativa entre os LEMG, LL e LV (validade) foi realizada a análise de variância “one-way” para dados repetidos (ANOVA) e a correlação de Pearson (Matrix). Além disso, para os LEMG que não apresentaram

diferença significativa em relação ao LL ou LV, foram calculados os limites de concordância (Bland & Altman, 1986) entre os métodos. As análises foram realizadas utilizando o software GraphPad Prism para Windows (versão 5.0 GraphPad). O nível de significância adotado para todas as análises foi de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS

4.1 REPRODUTIBILIDADE E COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES MÁXIMOS

A tabela 1 apresenta a análise de reprodutibilidade e comparação dos índices máximos identificados em ambos os testes degrau e rampa.

Tabela 1 - Reprodutibilidade e comparação da potencia máxima – Pmax (W), frequência cardíaca máxima – FCmax (bpm) e consumo máximo de oxigênio -VO₂max (ml·kg⁻¹·min⁻¹) provenientes dos testes degrau e rampa.

Teste	Índice	Teste 1	Teste 2	ETM	ETM _{CV}	ICC (95%IC)
Degrau	Pmax	330 ± 31,6	331 ± 35,7	7,4	2,3	0,95 (0,87-0,98)
	FCmax	189 ± 7,9	189 ± 6,4	1,4	0,8	0,96 (0,90-0,98)
	VO ₂ max	64,6 ± 7,9	65,2 ± 7,1	1,7	2,6	0,95 (0,87-0,98)
Rampa	Pmax	409 ± 31,8*	408 ± 32,0*	4,4	1,1	0,98 (0,95-0,99)
	FCmax	188 ± 7,0	189 ± 6,8	1,8	1,0	0,93 (0,82-0,97)
	VO ₂ max	66,2 ± 6,5	65,5 ± 7,5	1,9	2,9	0,93 (0,82-0,97)

ETM (erro típico de medida); ETM_{CV} (coeficiente de variação do erro típico de medida); ICC (índice de correlação intra-classe). * = diferença significativa em relação a Pmax do teste degrau 1 e 2 (p<0,05).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os índices provenientes do teste-reteste em ambos os protocolos analisados (degrau e rampa), como pode ser observado na tabela 1. Além disso, foram encontrados baixos valores de ETM, assim como altas correlações, demonstrando a excelente reprodutibilidade absoluta e relativa, respectivamente, para todos os índices máximos identificados em ambos os protocolos incrementais. Na análise comparativa, apenas a Pmax identificada nos dois testes rampa foram significativamente maiores do que as obtidas nos protocolos degrau.

4.2 FREQUENCIAS DE IDENTIFICAÇÃO DA POTÊNCIA REFERENTE AO LEMG

A tabela 2 apresenta a frequência de sujeitos em que foi detectado o LEMG nos músculos VL e RF pelas análises bi-segmentar (bi-seg), tri-segmentar simultânea (trisim) e trisegmentar fracionada (trifrac) no protocolo rampa; pelas análises do valor RMS e MPF mensurados durante o teste degrau; e pela inspeção visual dos valores RMS em ambos os protocolos.

Tabela 2 - Frequência de sujeitos em que foi detectado o LEMG pelas diferentes análises matemáticas e de inspeção visual do sinal EMG, assim como os valores médios \pm desvio padrão e coeficiente de variação inter-individual.

Teste	Análise	n	Teste 1 (W)	CV (%)	n	Teste 2 (W)	CV (%)
Rampa	LEMG _{visualrampaRF}	18	330 \pm 32	9,7	16	318 \pm 39	12,3
	LEMG _{visualrampaVL}	18	339 \pm 41	12,1	18	341 \pm 29	8,5
	LEMG _{bisegRF}	12	348 \pm 32	9,2	16	327 \pm 47	14,4
	LEMG _{bisegVL}	14	339 \pm 71	20,9	15	357 \pm 33	9,2
	LEMG _{1 trisimRF}	13	264 \pm 68	25,8	14	281 \pm 39	13,9
	LEMG _{2 trisimRF}	10	343 \pm 48	14,0	9	359 \pm 35	9,7
	LEMG _{1 trisimVL}	4	228 \pm 101	44,3	8	277 \pm 78	28,2
	LEMG _{2 trisimVL}	11	349 \pm 37	10,6	12	346 \pm 43	12,4
	LEMG _{1 trifracRF}	10	233 \pm 79	34,0	9	248 \pm 60	24,2
	LEMG _{2 trifracRF}	12	348 \pm 32	9,2	16	327 \pm 47	14,4
	LEMG _{1 trifracVL}	3	256 \pm 108	42,2	8	258 \pm 83	32,2
	LEMG _{2 trifracVL}	12	352 \pm 47	13,4	15	357 \pm 33	9,2
Degrau	LEMG _{visualdegrauRF}	14	281 \pm 29	10,3	16	279 \pm 37	13,3
	LEMG _{visualdegrauVL}	15	299 \pm 29	9,7	17	301 \pm 29	9,6
	LEMGR _{RMSRF}	14	207 \pm 61	29,5	13	242 \pm 56	23,1
	LEMGR _{RMSVL}	16	194 \pm 66	34,0	14	256 \pm 43	16,8
	LEMGM _{MPFRF}	8	213 \pm 57	26,8	8	243 \pm 68	28,0
	LEMGM _{MPFVL}	8	194 \pm 88	45,4	7	274 \pm 62	22,6

CV (coeficiente de variação inter-individual); RF (reto femoral); VL (vasto lateral); biseg (bi-segmentar); trisim (tri-segmentar simultânea); trifrac (trisegmentar fracionada); RMS (*root mean square*); MPF (mediana da frequência).

Na tabela 3, são apresentadas as frequências de sujeitos em que foram detectados dois limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2)

pelas análises tri-segmentar (simultânea e fracionada) no protocolo rampa.

Tabela 3 - Frequência de sujeitos em que foram detectados dois limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2) pelas análises tri-segmentar (simultânea e fracionada) durante o protocolo rampa, assim como os valores médios \pm desvio padrão e coeficiente de variação interindividual.

	n	Teste1 (W)	CV (%)	n	Teste2 (W)	CV (%)
LEMG1 _{trismRF}	7	237 \pm 58	24,5	7	282 \pm 38	13,5
LEMG2 _{trismRF}		347 \pm 53	15,3		360 \pm 40	11,1
LEMG1 _{trismVL}	3	259 \pm 98	37,8	2	177 \pm 8	4,5
LEMG2 _{trismVL}		364 \pm 13	3,6		370 \pm 43	11,6
LEMG1 _{trifracRF}	7	238 \pm 71	29,8	9	248 \pm 60	24,2
LEMG2 _{trifracRF}		334 \pm 41	12,3		333 \pm 35	10,5
LEMG1 _{trifracVL}	2	319 \pm 24	7,5	7	253 \pm 88	34,8
LEMG2 _{trifracVL}		380 \pm 16	4,21		360 \pm 45	12,5

CV (coeficiente de variação inter-individual); RF (reto femoral); VL (vasto lateral); trism (tri-segmentar simultânea); trifrac (trisegmentar fracionada).

Pode-se observar que um baixo número de sujeitos apresentou os dois limiares e os resultados apresentaram grande variabilidade inter-individual. Além disso, enquanto em alguns sujeitos o LEMG1 e LEMG2 foram identificados no teste 1, os mesmos não apresentaram o mesmo comportamento no teste 2. Na análise tri-segmentar simultânea do sinal EMG do músculo RF, por exemplo, apenas três sujeitos apresentaram dois limiares eletromiográficos tanto no teste 1 quanto no 2. A mesma análise realizada no VL demonstrou que em apenas um sujeito foi possível identificar dois LEMG em ambos os testes. A partir da análise tri-segmentar fracionada, apenas cinco sujeitos apresentaram dois LEMG no teste 1 e 2. O mesmo comportamento foi observado em apenas um sujeito quando analisado o músculo VL.

4.3 REPRODUTIBILIDADE DO LEMG, LL E LV

A tabela 4 apresenta a reprodutibilidade da potência (W) dos limiares identificados pelos diferentes métodos. Os limiares

LEMG_{1trissimVL}, LEMG_{1trifracVL} e LEMG_{MPFVL} apresentaram poucos dados pareados (n=1 ou n=2) e portanto não foram incluídos nesta análise.

Tabela 4 - Reprodutibilidade das potências (W) referentes aos limiares de lactato (LL), ventilatórios (LV) e eletromiográficos (LEMG).

Limiar	n	Teste 1	Teste 2	ETM	ETM _{CV}	ICC (95%IC)
LL _{1visual}	18	217 ± 23	217 ± 23	6,8	3,2	0,91 (0,78-0,97)
LL _{1Rang}	18	175 ± 26	177 ± 26	14,8	8,4	0,67 (0,31-0,86)
LL _{2Rang}	18	247 ± 27	245 ± 25	5,2	2,1	0,96 (0,90-0,98)
LL _{12,0}	18	230 ± 27	221 ± 27*	5,5	2,4	0,96 (0,90-0,98)
LL _{23,5}	18	266 ± 29	262 ± 28	5,5	2,1	0,96 (0,90-0,98)
LV1	18	228 ± 49	230 ± 51	15,8	6,9	0,90 (0,75-0,96)
LV2	18	312 ± 39	309 ± 41	7,9	2,6	0,96 (0,90-0,98)
LEMG _{visualRMSRF}	16	328 ± 33	318 ± 39	11,4	3,5	0,90 (0,74-0,96)
LEMG _{visualRMSVL}	18	339 ± 41	341 ± 29	14,2	4,2	0,84 (0,62-0,94)
LEMG _{visualRFF}	12	348 ± 32	330 ± 45	17,6	5,2	0,79 (0,42-0,93)
LEMG _{1trissimVL}	13	337 ± 74	356 ± 35	41,6	12,0	0,42 (-0,14-0,78)
LEMG _{1trissimRFF}	10	264 ± 58	277 ± 40	24,0	9,0	0,75 (0,31-0,93)
LEMG _{2trissimRFF}	5	359 ± 24	352 ± 43	15,0	4,1	0,81 (0,00-0,98)
LEMG _{2trissimVL}	7	354 ± 40	341 ± 52	17,7	5,1	0,85 (0,36-0,97)
LEMG _{1trifracRFF}	7	253 ± 74	228 ± 52	22,3	9,3	0,88 (0,46-0,98)
LEMG _{2trifracRFF}	12	348 ± 32	330 ± 45	17,6	5,2	0,79 (0,42-0,93)
LEMG _{2trifracVL}	11	351 ± 49	358 ± 38	24,3	6,8	0,69 (0,19-0,91)
LEMG _{visualdegrauRFF}	11	280 ± 29	273 ± 36	13,5	4,9	0,83 (0,70-0,97)
LEMG _{visualdegrauVL}	11	297 ± 29	308 ± 29	5,9	1,9	0,96 (0,70-0,97)
LEMG _{RMSRF}	11	200 ± 63	235 ± 48	39,5	18,2	0,49 (-0,12-0,83)
LEMG _{RMSVL}	12	200 ± 61	245 ± 32*	39,3	17,6	0,29 (-0,31-0,73)
LEMG _{MPFRF}	6	225 ± 49	250 ± 73	34,0	14,3	0,69 (-0,13-0,95)

*p<0,05 = diferença e correlação significativa em relação ao teste 1; ETM (erro típico de medida); ETM_{CV} (coeficiente de variação do erro típico de medida em %); ICC (índice de correlação intra-classe).

Conforme a tabela 4, observa-se que a maioria dos limiares de lactato e ventilatórios não apresentaram diferenças significativas entre o teste e o reteste. Apenas o LL_{12,0} foi identificado em uma intensidade significativamente maior no teste comparado ao reteste. Os baixos valores de ETM e as altas correlações entre todos os limiares determinados pela resposta do lactato sanguíneo e ventilação demonstram a alta reprodutibilidade de todos os limiares de transição fisiológica.

O mesmo não foi observado em relação ao LEMG. Apesar de o LEMG_{RMSRF} e o LEMG_{MPFRF} não terem apresentado diferença significativa entre os testes 1 e 2, todos eles apresentaram uma alta variabilidade

intra-individual (ETM), com elevados valores de ETM_{CV} , o que demonstra a baixa reprodutibilidade de todos os LEMG identificados no protocolo degrau a partir de modelos matemáticos. Em contrapartida, a partir da inspeção visual dos dados RMS no mesmo protocolo, o LEMG detectado em ambos os músculos ($LEMG_{\text{visualdegrauRF}}$ e $LEMG_{\text{visualdegrauVL}}$) apresentou alta reprodutibilidade em 11 sujeitos.

Com exceção do $LEMG_{\text{bisegVL}}$, todos os demais LEMG identificados no protocolo rampa, tanto por modelos matemáticos quanto por inspeção visual, apresentaram alta reprodutibilidade, ou seja, sem diferenças significativas entre teste 1 e 2, baixa variação intra-sujeitos ($ETM_{CV} < 10\%$), com significantes correlações. O $LEMG_{\text{visualrampaVL}}$ foi o único que apresentou alta reprodutibilidade em toda a amostra (18 sujeitos).

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE LEMG, LL E LV

Para comparar as potências associadas aos LEMG, LL e LV, foram selecionados para análise estatística apenas os dados reprodutíveis apresentados na tabela 4. O presente estudo optou por adotar os seguintes critérios para considerar a reprodutibilidade aceitável: a) não apresentar diferenças significativas entre teste 1 e 2; e/ou b) apresentar ETM_{CV} menor ou igual a 10% e um valor de ICC maior ou igual a 0,70. Desta forma, todos os limiares identificados no protocolo degrau ($LEMG_{\text{RMSRF}}$, $LEMG_{\text{RMSVL}}$, $LEMG_{\text{MPFVL}}$), bem como o $LEMG_{\text{bisegVL}}$ foram excluídos das análises. Como as amostras reprodutíveis de cada LEMG foram diferentes, os LL e LV foram pareados com os respectivos LEMG e o restante dos dados foi excluído desta análise. Para cada limi-

ar considerado reprodutível, utilizou-se o valor médio (Potência e %Pmax) entre o teste 1 e 2.

Tabela 5 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG_{bissegRF}$, LL e LV (n=12).

	Potência (W)	%Pmax rampa	%Pmax degrau
$LEMG_{bissegRF}$	340,9 ± 33,06 ^{b,c,d,e,f,g}	82 ± 7	-
$LL1_{visual}$	220,5 ± 22,92 ^{a,c,f,g,h}	-	66 ± 5
$LL1_{Bseg}$	182,5 ± 21,82 ^{a,b,d,e,f,g,h}	-	54 ± 5
$LL1_{2,0}$	229,4 ± 27,06 ^{a,c,f,g,h}	-	69 ± 3
LV1	223,0 ± 53,13 ^{a,c,f,g,h}	55 ± 10	-
$LL2_{Bseg}$	253,3 ± 24,04 ^{a,b,c,e,h}	-	76 ± 3
$LL2_{3,5}$	269,4 ± 27,51 ^{a,b,c,d,e,h}	-	81 ± 3
LV2	314,8 ± 42,35 ^{b,c,d,e,f,g}	76 ± 7	-

a = diferença significativa em relação ao $LEMG_{bissegRF}$; b = diferença significativa em relação ao $LL1_{visual}$; c = diferença significativa em relação ao $LL1_{Bseg}$; d = diferença significativa em relação ao $LL1_{2,0}$; e = diferença significativa em relação ao LV1; f = diferença significativa em relação ao $LL2_{Bseg}$; g = diferença significativa em relação ao $LL2_{3,5}$; h = diferença significativa em relação ao LV2.

Tabela 6 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG1_{trissimRF}$, LL1 e LV1 (n=10).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG1_{trissimRF}$	270,7 ± 37,38 ^{b,c,d,e}	65 ± 8	-
$LL1_{visual}$	223,5 ± 26,59 ^{a,c}	-	65 ± 5
$LL1_{Bseg}$	181,0 ± 26,65 ^{a,b,d,e}	-	53 ± 4
$LL1_{2,0}$	233,4 ± 31,01 ^{a,c}	-	68 ± 5
LV1	231,7 ± 57,25 ^{a,c}	55 ± 11	-

a = diferença significativa em relação ao $LEMG1_{trissimRF}$; b = diferença significativa em relação ao $LL1_{visual}$; c = diferença significativa em relação ao $LL1_{Bseg}$; d = diferença significativa em relação ao $LL1_{2,0}$; e = diferença significativa em relação ao LV1;

Tabela 7 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG2_{trissimRF}$, LL2 e LV2 (n=5).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG2_{trissimRF}$	355,5 ± 29,88	84 ± 8	-
$LL2_{Bseg}$	264,8 ± 25,39 ^{a,b}	-	77 ± 5
$LL2_{3,5}$	280,2 ± 31,17 ^{a,b}	-	81 ± 4
LV2	322,1 ± 34,67	76 ± 5	-

a = diferença significativa em relação ao $LEMG2_{trissimRF}$; b = diferença significativa em relação ao LV2;

Tabela 8 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG2_{trissimVL}$, LL2 e LV2 (n=7).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG2_{trissimVL}$	347,8 ± 43,36	83 ± 10	-
$LL2_{Bseg}$	255,8 ± 29,61 ^{a,b}	-	75 ± 10
$LL2_{3,5}$	276,2 ± 32,99 ^{a,b}	-	81 ± 2
LV2	331,6 ± 30,24	79 ± 3	-

a = diferença significativa em relação ao $LEMG2_{trissimVL}$; b = diferença significativa em relação ao LV2;

Tabela 9 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG1_{\text{trifacRF}}$, LL1 e LV1 (n=7).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG1_{\text{trifacRF}}$	240,9 ± 57,87	59 ± 13	-
$LL1_{\text{visual}}$	215,4 ± 25,18	-	65 ± 5
$LL1_{\text{Breg}}$	175 ± 24,49 ^a	-	53 ± 5
$LL1_{2,0}$	220,1 ± 21,78	-	67 ± 5
LV1	207,6 ± 48,33	51 ± 10	-

^a = diferença significativa em relação ao $LEMG1_{\text{trifacRF}}$

Tabela 10 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG2_{\text{trifacRF}}$, LL2 e LV2 (n=12).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG2_{\text{trifacRF}}$	339,1 ± 35,20	82 ± 7	-
$LL2_{\text{Breg}}$	254,1 ± 26,02 ^{a,b}	-	76 ± 3
$LL2_{3,5}$	271,4 ± 29,34 ^{a,b}	-	81 ± 3
LV2	314,0 ± 44,78	76 ± 7	-

^a = diferença significativa em relação ao $LEMG2_{\text{trifacRF}}$; ^b = diferença significativa em relação ao LV2;

Tabela 11 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG2_{\text{trifacVL}}$, LL2 e LV2 (n=11).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG2_{\text{trifacVL}}$	354,9 ± 38,20	84 ± 7	-
$LL2_{\text{Breg}}$	256,4 ± 24,62 ^{a,b}	-	75 ± 4
$LL2_{3,5}$	274,4 ± 27,83 ^{a,b}	-	81 ± 4
LV2	321,8 ± 31,83 ^a	76 ± 5	-

^a = diferença significativa em relação ao $LEMG2_{\text{trifacVL}}$; ^b = diferença significativa em relação ao LV2;

Tabela 12 - Comparação entre as potências (W) referentes ao $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$, LL e LV (n=16).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
$LEMG_{\text{visualrampaRF}}$	323 ± 34 ^{b,c,d,e,f,g}	79 ± 5	-
$LL1_{\text{visual}}$	217 ± 23 ^{a,c,f,g,h}	-	66 ± 5
$LL1_{\text{Breg}}$	178 ± 22 ^{a,b,c,d,e,f,g,h}	-	54 ± 5
$LL1_{2,0}$	226 ± 28 ^{a,c,f,g,h}	-	68 ± 4
LV1	229 ± 49 ^{a,c,f,g,h}	55 ± 9	-
$LL2_{\text{Breg}}$	248 ± 28 ^{a,b,c,h}	-	75 ± 4
$LL2_{3,5}$	265 ± 30 ^{a,b,c,d,e,h}	-	80 ± 3
LV2	310 ± 42 ^{b,c,d,e,f,g}	76 ± 7	-

^a = diferença significativa em relação ao $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$; ^b = diferença significativa em relação ao $LL1_{\text{visual}}$; ^c = diferença significativa em relação ao $LL1_{\text{Breg}}$; ^d = diferença significativa em relação ao $LL1_{2,0}$; ^e = diferença significativa em relação ao LV1; ^f = diferença significativa em relação ao $LL2_{\text{Breg}}$; ^g = diferença significativa em relação ao $LL2_{3,5}$; ^h = diferença significativa em relação ao LV2.

Tabela 13 - Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG_{visualrampaVL}, LL e LV (n=18).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
LEMG _{visualrampaVL}	340 ± 37 ^{a,b,c,d,e,f,g,h}	83 ± 5	-
LL1 _{visual}	217 ± 22 ^{a,c,f,g,h}	-	66 ± 5
LL1 _{Berz}	176 ± 22 ^{a,b,d,e,f,g,h}	-	53 ± 5
LL1 _{2,0}	225 ± 26 ^{a,c,f,g,h}	-	68 ± 4
LV1	229 ± 46 ^{a,c,g,h}	56 ± 9	-
LL2 _{Berz}	246 ± 25 ^{a,b,c,d,h}	-	75 ± 4
LL2 _{3,5}	264 ± 28 ^{a,b,c,d,e,h}	-	80 ± 3
LV2	310 ± 39 ^{a,b,c,d,e,f,g,h}	76 ± 7	-

a = diferença significativa em relação ao LEMG_{visualrampaVL}; b = diferença significativa em relação ao LL1_{visual}; c = diferença significativa em relação ao LL1_{Berz}; d = diferença significativa em relação ao LL1_{2,0}; e = diferença significativa em relação ao LV1; f = diferença significativa em relação ao LL2_{Berz}; g = diferença significativa em relação ao LL2_{3,5}; h = diferença significativa em relação ao LV2.

Tabela 14 - Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG_{visualdegrauRF}, LL e LV (n=11).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
LEMG _{visualdegrauRF}	277 ± 30 ^{b,c,d,e,f,h}	-	85 ± 5
LL1 _{visual}	217 ± 23 ^{a,c,f,g,h}	-	67 ± 5
LL1 _{Berz}	176 ± 23 ^{a,b,d,e,f,g,h}	-	54 ± 5
LL1 _{2,0}	224 ± 27 ^{a,c,g,h}	-	69 ± 4
LV1	227 ± 49 ^{a,c,f,g,h}	56 ± 9	-
LL2 _{Berz}	245 ± 28 ^{a,b,c,h}	-	75 ± 4
LL2 _{3,5}	262 ± 31 ^{b,c,d,e,h}	-	80 ± 4
LV2	307 ± 42 ^{a,b,c,d,e,f,g}	75 ± 7	-

a = diferença significativa em relação ao LEMG_{visualdegrauRF}; b = diferença significativa em relação ao LL1_{visual}; c = diferença significativa em relação ao LL1_{Berz}; d = diferença significativa em relação ao LL1_{2,0}; e = diferença significativa em relação ao LV1; f = diferença significativa em relação ao LL2_{Berz}; g = diferença significativa em relação ao LL2_{3,5}; h = diferença significativa em relação ao LV2.

Tabela 15 - Comparação entre as potências (W) referentes ao LEMG_{visualdegrauVL}, LL e LV (n=11).

	Potência (W)	%Pmáx rampa	%Pmáx degrau
LEMG _{visualdegrauVL}	303 ± 29 ^{b,c,d,f,g}	-	88 ± 4
LL1 _{visual}	225 ± 23 ^{a,c,e,f,g,h}	-	66 ± 5
LL1 _{Berz}	182 ± 24 ^{a,b,c,d,f,g,h}	-	53 ± 4
LL1 _{2,0}	236 ± 28 ^{a,c,f,g,h}	-	69 ± 5
LV1	246 ± 36 ^{a,b,c,f,g,h}	58 ± 6	-
LL2 _{Berz}	255 ± 26 ^{a,b,c,d,e,h}	-	74 ± 3
LL2 _{3,5}	275 ± 28 ^{a,b,c,d,e,h}	-	80 ± 4
LV2	318 ± 37 ^{b,c,d,e,f,g}	75 ± 7	-

a = diferença significativa em relação ao LEMG_{visualdegrauVL}; b = diferença significativa em relação ao LL1_{visual}; c = diferença significativa em relação ao LL1_{Berz}; d = diferença significativa em relação ao LL1_{2,0}; e = diferença significativa em relação ao LV1; f = diferença significativa em relação ao LL2_{Berz}; g = diferença significativa em relação ao LL2_{3,5}; h = diferença significativa em relação ao LV2.

Conforme os resultados apresentados nas tabelas 5, 6, 9 e 12 a 15, as intensidades referentes ao LL1_{visual}, LL1_{2,0} e LV1 não apresentaram diferenças significantes entre si na grande maioria das comparações

realizadas. A única excessão foi apresentada na tabela 15, em que o $LL1_{\text{visual}}$ apresentou diferença significativa em relação ao LV1. O $LL1_{\text{Berg}}$ apresentou diferença significativa em relação aos demais métodos de identificação do LTF1 na maioria das análises comparativas efetuadas ($LL1_{\text{Berg}} < LL1_{\text{visual}} = LL1_{2,0} = LV1$), com exceção dos resultados demonstrados na tabela 8 ($LL1_{\text{Berg}} = LL1_{\text{visual}} = LL1_{2,0} = LV1$). Foram observadas significantes correlações entre o $LL1_{\text{visual}}$ e o $LL1_{\text{Berg}}$ ($ICC = 0,93$), bem como entre o $LL1_{\text{visual}}$ e o $LL1_{2,0}$ ($ICC = 0,97$). O $LL1_{\text{Berg}}$ e $LL1_{2,0}$ também apresentaram correlações significantes em todas as análises ($ICC = 0,87$). O LV1 também apresentou correlações significantes com $LL1_{\text{visual}}$ ($ICC = 0,70$), com $LL1_{2,0}$ ($ICC = 0,74$), e com $LL1_{\text{Berg}}$ ($ICC = 0,63$)

Em relação aos métodos de identificação do LTF2, as intensidades referentes ao $LL2_{\text{Berg}}$ e ao $LL2_{3,5}$ não apresentaram diferenças significantes em todas as comparações realizadas, contudo o LV2 foi identificado em uma intensidade superior aos dois referidos métodos (Tabelas 5, 7, 8, 10 e 11 a 15). Foram observadas altas e significantes correlações entre $LL2_{\text{Berg}}$ e $LL2_{3,5}$ ($ICC=0,99$). O LV2 também apresentou significantes e altas correlações com $LL2_{\text{Berg}}$ e $LL2_{3,5}$ ($ICC = 0,91$ e $0,97$, respectivamente).

Em relação aos limiares identificados pela análise matemática do sinal EMG, o $LEMG_{\text{bisegRF}}$ apresentou diferença significativa em relação a maioria dos LTF, ocorrendo a uma intensidade superior ao $LL1_{\text{Berg}}$, $LL1_{\text{visual}}$, $LL1_{2,0}$, LV1, $LL2_{\text{Berg}}$ e $LL2_{3,5}$. Apenas o LV2 não apresentou diferença significativa em relação ao $LEMG_{\text{bisegRF}}$ (Tabela 5), contudo não foram observadas correlações significantes ($p>0,05$).

Conforme os resultados apresentados na tabela 6, o $LEMG1_{\text{trsimRF}}$ também ocorreu em uma intensidade superior a todos os LTF1 ($LL1_{\text{visual}}$, $LL1_{\text{Berg}}$, $LL1_{2,0}$ e LV1). Contudo, a partir da análise tri-segmentar fracionada do sinal EMG no mesmo músculo, o $LEMG1_{\text{trfracRF}}$ apresentou diferença significativa apenas em relação ao $LL1_{\text{Berg}}$ ($LEMG1_{\text{trfracRF}} > LL1_{\text{Berg}}$), ocorrendo em intensidade similar aos demais métodos ($LL1_{\text{visual}}$, $LL1_{2,0}$ e LV1) (Tabela 9), contudo não foram observadas correlações significativas com os referidos índices ($p > 0,05$).

As tabelas 7, 8 e 10 demonstram que o $LEMG2_{\text{trsimRF}}$, $LEMG2_{\text{trsimVL}}$ e $LEMG2_{\text{trfracRF}}$ não apresentaram diferença significativa em relação a intensidade referente ao LV2, contudo não foram observadas correlações significativas ($p > 0,05$). Todos os referidos LEMG ocorreram em uma intensidade superior ao $LL2_{\text{Berg}}$ e $LL2_{3,5}$. O $LEMG2_{\text{trfracVL}}$ apresentou diferença significante em relação a todos os métodos comparados, identificado a uma intensidade superior ao $LL2_{\text{Berg}}$, $LL2_{3,5}$ e também ao LV2.

Em relação ao LEMG identificados por inspeção visual, o $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ não apresentou diferença significativa apenas em relação a intensidade referente ao LV2, com significativas correlações entre eles ($r=0,57$; $p < 0,05$). Contudo, o $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ ocorreu em uma intensidade superior ao $LL2_{\text{Berg}}$ e $LL2_{3,5}$ (tabela 12), apesar de terem sido verificadas correlações significativas ($r=0,64$ e $0,62$; $p < 0,05$). Já o $LEMG_{\text{visualrampaVL}}$ apresentou diferença significativa em relação a todos os LTF identificados, sem correlações significativas ($p > 0,05$).

A partir da inspeção visual dos dados RMS no protocolo de grau, $LEMG_{\text{visualdegrauRF}}$ não apresentou diferença significativa apenas em relação ao $LL2_{3,5}$, com significativas correlações ($r=0,64$; $p < 0,05$). O

LEMG_{visualdegrauVL} não apresentou diferença significativa apenas em relação ao LV2, contudo não foram observadas correlações significativas ($p > 0,05$).

4.5 ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA ENTRE LEMG, LV2 e LL_{3,5}

Em virtude de não terem sido encontradas diferenças significativas com significativas correlações entre LEMG_{visualdegrauRF} e LL_{3,5}, assim como entre LEMG_{visualrampaRF} e LV2, foram realizadas as análises de concordância (Bland e Altman, 1986) entre os métodos. A figura 9 apresenta o bias e os limites de concordância (95%) para a comparação entre LEMG_{visualrampaRF} e LV2 (bias = 13,4 W; SD = 35,5 W), e a figura 10 demonstra os resultados observados para a comparação entre LEMG_{visualdegrauRF} e LL_{3,5} (bias = 15,2 W; SD = 25,5 W).

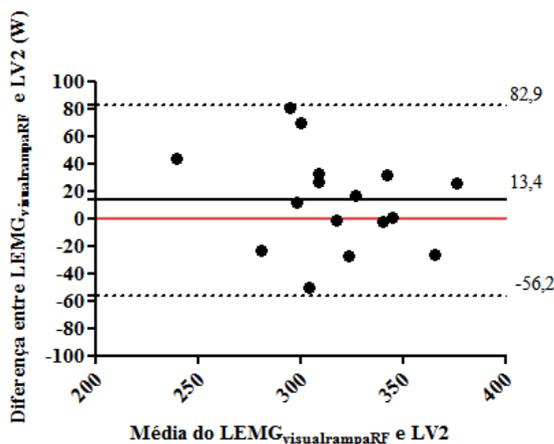


Figura 9. Análise de concordância de Bland e Altman entre LEMG_{visualrampaRF} e LV2.

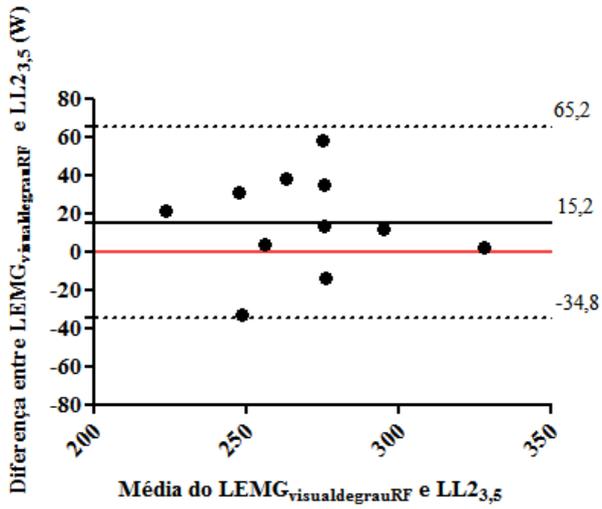


Figura 10. Análise de concordância de Bland e Altman entre LEMG_{visualdegrauRF} e LL_{3,5}.

5. DISCUSSÃO

5.1 REPRODUTIBILIDADE DO LEMG

Inúmeras pesquisas têm buscado demonstrar a validade da EMG como um método alternativo para identificar os LTF. Essa técnica é realizada por meio da comparação entre as intensidades referentes ao LEMG, LL e LV, identificadas durante testes incrementais (i.e. cicloergômetro). Entretanto, os resultados encontrados na literatura parecem conflitantes. Além disso, o reduzido número de pesquisas que comprovaram a reprodutibilidade do LEMG limita a própria validade deste índice e, conseqüentemente, restringe a sua utilização na prática esportiva. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo investigar a reprodutibilidade do LEMG e a sua validade para identificar os LTF por meio da comparação com a resposta do lactato sanguíneo (LL1 e LL2) e parâmetros ventilatórios (LV1 e LV2) em protocolos incrementais do tipo degrau e rampa, respectivamente, em cicloergômetro.

Os principais achados deste estudo demonstraram que o LEMG (matemático e visual), identificado em protocolo rampa, apresenta alta reprodutibilidade, em virtude de não ter apresentado diferenças significativas entre os testes 1 e 2, pela baixa variabilidade intra-sujeitos e pelas significativas correlações entre teste-reteste. Contudo, o modelo visual superestimou a identificação do LEMG reprodutível comparado ao modelo matemático. Pôde-se observar também uma maior ocorrência do LEMG2 comparado ao LEMG1. No protocolo degrau, o LEMG identificado por modelo matemático (RMS e MPF) não apresentou boa reprodutibilidade. Por meio da inspeção visual, foi possível encontrar

um LEMG reprodutível, contudo o referido índice foi identificado em menor frequência entre os sujeitos avaliados quando comparado ao mesmo método aplicado no protocolo rampa.

A identificação do LEMG e a investigação de sua validade tem sido proposta durante protocolos em cicloergômetro de cargas constantes (descontínuos) (deVRIES et al, 1982; deVRIES et al, 1987; MORITANI et al, 1993; MATSUMOTO et al, 1991; PRINGLE e JONES et al, 2002; GRAEF et al, 2008; VITASSALO et al, 1985); ou durante testes incrementais (contínuos) do tipo rampa (LUCIA et al, 1997; LUCIA et al, 1999), pequenos degraus (estágios de 1 minuto) (CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; HUG et al, 2003a; HUG et al, 2003b; JURIMAE et al, 2007; MELLO et al, 2006; NAGATA et al, 1981; SEBURN et al, 1992) e degraus maiores (estágios ≥ 2 min) (deVRIES et al, 1990; AIRAKSINEN et al, 1992; CAMIC et al, 2010; CANDOTTI et al, 2008; GLASS et al, 1998; HELAL et al, 1987; MONETA et al, 1994; MONETA et al, 1998; TYKA et al, 2009). O uso de protocolos incrementais, em oposição aos testes de carga constante, parece vantajoso pela facilidade em determinar o LEMG a partir de um único teste (HUG et al, 2006; deVRIES et al, 1990; CAMIC et al, 2010).

A escolha do presente estudo ao adotar um protocolo degrau, com estágios de 3 min de duração, foi com o intuito inicial de comparar a intensidade correspondente ao LEMG com a referente ao LL1 e LL2. O protocolo degrau tem sido reportado na literatura como um dos mais indicados para observar a resposta do lactato sanguíneo ao exercício incremental (DENADAI, 1999; DAVIS et al, 2007; BENTLEY et al, 2007). Da mesma forma, o protocolo rampa tem sido amplamente sugerido na literatura para identificar o LV1 e LV2 (WESTON e GABBETT,

2001; LUCIA et al, 2000; DENADAI et al, 1999). Dessa forma, optou-se pelo uso do protocolo rampa para avaliar a validade do LEMG associado às respostas ventilatórias (LV1 e LV2) durante o exercício incremental.

Além da variação do tipo de protocolo, a identificação do LEMG também tem sido proposta por meio de inspeção visual dos dados iEMG, RMS ou MPF (AIRAKSINEN et al, 1992; CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; HUG et al, 2003a; HUG et al, 2003b; HUG et al, 2006; JURIMAE et al, 2007; TYKA et al, 2009), ou por modelos matemáticos (deVRIES et al, 1982; deVRIES et al, 1987; MORITANI et al, 1993; MATSUMOTO et al, 1991; PRINGLE e JONES et al, 2002; GRAEF et al, 2008; VITASSALO et al, 1985; CANDOTTI et al, 2008; LUCIA et al, 1999; LUCIA et al 1997; HELAL et al, 1987; MELLO et al, 2006; NAGATA et al, 1981; HUG et al, 2006).

O presente estudo optou por identificar o LEMG, tanto por modelos matemáticos como por meio da inspeção visual, no intuito de investigar a sua validade quando comparado aos LTF. Contudo, destaca-se que, antes de verificar a validade do LEMG identificado, optou-se por verificar se o índice apresentava alta reprodutibilidade. Desta forma, a análise da validade foi realizada apenas com os LEMG considerados reprodutíveis. Esse rigor metodológico, conforme revisado na literatura, parece ser um procedimento inédito, tendo em vista que apenas um estudo investigou a reprodutibilidade do LEMG em protocolo incremental (LUCIA et al, 1999). Lucia et al (1999) inicialmente verificaram a validade do LEMG ao compará-lo com LV e LL, todos identificados durante um protocolo rampa, com 28 ciclistas de elite. A reprodutibilidade do

LEMG foi analisada separadamente com os 15 sujeitos que realizaram o reteste. Portanto, as comparações entre os achados devem ser cautelosas em virtude das diferenças metodológicas de ambos os estudos.

No presente estudo se observou que o tipo de protocolo (rampa ou degrau) bem como o modelo (matemático ou visual) adotado para a identificação do LEMG influenciam os resultados. A partir das análises do valor RMS por modelos matemáticos no protocolo rampa, foi possível identificar um LEMG no músculo RF ($LEMG2_{\text{trifracRF}}$ e $LEMG_{\text{bisegRF}}$) com alta reprodutibilidade em 12 sujeitos. Já o $LEMG2_{\text{trisimRF}}$ e $LEMG2_{\text{trisimVL}}$ apresentaram alta reprodutibilidade em uma pequena parcela dos sujeitos avaliados (5 e 7 sujeitos, respectivamente). Da mesma forma, o LEMG1 detectado no RF ($LEMG1_{\text{trisimRF}}$ e $LEMG1_{\text{trifracRF}}$) também apresentou alta reprodutibilidade, porém em poucos sujeitos (10 e 7, respectivamente). Comparado aos modelos matemáticos, a inspeção visual dos valores RMS durante este protocolo superestimou a identificação dos índices, ao detectar o $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ e o $LEMG_{\text{visualrampaVL}}$ com alta reprodutibilidade na maioria dos sujeitos (16 e 18, respectivamente).

Portanto, durante o protocolo rampa, os resultados demonstraram que as análises matemáticas (tri-segmentar simultânea e fracionada) aplicadas com o propósito de tentar detectar dois limiares eletromiográficos (LEMG1 e LEMG2) detectaram o LEMG1 em uma pequena frequência de sujeitos. Além disso, as análises de inspeção visual também identificaram apenas um limiar eletromiográfico (LEMG2). Estes resultados sugerem que ciclistas competitivos apresentam apenas um LEMG reprodutível (LEMG2) durante protocolo incremental do tipo rampa.

A reprodutibilidade do LEMG identificado por modelos matemáticos durante um protocolo incremental do tipo rampa foi investigado apenas por Lucia e colaboradores (1999). O referido estudo foi conduzido com 28 ciclistas de elite ($VO_{2max} = 70 \pm 6,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; $P_{max} = 433 \pm 49 \text{ W}$), contudo apenas 15 participaram da análise de reprodutibilidade. Já o presente trabalho foi realizado com 18 ciclistas competitivos ($66 \pm 6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; $P_{max} = 409 \pm 32 \text{ W}$). Lucia et al (1999), por meio da correlação de Pearson, verificaram altas correlações entre a intensidade associada aos LEMG1 do teste e reteste ($r=0,83$ e $r=0,96$ no VL e RF, respectivamente) e em ambos LEMG2 ($r=0,86$ e $r=0,87$ no VL e RF, respectivamente), demonstrando alta reprodutibilidade do LEMG. Já o presente estudo, encontrou alta reprodutibilidade do LEMG2 (LEMG2_{trsimRF}, LEMG2_{trsimVL}, LEMG2_{trfracRF} e LEMG2_{trfracVL}) ao verificar significativas correlações ($r=0,81$, $0,85$, $0,79$ e $0,69$, respectivamente) e baixa variabilidade intra-individual ($ETM_{CV} = 4,1$; $5,1$; $5,2$ e $6,8$, respectivamente) entre teste-reteste.

A estatística em estudos de reprodutibilidade tem sido aprimorada por alguns autores. O modelo tradicional (reprodutibilidade relativa) utiliza a comparação de médias e a análise de correlação (teste-reteste) por meio do índice de correlação intra-classe (ICC), ao verificar o grau de associação entre duas medidas (WEIR et al, 2005). Dentre as análises avançadas (reprodutibilidade absoluta), Hopkins (2000) tem sugerido o erro típico de medida (ETM) e o seu coeficiente de variação (ETM_{CV}). Portanto, a utilização de análises avançadas para verificar a reprodutibilidade do EMG parece ter sido algo inédito realizado pelo presente estudo, em virtude de Lucia et al (1999) terem optado apenas pelo modelo tradicional.

No estudo de Lucia et al (1999), os limiares eletromiográficos ocorreram em percentuais da potência máxima (LEMG1 60-70% P_{máx} e LEMG2 80-90% P_{máx}) cujos valores foram superiores aos verificados no presente estudo (LEMG2 80-84% P_{máx}), diferença a qual pode ser atribuída às distinções no nível de treinamento das amostras. Diferenciando-se dos resultados do presente estudo, Lucia et al (1999), por meio do modelo matemático, verificou alta reprodutibilidade do LEMG2 em todos os 15 ciclistas analisados (100% da amostra). Em contrapartida, no presente estudo, encontrou-se alta reprodutibilidade do LEMG2_{trifracRF} e LEMG2_{bisegRF} em apenas 12 sujeitos do total da amostra. Contudo, comparado aos modelos matemáticos, a inspeção visual dos valores RMS durante este protocolo no presente estudo superestimou a identificação dos índices, ao detectar o LEMG_{visualrampaRF} e o LEMG_{visualrampaVL} com alta reprodutibilidade na maioria dos sujeitos (16 e 18, respectivamente).

Hug et al (2006) sugerem que a inspeção visual é um método subjetivo que pode ser influenciado pela experiência e habilidade do avaliador. Dessa forma, a identificação do LEMG por modelos matemáticos evitaria esse problema. O presente estudo, ao se propor a identificar o LEMG por meio de inspeção visual e rotinas matemáticas, verificou que o primeiro método superestima a frequência de identificação dos LEMG comparado ao segundo tipo de análise. Estes resultados também foram encontrados por Hug e colaboradores (2006) ao submeter seis sujeitos a um protocolo com pequenos degraus em cicloergômetro (início a 100 W, com incrementos de 25 W·min⁻¹). Os autores não observaram diferenças significativas na intensidade em que ocorreu o LEMG identificado pelos dois tipos de análises (visual e matemática)

em oito músculos, inclusive no VL e RF. Contudo, em apenas 67% da amostra foi possível identificar o LEMG pelo modelo matemático, enquanto que o visual identificou o LEMG em 94% dos sujeitos. O presente estudo identificou o LEMG em no máximo 67% da amostra a partir dos modelos matemáticos e em 89 a 100% dos sujeitos pela inspeção visual. Outros estudos realizados também tiveram sucesso ao identificar o LEMG por inspeção visual (AIRAKSINEN et al, 1992; CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; HUG et al, 2003a; HUG et al, 2003b; HUG et al, 2006; JURIMAE et al, 2007; TYKA et al, 2009).

Conforme Hug et al (2006), interferências no sinal EMG devido aos artefatos dos movimentos podem ocorrer durante o teste. Sendo assim, qualquer método completamente automatizado para identificação do LEMG necessita reconhecer e rejeitar os traços em que o sinal EMG aparece confuso. Contudo, atualmente, não parece existir nenhum método com a complexidade necessária para executar essa tarefa. Até que isto seja alcançado, os autores indicam como necessário verificar visualmente cada traço contra os valores derivados da rotina matemática para assegurar que o LEMG seja fidedigno. Talvez o desenvolvimento de um método que integre a análise visual e matemática seja uma alternativa válida para identificar o LEMG com maior precisão.

A alta reprodutibilidade do LEMG identificado por modelos matemáticos no protocolo rampa não foi igualmente observado durante o protocolo degrau. Um dos principais achados do presente estudo também indica que o protocolo degrau e o modelo matemático utilizado (CAMIC et al, 2010) não parece ser adequado para a identificação do LEMG. Ao observar os resultados isolados de cada teste (1 e 2), a análi-

se do valor RMS permitiu identificar o LEMG ($LEMG_{RMSRF}$ e $LEMG_{RMSVL}$) em 13 a 16 sujeitos, enquanto que a análise do valor MPF ($LEMG_{MPFRF}$ e $LEMG_{MPFVL}$) apresentou uma frequência de detecção do LEMG menor (7 a 8 sujeitos). Além disso, a intensidade em que ocorrem estes índices apresentou uma grande variabilidade inter-individual. Ao comparar os resultados do LEMG encontrados nos testes 1 e 2, observou-se que todos índices identificados apresentaram uma alta variabilidade intra-individual (ETM), com elevados valores de ETM_{CV} , o que demonstra a baixa reprodutibilidade de todos os LEMG identificados no protocolo degrau a partir de modelos matemáticos. Desta forma, em virtude da baixa reprodutibilidade, todos os limiares eletromiográficos identificados por meio do modelo matemático no protocolo degrau ($LEMG_{RMSRF}$, $LEMG_{RMSVL}$, $LEMG_{MPFRF}$, $LEMG_{MPFVL}$) não prosseguiram para as comparações de validade.

Tal achado parece indicar que o uso de estágios com 3 min de duração e este tipo de modelo matemático não sejam apropriados quando o objetivo é verificar as respostas do valor RMS e MPF ao exercício incremental na tentativa de identificar o LEMG reprodutível. A reprodutibilidade do LEMG identificado em protocolo incremental degrau por modelos matemáticos ainda não parece ter sido reportada na literatura. Desta forma a discussão destes resultados inéditos permanece muito limitada.

Este modelo matemático adotado em protocolo degrau para identificar o LEMG pela análise do valor RMS foi proposto por deVries e colaboradores (1990) em um protocolo com incrementos de 12 a 25 W a cada estágio de 2 min. Diferenciando-se do presente trabalho, além do uso de estágios com menor duração, o referido estudo foi conduzido

com estudantes universitários (4 mulheres e 15 homens), heterogêneos quanto ao condicionamento físico e níveis de atividade física. DeVries et al (1990) detectaram o LEMG em todos os 19 sujeitos da amostra e observaram LEMG no músculo VL a uma intensidade de 210 ± 73 W. Enquanto isso, o presente estudo identificou o $\text{LEMG}_{\text{RMSVL}}$ no teste 1 a uma intensidade de 194 ± 66 W em quase toda a amostra (16 sujeitos). Desta forma, a variabilidade inter-individual do LEMG identificado no referido estudo ($\text{CV}=35\%$), também foi alta quando comparada com a variabilidade do $\text{LEMG}_{\text{RMSVL}}$ do presente estudo (34%). Como um aspecto limitante, deVries et al (1990) não apresentaram qualquer informação adicional sobre o teste incremental (i.e. valores de Pmax), o que dificultam as comparações. Além disso, deVries et al (1990) não investigaram a reprodutibilidade de seu protocolo, procedimento estatístico adotado pelo presente estudo. Desta forma, as comparações dos resultados tornam-se limitadas.

Da mesma forma, Camic et al (2010) conduziram um estudo com 16 homens não treinados submetidos a um protocolo incremental (25 W a cada 2 min a uma cadência de 70 rpm) e aplicaram o modelo proposto por deVries et al (1990) no domínio do tempo (RMS), e também no domínio da frequência (MPF). Os autores não observaram diferenças significativas entre as potências referentes ao LEMG identificado pelo valor RMS (168 ± 36 W) e LV1 (152 ± 33 W), com baixas correlações ($r=0,37$), assim como sem diferenças entre o LEMG determinado pelo valor MPF (208 ± 37 W) e o LV2 (205 ± 29 W), com significativa e moderada correlação ($r=0,72$). Os achados levaram os autores a sugerir que LEMG RMS e LV1 demarcariam o limite superior entre os domínios moderado e pesado (LTF1), enquanto que o LEMG MPF e o

LV2 demarcariam o limite superior entre os domínios pesado e severo (LTF2).

No presente estudo, optou-se por adotar alguns critérios para excluir os resultados *outliers* encontrados a partir das análises do modelo matemático. Esse critério foi estabelecido com o intuito de englobar a intensidade em que podem ocorrer os LTF (LL e LV). A literatura parece demonstrar que o LV1 e LL1 ocorrem a uma intensidade de 50-70% P_{máx}, enquanto o LL2 e LV2 a 75-85% P_{máx} (DENADAI et al, 1999; MEYER et al, 2005 FAUDE et al, 2009). Portanto, em virtude do presente trabalho ter como objetivo verificar a validade dos limiares eletromiográficos reproduzíveis como um índice de capacidade aeróbia, considerou-se que ao estabelecer estes critérios para excluir os valores *outliers* estaríamos utilizando uma metodologia coerente em relação aos aspectos fisiológicos.

Esse rigor metodológico, não relatado nos estudos revisados, talvez possa explicar a menor frequência de sujeitos em que foram identificados o LEMG no presente trabalho. Nos resultados de Camic et al (2010), observa-se que todos os limiares identificados apresentaram uma variação muito grande. O LEMG RMS, por exemplo, foi identificado a uma potência de 95 a 275 W. Já para o LEMG MPF, a potência variou de 155 a 275 W. Os autores não apresentam os valores de P_{max} alcançados durante o teste incremental. Desta forma não é possível identificar a que %P_{max} os limiares eletromiográficos foram detectados. No estudo de Candotti et al (2008), por exemplo, os autores identificaram o LEMG por meio de modelo matemático em 92% da amostra. De acordo com os resultados, os valores de P_{max} ($131,3 \pm 29,7$ W) foram inferiores aos observados para o LL (132 ± 30 W) e LEMG (134 ± 27 W), o que de-

monstra certa incoerência quanto aos aspectos fisiológicos. Concluindo, a limitação do estudo de Camic et al (2010) em sugerir a validade do LEMG está em não ter verificado a reprodutibilidade deste protocolo. Desta forma, quaisquer outras comparações dos resultados ficam limitadas às diferenças metodológicas.

Por fim, enquanto o modelo matemático não parece ser um método reprodutível para identificar o LEMG durante protocolo degrau com estágios de 3 min, a análise da inspeção visual demonstra melhores resultados. Isso ocorre em virtude do LEMG ter apresentado alta reprodutibilidade em 11 sujeitos. A identificação do LEMG por inspeção visual em protocolos do tipo degrau já foi reportada por outros estudos em protocolos com estágios de 1 min (CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; HUG et al, 2003^a; HUG et al, 2003b; JURIMAE et al, 2007), 2 min (AIRAKSINEN et al, 1992; GLASS et al, 1998) e 3 min (TYKA et al, 2009). Contudo, conforme a revisão realizada no presente estudo, novamente não parece existir estudos que tenham investigado a reprodutibilidade do LEMG identificado pelo método visual durante protocolo degrau.

5.2 VALIDADE DO LEMG

A partir da interpretação dos resultados encontrados, o presente estudo sugere que ciclistas competitivos apresentam uma perda de linearidade do sinal EMG no músculo RF durante protocolos incrementais rampa e degrau em cicloergômetro. O LEMG, identificado por meio de inspeção visual do valor RMS durante protocolo rampa, além de reprodutível, parece ser válido para detectar a intensidade associada ao LV2, quando comparados e correlacionados os valores médios. O LEMG

identificado por meio de inspeção visual do valor RMS durante protocolo degrau é um método reprodutível e válido para identificar a intensidade referente ao LL_{2,3,5}, também a partir de análises estatísticas que consideram os valores médios. Desta forma, conforme os modelos estatísticos sugeridos pela maioria dos estudos encontrados na literatura, acredita-se que o LEMG por meio de inspeção visual do valor RMS é uma alternativa válida para identificar as intensidades associadas ao LV2 e LL2. Contudo, nenhum LEMG identificado por meio de modelos matemáticos apresentou validade quando comparados aos LTF.

A identificação de um único LEMG durante teste incremental em cicloergômetro têm sido reportado na maioria dos estudos encontrados, tanto em ciclistas recreacionais e competitivos (CANDOTTI et al, 2008; CAMATA et al, 2008; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; HUG et al, 2003b), como em cardiopatas (LUCIA et al, 1997) e indivíduos não treinados (GRAEF et al, 1998; MELLO et al, 2006; NAGATA et al, 1981; TYKA et al, 2009). Desta forma, os resultados do presente estudo parecem estar de acordo com a maioria dos estudos revisados.

Contudo, a interpretação dos principais resultados do presente estudo sugerem que LEMG detectado apresenta relação com o LV2, estando de acordo com os resultados apresentados por Camata et al (2008) e Jurimae et al (2007). Em contrapartida, resultados divergentes apontam a validade do LEMG para identificação do LV1 (GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; GRAEF et al, 2008; HUG et al, 2003b; LUCIA et al, 1997; MELLO et al, 2006), enquanto outros não verificaram associação entre LEMG e LV1 (HUG et al, 2003a, GLASS et al, 1997). Da mesma forma, a validade do LEMG para detectar a intensidade associada ao LL também parece estar contraditória. O presente estudo en-

controu validade do LEMG para identificar o LL2. No entanto, outros estudos observaram para o LL1 (CANDOTTI et al, 2008; LUCIA et al, 1997; MONETA et al, 1999), enquanto outros não observaram esta interação entre a EMG e a resposta do lactato sanguíneo (MONETA et al, 1994; NAGATA et al, 1981; PRINGLE e JONES, 1998; SEBURN et al, 1992).

Em função dessas evidências, a literatura tem apresentado uma vasta discussão a respeito da validade do LEMG para identificar a intensidade referente aos limiares LV e LL. Contudo, atualmente, parece ser amplamente aceito na literatura a existência de dois índices fisiológicos (limiar 1 e 2). Estes índices são observados durante protocolo incremental e identificados tanto por variáveis respiratórias (LV1 e LV2) quanto por concentrações de lactato sanguíneo (LL1 e LL2) (KINDERMANN et al, 1979; FAUDE et al, 2009; MEYER et al, 2005). Sendo assim, se a maioria dos estudos tem sugerido a existência de um único LEMG, seria importante que a comunidade científica chegasse a um consenso a cerca de qual fenômeno fisiológico (LV1, LL1, LV2 e/ou LL2) o LEMG observado representa.

5.2.1 Validade do LEMG comparado ao LV

Os achados do presente estudo demonstraram que o $LEMG1_{\text{trsimRF}} (65 \pm 8\% P_{\text{máx}})$ e o $LEMG1_{\text{trifracRF}} (59 \pm 13\% P_{\text{max}})$ não apresentaram correlações significativas com o LV1 (51 ± 10 e $55 \pm 11\% P_{\text{max}}$, respectivamente), além de terem sido identificados em uma baixa frequência de sujeitos. Portanto, não é possível sugerir que LEMG represente um índice válido para identificar a intensidade associada ao

LV1 durante um protocolo rampa em ciclistas competitivos. Os achados do presente trabalho corroboram com os apresentados por Glass et al (1997). Os autores também não encontraram validade do LEMG (70% Pmax) para identificar a intensidade associada ao LV1 (55% Pmax) em seis ciclistas ($VO_2\text{max} = 68 \pm 10,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P\text{max} = 322 \text{ W}$). Cabe ressaltar que os ciclistas avaliados no estudo supracitado apresentam semelhante nível de treinamento aos do presente estudo ($VO_2\text{max} = 66 \pm 6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P\text{max} = 409 \pm 32 \text{ W}$).

Em contrapartida, Glass et al (1998), em uma amostra semelhante quanto ao nível de treinamento (10 ciclistas, $VO_2\text{max} = 66,37 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) não observaram diferenças entre o LEMG (RF) e LV1 (66% $VO_2\text{max}$). Os autores não apresentam as respectivas potências em que ambos os índices foram detectados. Glass et al (1997 e 1998) utilizaram o protocolo (degrau) e o modelo de identificação do LEMG (visual) diferente do protocolo e modelo utilizado no presente estudo para identificar o LEMG1 (rampa e matemático, respectivamente). Gassi et al (2010) também não observaram diferenças significativas entre o LEMG (64% $VO_2\text{max}$) e LV1 (67% $VO_2\text{max}$) em oito ciclistas e triatletas. No entanto, o protocolo (degrau, $25 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$) e o modelo de análise utilizado (inspeção visual) também diferem da metodologia do presente estudo para identificar o LEMG1.

Lucia et al (1997) também identificaram o LEMG (59,6% $VO_2\text{max}$) em intensidade similar ao LV1 (61,6% $VO_2\text{max}$). Entretanto, a amostra foi composta por 13 cardiopatas. Outro estudo liderado pelo mesmo autor também verificou coincidência entre o LV1 e LEMG (60-70% Pmax) em 28 ciclistas de elite (LUCIA et al, 1999). Ao investigar 16 homens não treinados, Camic et al (2010) também encontraram vali-

dade do LEMG para detectar o LV1. No entanto, a metodologia utilizada apresenta certa incoerência do ponto de vista fisiológico. Os autores aplicaram protocolo degrau e identificaram o LV1, pelo método v-slope, quanto o mais indicado seria identificar os limiares de lactato. Airaksinen et al (1992) também observaram coincidência entre LEMG e LV1 em cinco praticantes de hockey no gelo. No entanto, o LV1 foi detectado em intensidades maiores (76% Pmax) quando comparadas ao LV1 detectado no presente estudo (51 e 55% Pmax). Mello et al (2006) identificaram o LV1 em intensidades altas (78% Pmax) para um grupo de 32 homens não treinados e de acordo com os resultados, não foi observada diferença significativa em relação ao LEMG (87% Pmax). Portanto, o presente estudo apresenta resultados distintos aos encontrados na literatura (GLASS et al, 1998; GASSI et al, 2010; LUCIA et al, 1997; AIRAKSINEN et al, 1992). Tais divergências podem ter sido influenciadas pelas diferentes metodologias adotadas entre os estudos analisados.

Apenas Lucia et al (1997, 1999) adotaram o mesmo modelo matemático do presente estudo para identificar o LEMG1. Os demais detectaram o referido índice por inspeção visual (AIRAKSINEN et al, 1992; GASSI et al, 2010; GLASS et al, 1998; HUG et al, 2003a). Como discutido no tópico anterior, o método de inspeção visual pode superestimar a identificação do LEMG quando comparado ao modelo matemático (HUG et al, 2006). Além disso, apenas Lucia et al (1999) adotaram o protocolo rampa com contínuos aumentos de carga para identificar o LV1 como no presente estudo (12 W a cada 5s; 1W a cada 2s, respectivamente). Lucia et al (1997) e Mello et al (2006) optaram por incrementos de $10 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ e $12,5 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente. Airaksinen et al (1992), Camic et al (2010) e Glass et al (1998) utilizaram protocolos

degrau com estágios maiores (incrementos de 30 ou 45 W a cada 2 min). Já Gassi et al (2010) optaram por um protocolo incremental com carga inicial de 100 W e incrementos de $30 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ em formato degrau.

As diferenças entre os protocolos de teste incremental (potência inicial, magnitude do incremento e duração do estágio) podem ter um impacto na identificação do LV (BENTLEY et al, 2003). A literatura parece sugerir que pequenos incrementos (10 a 30 W) em estágios mais curtos (30s a 60s) tem sido amplamente aceitos para a identificação dos LV1 (LUCIA et al, 2000; DAVIS, 1985; BEAVER et al, 1985; WAS-SERMAN et al, 1973; MEYER et al, 2005) pela justificativa da sua maior sensibilidade para detectar o tamponamento isocápnico (aumento do VE/VO_2 sem aumento da VE/VCO_2). Bentley et al (2003) demonstraram que as intensidades associadas ao LV são diferentes quando mensuradas em protocolos incrementais com estágios de 1 ou 3 min. Contudo, Aman et al (2004) demonstraram não haver diferenças entre o LV mensurados em protocolos de 60s ou 3 min, assim como Weston et al (2002) também não encontraram diferenças em testes com rápidos ou lentos incrementos em ciclistas altamente treinados, contudo, a magnitude do incremento de carga foi diferente.

Estas divergências demonstram algumas inconsistências na manipulação do protocolo de exercício e mensuração dos LV o que pode influenciar os resultados quanto à validade do LEMG para identificar este índice fisiológico. Além disso, Takaishi et al (1992) observaram que alterações na inclinação da rampa (10, 20, 30 ou $40 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$) variou a intensidade onde foi observado o aumento da iEMG, apesar do VO_2 não ter sido alterado. Portanto, o tipo de protocolo parece influenciar os resultados encontrados sobre a validade da LEMG. Desta forma, novos

estudos com uma padronização de protocolos necessitam ser realizados para que os resultados possam ser melhor comparados e discutidos.

Embora o mecanismo de identificação do LEMG não seja totalmente compreendido, alguns autores têm lhe atribuído o acúmulo local de subprodutos metabólicos, tais como o ácido láctico e os íons de hidrogênio (MORITANI e YOSHITAKE, 1998). Essas mudanças parecem afetar o acoplamento excitação-contração do músculo, incluindo as propriedades musculares de membrana e de propagação do potencial de ação, levando a uma conseqüente diminuição da força exercida e a uma contratilidade deficiente. Para compensar esta situação durante um exercício incremental, a produção de força muscular deve ser aumentada por meio do recrutamento adicional de unidades motoras (MORITANI E YOSHITAKE 1998). Esta teoria é apoiada por amostras de biópsia muscular no músculo VL, as quais têm mostrado que em torno de 40% VO_2max , fibras do tipo I predominantemente são recrutadas, enquanto que próximo a 60% do VO_2max , tanto fibras do tipo I e II são recrutadas. Já durante o exercício extenuante (em torno de 90% VO_2max), as fibras do tipo I, IIA e IIB são recrutadas (VOLLESTAD e BLOM, 1985). Evidências da existência de mecanorreceptores e ergorreceptores que respondem a um aumento no trabalho realizado por unidade motora sugerem relações entre o recrutamento adicional de unidades motoras (LEMG) e o aumento da ventilação (LV) durante o exercício incremental (LUCIA et al, 1999).

Além da identificação do LEMG1, dois estudos realizados com ciclistas de elite e profissionais detectaram também o LEMG2 durante protocolo incremental (contínuo) do tipo rampa (LUCIA et al, 1999) e degrau de 1 min (HUG et al, 2003a). A teoria sugerida na literatura para

explicar estes resultados especula que o LEMG1 e LEMG2 encontrados em ambos os estudos possam ter ocorrido como resultado de uma mudança no padrão de recrutamento da unidade motora com a possível participação de fibras do tipo IIa e IIb (no LEMG1 e LEMG2, respectivamente). Portanto, segundo conclusão dos autores, apenas sujeitos altamente treinados estariam aptos a recrutarem um suficiente número de unidades motoras (principalmente fibras do tipo IIb) próximos a intensidades máximas durante um teste incremental, induzindo a esse segundo LEMG (LUCIA et al, 1999). Hug et al (2003) e Lucia et al (1999) detectaram o LEMG1 a uma intensidade de 60-70% Pmax e o LEMG2 a 80-90% Pmax. Portanto, a ocorrência do LEMG2, até então, apresenta-se na literatura como dependente do nível de treinamento da amostra investigada.

No presente estudo foi observado que o $LEMG_{vsualrampaRF}$ ($79 \pm 5\%$ Pmax) não apresentou diferença significativa em relação ao LV2 ($76 \pm 7\%$ Pmax), com significativas correlações ($r=0,57$; $p<0,05$) em 16 sujeitos. Os resultados parecem indicar que o LEMG detectado durante um protocolo rampa pode ser um índice válido para identificar a intensidade associada ao LV2. Corroborando com os achados do presente estudo, Camata et al (2008) também detectaram o LEMG no RF (73%-80% Pmax) e não observaram diferenças significativas com o LV2 (78% Pmax) em ciclistas com semelhante nível de treinamento dos avaliados no presente estudo ($VO_{2max} = 56,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P_{max} = 345 \text{ W}$; e $VO_{2max} = 66 \pm 6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P_{max} = 409 \pm 32 \text{ W}$, respectivamente). Jurimae e colaboradores (2007) identificaram o LEMG (60-80% Pmax) em similar intensidade ao LV2 (78% Pmax) em um grupo heterogêneo ($46 \text{ a } 67 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) de sujeitos (praticantes de ciclismo, handebol,

caiaque, levantadores de peso e não praticantes de modalidade esportiva), independente da diferença de desempenho e do padrão de exercício físico entre eles. Como relatado anteriormente, estudo de Lucia et al (1999) e Hug et al (2003) com 28 ciclistas de elite competidores do Tour de France ($VO_2\text{max} = 69,9 \pm 6,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P_{\text{max}} = 433 \pm 49 \text{ W}$) e oito profissionais ($VO_2\text{max} = 74,6 \pm 2,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $P_{\text{max}} = 475 \pm 30 \text{ W}$), respectivamente, também identificaram o LEMG (80-90% P_{max}) como um índice válido para detectar a intensidade associada ao LV2 (80-90% P_{max}).

Portanto, os resultados do presente estudo, assim como os de Camata et al (2008) e Jurimae et al (2006), estão de alguma forma controversos. Apesar do LV2 (76-78% P_{max}) dos referidos estudos terem ocorrido em menor intensidade comparado ao LV2 (80-90% P_{max}) de ciclistas profissionais (LUCIA et al, 1999; HUG et al, 2003), o que pode ser explicado pelo nível de treinamento da amostra, o LEMG detectado em todos os cinco estudos não apresentou diferença significativa em relação ao LV2. Sendo assim, a teoria sustentada na literatura de que apenas sujeitos altamente treinados (elevados valores de $VO_2\text{max}$ e P_{max}) apresentariam a ocorrência do LEMG2 (LUCIA et al, 1999) não parece estar de acordo com os resultados do presente estudo.

Jurimae e colaboradores (2008) alegam que se o sujeito consegue atingir uma intensidade referente ao LV2 durante teste incremental, o LEMG2 também deve ocorrer. Isto é apoiado pelo fato de que, embora o LV2 do grupo de levantadores de peso do referido estudo tenha sido identificado em intensidades baixas (60% P_{max}), o LEMG foi detectado. Os músculos dos levantadores de peso são caracterizados pela elevada força máxima e a baixa capacidade de trabalho das fibras muscula-

res oxidativas. Tal fato pode causar o recrutamento das unidades motoras rápidas (tipo II) em intensidades a 60% Pmax. Portanto, a hipótese sustentada até então sobre o recrutamento de fibras do tipo IIb durante protocolo incremental (LUCIA et al, 1999) não parece estar associado somente ao nível de treinamento do sujeito (VO_2 max e LV2), mas também às características da composição de suas fibras musculares.

Conforme Neptune et al (2009), as fibras musculares esqueléticas são agrupados em três principais tipos de fibras: tipo I (lentas oxidativas), IIa (rápidas oxidativas glicolíticas) e IIb (rápidas glicolíticas). As fibras tipo I são caracterizadas pela sua resistência à fadiga e são comumente recrutadas em atividades de longa duração. No entanto, estas fibras apresentam um menor pico de força e potência comparado às fibras rápidas. As fibras do tipo IIb são capazes de produzir maiores pico de força e potência do que as tipo I, devido à sua rápida velocidade de contração. Contudo, as fibras tipo IIb são mais rapidamente fadigadas devido à acidose metabólica (acúmulo de ácido láctico causado pela rápida degradação de glicogênio) e, portanto, pode estar ativa apenas durante curtos períodos de tempo. As fibras tipo IIa estão entre as fibras I e IIb, ou seja, entre as altamente resistentes e as maiores produtoras de força. Os autores destacam que a proporção de fibras de contração rápida (tipo II) e lentas (tipo I) pode variar entre indivíduos (genética), além de estarem associadas ao desempenho, podendo alterar com o treinamento de força e em resposta ao gesto motor específico de uma modalidade. Desta forma, a distribuição e composição de fibras musculares dos sujeitos possa talvez influenciar a intensidade onde o LEMG pode ocorrer e, desta forma, comprometer a sua validade quando comparado ao LV2.

Assim como o presente estudo encontrou uma alta variabilidade inter-individual dos dados EMG pelas análises matemáticas (CV=9,2 a 44,3 %) em ciclistas competitivos, Hug e colaboradores (2002) também observou diferenças (CV=4 a 81%) no padrão de recrutamento dos músculos dos membros inferiores de um grupo homogêneo de ciclistas profissionais ($VO_2\text{max} = 73,6 \pm 5,1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) durante um protocolo incremental (início em 100 W, $26 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$). O valor RMS aumentou significativamente com o tempo em todos os músculos, sinalizando o aumento da ativação, contudo diferentes magnitudes foram observadas. Desta forma, os dados encontrados parecem demonstrar que o alto grau de especialização e as capacidades físicas muito homogêneas desses ciclistas profissionais não estão relacionados com a produção de um padrão comum de ativação muscular e recrutamento de fibras musculares, diferentemente do que foi sugerido por Lucia et al (1999) em relação a sua amostra de ciclistas profissionais. Hug et al (2002) sugere que a alta variabilidade da EMG pode ser resultante das distintas estratégias de pedalada.

Ainda, apesar da ausência de diferenças significativas e a ocorrência de correlações significativas entre $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ e o LV2, o presente estudo encontrou um bias de 13,4 W e limites de concordância elevados. Esta análise estatística expressa a extensão da concordância ou discordância entre as variáveis quando se analisa os sujeitos de forma individual e, portanto, os resultados indicam cautela no uso do LEMG em função dos erros que podem ocorrer para estimar a intensidade do LV2. Conforme os estudos revisados, apenas dois (LUCIA et al, 1999; MELLO et al, 2006) incluíram a análise de concordância além da estatística tradicional de comparação e correlação de médias. Para Mello et

al (2006), conforme a estatística de Bland e Altman, nenhum caso excedeu o limite de dois desvio-padrão para as diferenças na comparação entre LEMG e LV1, contudo os autores não fornecem os valores do erro (bias) e limites de concordância. Lucia et al (1999), ao comparar o LEMG1 com LV1 (Bias = -10.2 W; SD = 58.9 W) e LEMG2 com LV2 (Bias = 10.2 W; SD = 23.7 W) observaram que, para todas comparações, pelo menos 90% dos valores individuais estavam dentro do limite de concordância.

Desta forma, mais estudos sobre a validade do LEMG para identificação do LV são necessários para elucidar as questões que permanecem conflitantes, principalmente quanto aos mecanismos de identificação do LEMG1 ou LEMG2 e sua respectiva validade para identificar as intensidades associadas ao LV1 ou LV2. A padronização dos protocolos parece ser de suma importância para que futuros trabalhos sejam mais facilmente comparados e discutidos.

5.2.2 Validade do LEMG comparado ao LL

Outros achados deste estudo indicam que o $LEMG_{\text{visualdegrauRF}}$ não apresentou diferença significativa em relação $LL_{2,3,5}$, com significativas correlações. As interpretações dos resultados levam o presente estudo a sugerir a existência de um único *breakpoint* do valor RMS (LEMG) observado por inspeção visual durante um protocolo de degrau com estágios de 3 min que, além de reprodutível, é válido para identificar a intensidade associada ao LL2 em ciclistas competitivos, quando analisados e correlacionados os valores médios.

A razão para um aumento abrupto na atividade EMG acima de certa intensidade de exercício não é totalmente compreendida. A literatura sugere que após o atingimento do LL1, o fornecimento de ATP pelas fibras oxidativas de contração lenta (tipo I) torna-se insuficiente e precisa ser suplementada pelo uso de reservas de energia disponíveis pela glicólise anaeróbia que conduz à acidose metabólica. O acúmulo local de subprodutos metabólicos, tais como o ácido láctico e os íons de hidrogênio, parece afetar o acoplamento excitação-contração do músculo, incluindo as propriedades musculares de membrana e de propagação do potencial de ação, levando a uma consequente diminuição da força exercida e a uma contratilidade deficiente. Dessa forma, para compensar, a produção de força muscular deve ser aumentada por meio do recrutamento adicional de unidades motoras (LUCIA et al, 1999).

Outros estudos também foram realizados com o intuito de comparar o LEMG com as respostas do lactato sanguíneo ao exercício incremental contínuo (LUCIA et al, 1999; MONETA et al, 1994; MONETA et al, 1998; GLASS et al, 1998; CANDOTTI et al, 2008; TYKA et al, 2009, SEBURN et al, 1992). No entanto, apenas um estudo investigou a validade do LEMG em protocolo degrau com estágios de 3 min em ciclistas. Candotti e colaboradores (2008) observaram ausência de diferenças significativas entre o LEMG no RF (134 ± 21 W) e o LL (132 ± 30 W), com significativas correlações entre os métodos ($r=0,83$). Entretanto, os valores de potência observados para LEMG e LL foram superiores a Pmax do teste ($131 \pm 29,7$ W). Sendo assim, os limiares fisiológicos (LL e LEMG) ocorreram acima de 100% da Pmax. Já o presente estudo identificou o LL2 (80 ± 4 % Pmax) e o LEMG (85 ± 5

% Pmax) em intensidades condizentes para um índice de capacidade aeróbia.

O método de identificação do LL escolhido por Candotti et al (2008) assumia a existência de apenas um único fenômeno observado durante um teste incremental (BEAVER et al, 1985), ou seja, uma única inflexão das [Lac] a partir da linha de base (LL). Ao aplicar este modelo do ponto de inflexão da [Lac] acima dos valores basais, Candotti et al (2008) identificaram o LL em $4,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Contudo, atualmente, é amplamente aceito na literatura a existência de dois limiares de lactato identificados durante um protocolo incremental: LL1 como a mais alta intensidade de exercício associada ao primeiro aumento da [Lac] em relação aos níveis basais; e MFEL ou LL2 como a mais alta intensidade constante de exercício que pode ser mantida por um longo período de tempo sem um contínuo aumento na [Lac] (PRINGLE e JONES et al, 2002; DENADAI et al, 1999; HECK et al, 1985; GROSSL et al, 2012). Diferentes critérios tem sido utilizados para identificar o LL1 e LL2 (FAUDE et al, 2009), dentre eles o de concentrações fixas (utilizado no presente estudo), o qual assume uma [Lac] de $2,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para LL1 e $3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para LL2 (HECK et al, 1985; KINDERMANN et al, 1979). Desta forma, a [Lac] para o ponto de inflexão do lactato sanguíneo (LL1) apresentados por Candotti et al (2008) em ciclistas recreacionais parece apresentar uma certa incoerência do ponto de vista fisiológico.

A mesma limitação metodológica em relação ao método de identificação do LL foi observada nos estudos de Tyka et al (2009) e Moneta et al (1994). Os autores identificaram o LL1 a uma [Lac] de $4,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ a partir do ponto de inflexão desta variável em relação aos valores de base (BEAVER et al, 1985; HUGSON et al, 1987). Ambos os

estudos realizaram protocolos degrau em cicloergômetro com estágios de 3 min com 15 homens saudáveis e 28 jogadores de futebol, respectivamente. Os resultados corroboram com os achados de Candotti et al (2008) ao demonstrarem validade do LEMG para identificar a intensidade do LL. Os resultados do presente estudo corroboram com os resultados de Candotti et al (2008), Tyka et al (2009) e Moneta et al (1994) quanto ao fato de observar relação entre a EMG e a resposta do lactato sanguíneo durante protocolo degrau. Contudo, as limitações metodológicas dos referidos estudos dificultam as comparações dos resultados. Estas incoerências e confusões metodológicas em relação aos critérios de identificação do LL são justificadas por Faude et al (2009) pelo elevado número de critérios existentes (25) para identificar o comportamento do lactato sanguíneo ao exercício incremental representado por apenas dois índices (LL1 e LL2), o que pode levar a uma má interpretação do fenômeno.

Os resultados do presente estudo em relação à validade do LEMG para identificar o LL2 estão de acordo com Lucia e colaboradores (1999). Os autores, ao avaliarem 28 ciclistas de elite ($69,9 \pm 6,4$ ml·kg⁻¹·min⁻¹; 433 ± 49 W), identificaram o LEMG, o LV2 e o LL2 sem diferença significativa entre eles (80-90% VO₂max), além das significativas correlações verificadas ($r=0,80$ a $0,82$). O presente estudo também não encontrou diferenças significativas entre o LEMG_{visualdegrauRF} ($85 \pm 5\%$ Pmax) e o LL2_{3,5} ($80 \pm 4\%$ Pmax), com significativas correlações entre eles ($r=0,64$; $p<0,05$). Porém, o LEMG_{visualrampaRF} e o LV2 identificados durante o protocolo rampa ocorreram em maior intensidade.

A diferença observada na intensidade onde ocorreram o LV2 e LL2_{3,5} no presente estudo pode ser explicada pelas diferenças entre os

protocolos rampa e degrau utilizados, respectivamente, para identificação destes índices (magnitude dos incrementos e duração dos estágios). Em virtude dos incrementos e dos estágios serem menores no protocolo rampa comparados ao degrau, no primeiro os ciclistas conseguem atingir potências máximas maiores, apesar disso o $VO_2\text{max}$ e a $FC\text{máx}$ são iguais (AMANN et al, 2004; MIDGLEY, et al 2008). Desta forma, a intensidade associada ao LL2 superestima a intensidade associada ao LL2_{3,5}. Portanto, o presente estudo sugere que a intensidade referente ao LEMG parece ser protocolo dependente, ou seja, $LEMG_{\text{visualdegrauRF}}$ é igual ao LL2_{3,5} e diferente de LV2, assim como o $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ é igual ao LV2 e diferente de LL2_{3,5}. De qualquer forma, o presente estudo demonstrou que o sinal EMG parece ter associação com as respostas do lactato sanguíneo e ventilatórias ao exercício incremental.

Já Lucia et al (1999) utilizaram um único protocolo rampa para identificar tanto o LV quanto o LL e não observaram diferenças entre LL1 e LV1, assim como entre LL2 e LV2. Bentley et al (2007) relatam que para obter mensurações precisas do lactato sanguíneo em resposta ao exercício incremental, são necessários estágios com duração entre 3 e 6 min, sendo que 3 min parece promover a mais válida e reprodutível mensuração da performance aeróbia (BENTLEY et al, 2007). Os autores explicam que a manipulação da duração dos estágios e incrementos pode levar a relevantes diferenças nas curvas de lactato sanguíneo devido ao tempo necessário para ocorrer a difusão do lactato para a corrente sanguínea, antes do incremento do próximo estágio. De qualquer forma, estes resultados de Lucia et al (1999) reforçam os resultados do presente estudo que apresenta uma relação entre a EMG e o lactato sanguíneo, bem como entre a EMG e as respostas ventilatórias durante protocolo

incremental. A ausência da validade do LEMG no presente estudo para identificar a intensidade associada ao LV1 e LL1 é devido à identificação de apenas um *breakpoint* do sinal EMG, conforme já foi discutido no tópico anterior.

Glass et al (1997) avaliaram os efeitos da depleção de glicogênio durante um protocolo incremental no intuito de analisar as interações entre as respostas de lactato sanguíneo (LL), ventilatórias (LV) e eletromiográficas (LEMG) em seis ciclistas competitivos. Os autores observaram que em condições normais de glicogênio, houve diferença entre LV1 ($180 \pm 28,46$ W) e LEMG (225 ± 45 W), mas não houve diferença entre LEMG e LL1 ($202 \pm 24,65$ W). Já em situação de depleção, foram observadas diferenças entre LEMG ($234 \pm 20,12$ W) e LL1 ($217 \pm 33,87$ W) e entre LEMG e LV1 ($172 \pm 33,87$ W). As mesmas relações foram observadas para o VO_2 . A hipótese do referido estudo era a de que a redução do glicogênio muscular pudesse causar uma redução da força gerada pelas fibras depletadas, requerendo um aumento no recrutamento das unidades motoras para compensar a fadiga das fibras, o que provocaria o aumento da ventilação, mas não foi o que ocorreu.

Em discordância com os resultados observados por Lucia et al (1999), os autores concluem que parece haver um mecanismo em comum que controla LL1 e LEMG, contudo a [Lac] e a ativação muscular não parecem ser mecanismos controladores do LV1 durante protocolo incremental. Os resultados de Glass et al (1997) diferenciam-se do presente trabalho ao observarem a validade do LEMG para identificar a intensidade associada ao LL1, e não ao LL2. Contudo, ele reforça a possível relação existente entre as [Lac] e a ativação muscular durante protocolo incremental.

Diferente do protocolo rampa de Lucia et al (1999) e do protocolo degrau com estágios de 3 min do presente estudo (incrementos de 30 W a cada 3 min), Glass et al (1999) utilizaram um protocolo incremental degrau com estágios de 2 min (45 W a cada 2 min). Desta forma, as diferenças nos protocolos talvez possam explicar as divergências entre os resultados (TAKAISHI et al, 1992). Portanto, mais estudos são necessários para verificar os efeitos da manipulação das características do protocolo (magnitude do incremento, duração do estágio e cadência) sobre a identificação do LEMG e sua validade para identificar a intensidade referente ao LL.

Seburn et al (1992), contrariando os achados de Glass et al (1997) e das evidências sobre as possíveis relações entre a EMG e a [Lac] durante protocolo incremental, não encontraram um ponto de inflexão da EMG em condições normais e elevadas de lactato sanguíneo. O protocolo utilizado foi do tipo degrau com incremento de 23,5 W·min⁻¹, a uma cadência de 90 rpm em apenas seis ciclistas treinados. Portanto, também é possível observar a utilização de estágios com durações menores (<3 min) para mensuração do lactato sanguíneo, o que gera dúvidas quanto à determinação do LL, mas não justifica a não identificação do LEMG. Contudo, o músculo investigado foi o VL, e não o RF.

O presente estudo não teve como objetivo específico comparar a identificação do LEMG entre os músculos RF e VL, mas constatou que o RF apresentou maior consistência para identificar o LEMG comparado ao VL, tanto no protocolo rampa como no degrau. Estes resultados também estão de acordo com Glass et al (1998), os quais observaram ocorrência do LEMG apenas no RF, comparado ao VL. Glass et al

(1997) sugerem que o RF tem uma maior proporção de fibras rápidas e diferentes funções comparadas ao VL, como a flexão do quadril e extensão do joelho. Dessa forma, o RF é recrutado diferentemente do VL durante o ciclismo, o que poderia ser uma explicação para as diferenças observadas entre os músculos.

Pringle e Jones (2002) também não encontraram relações entre o LEMG e a resposta do lactato sanguíneo. Contudo, a identificação do LEMG foi realizada em um protocolo descontínuo, conforme proposto por deVries et al (1982) e aprimorado por Moritani et al (1993). Apesar do protocolo adotado ser diferente do utilizado pelo presente estudo, o que limitam as comparações, destaca-se este estudo de Pringle e Jones (2002) por ter sido o único a verificar a validade do LEMG ao compará-lo com a intensidade referente à MFEL, índice considerado padrão ouro para avaliação aeróbia (BENEKE et al, 2003). Os resultados encontrados demonstraram o LEMG pôde ser identificado em apenas metade da amostra (quatro sujeitos) e não foi relacionada à MFEL. Além disso, com os sujeitos pedalando a 20 W acima da MFEL, a [Lac], o VO_2 e a ventilação aumentaram significativamente ao longo do tempo, o que não foi observado na iEMG devido a grande variabilidade da resposta EMG entre os sujeitos. Portanto, a partir dos dados obtidos, os autores concluíram que a EMG não pode ser um método para distinguir o aumento do recrutamento de fibras musculares.

Portanto, conforme o presente estudo, o LEMG identificado por inspeção visual durante um protocolo de grau parece ser um índice capaz de estimar a intensidade associada ao LL2 observado pela estatística tradicional de comparação e correlação de médias, ou seja, a mesma análise utilizada pelos estudos revisados. Contudo, assim como demons-

trado pela análise de concordância entre $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ e LV2, observou-se que o bias \pm limites de concordância para as comparações entre os $LEMG_{\text{visualdegrauRF}}$ e LL2_{3,5} (bias = 15,2 W; SD = 25,5 W) também expressam alta discordância entre as variáveis quando se analisa os sujeitos de forma individual. Portanto, mais estudos são necessários para elucidar os aspectos que permanecem conflitantes na literatura sobre o LEMG, principalmente referentes a influência das características do protocolo e sua repercussão sobre a validade para identificar a intensidade do LL.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados, pode-se concluir que ciclistas competitivos apresentam uma perda de linearidade do sinal EMG (LEMG) no músculo RF durante protocolos incrementais rampa e degrau em cicloergômetro. O LEMG identificado por meio da inspeção visual do valor RMS durante protocolo rampa, assim como durante protocolo degrau, apresenta alta reprodutibilidade tanto relativa como absoluta.

A análise estatística utilizada pelos estudos encontrados na literatura por meio da comparação e correlação de médias indica a validade do $LEMG_{\text{visualrampaRF}}$ e do $LEMG_{\text{visualdegrauRF}}$ para estimar a intensidade associada ao LV2 e LL2_{3,5}, respectivamente. Contudo, ao adicionar a análise de concordância, observou-se uma grande variabilidade individual o que pode limitar a validade do LEMG.

Os resultados indicam que o LEMG é protocolo dependente, ou seja, a sua determinação é influenciada pelas características do protocolo (magnitude do incremento e duração do estágio). Além disso, a validade do LEMG para identificar o LV2 e LL2 não parece estar associada somente ao nível de treinamento dos sujeitos. Mais estudos sobre os mecanismos de identificação do LEMG são necessários para responder as questões que permanecem conflituosas na literatura.

Acredita-se que a padronização dos protocolos de testes e dos critérios de identificação dos limiares se faz necessária para que futuras pesquisas possam ser mais facilmente comparadas e discutidas. Além disso, sugere-se a realização de estudos sobre os efeitos do tipo de protocolo e da cadência de pedalada sobre a identificação da intensidade referente ao LEMG, além da investigação de sua validade por meio da

comparação com a MFEL, considerado padrão ouro para avaliação da capacidade aeróbia.

Por fim, o desenvolvimento de um modelo matemático que integre a análise de inspeção visual talvez seja uma ferramenta válida para identificar o LEMG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRAKSINEN, O.; REMES, A.; KOLARI, P.J.; SIHVONEN, T.; HANNINEN, O.; PENTTILA, I. Real-time evaluation of anaerobic threshold with Rms-emg of working and nonworking muscles during incremental bicycle ergometer test. **Acupuncture & Electro-Therapeutics Research**, v.17, n.4, p.259-271, 1992.

AMANN, M.; SUBUDHI, A.; FOSTER, C. Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance. **Med Sci Sports Exerc**, v.36, p.613-22, 2004.

AMANN, M.; SUBUDHI, A.W.; WALKER, J.; EISENMAN, P.; SCHULTZ, B.; FOSTER, C. An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilator threshold. **Med Sci Sports Exerc**, v.36, n.10, p.1716-1722, 2004.

BARON, B.; NOAKES, T.D.; DEKERLE, J.; MOULLAN, F.; ROBIN, S.; MATRAN, R.; PELAYO, P. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **Br. J. Sports Med**, v.42, p.528-533, 2008.

BASMAJIAN, J.V.; DELUCA, C.J. *Muscles alive: their functions revealed by electromyography*. Williams & Wilkins, Baltimore, 1985.

BASSET, D.R.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, p. 70-84, 2000.

BEAVER, W.L.; WASSERMANN, K.; WHIPP, B.J. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. **J. Appl. Physiol**, v.59, p.1936-1940, 1985.

BEAVER, W.L.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B.J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. **J. Appl. Physiol**, v.60, p.2020-2027, 1986.

BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **Eur J Appl Physiol**, v.8, p. 361-369, 2003.

BENTLEY, D.J.; NEWELL, J.; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. **Sports Med**, v.37, n.7, p. 575-586, 2007.

BERG, A.; JOKOB, M.; LEHMANN, H.H.; DICKHUTH, G.; HUBER, J. Aktuelle Aspekte der modernen ergometrie. **Pneum**, v.44, p.2-13, 1990.

BLAND, J.M.; ALTMAN, K. Statistical methods for assessing agreement between methods of clinical measurement. **Lancet**, v.1, p.307-310, 1986.

BURNLEY, M.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, v.7, n.2, p.63-79, 2007.

CAMATA, T.V.; LACERDA, T.R.; ALTIMARI, L.R.; BORTOLLOTTI, H.; FONTES, E.B.; DANTAS, J.L.; NAKAMURA, F.Y.; ABRÃO, T.; CHACON-MIHAHIL, M.P.; MORAES, A.C. Association between the electromyographic fatigue threshold and ventilatory threshold. **Electromyogr Clin Neurophysiol**, v.48, p.1-6, 2008.

CAMIC C.L.; HOUSH, T.J.; JOHNSON, G.O.; HENDRIX, C.R.; ZUNIGA, J.M.; MIELKE, M.; SCHMIDT, R.J. An EMG frequency-based test for estimating the neuromuscular fatigue threshold during cycle ergometry. **Eur J Appl Physiol**, v.108, p.337-345, 2009.

CANDOTTI, C.T.; LOSS, J.F.; MELO, O.; LA TORRE, M.; PASINI, M.; DUTRA, L.A.; DE OLIVEIRA, J.L.; DE OLIVEIRA, L.P. Comparing the lactate and EMG thresholds of recreational cyclists during incremental pedaling exercise. **Can J Physiol Pharmacol**, v.86, n.5, p.272-278, 2008.

DAVIS, J.A.; VODAK, P.; WILMORE, J.H.; VODAK, J.; DURTZ, P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.41, p.544-550, 1976.

DEVRIES, H.A.; MORITANI, T.; NAGATA, A.; MAGNUSEN, K. The relation between critical power and neuromuscular fatigue as esti-

mated from electromyographic data. **Ergonomics**, v. 25, p.783-791, 1982.

DEVRIES, H.A.; TICHY, M.W.; HOUSH, T.J.; SMYTH, K.D.; TICHY, A.M.; HOUSH, D.J. A method for estimating physical working capacity at the fatigue threshold (PWCFT). **Ergonomics**, v.30, p.1195-1204, 1987.

DEVRIES, H.A.; HOUSH, T.J.; JOHNSON, G.O.; EVANS, S.A.; THARPA, G.D.; HOUSHA, R.A.; HUGHES, R.A. Factors affecting the estimation of physical working capacity at the fatigue threshold. **Ergonomics**, v.33, n.1, p.25-33.

DENADAI, B.S. Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: conceitos e aplicações. Ribeirão Preto, B.S.D., 1999.

DAVIS, J.A. Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.17, p.6-18, 1985.

FARRELL, P.A.; WILMORE, J.H.; COYLE, E.F. Plasma lactate accumulation and distance running performance. **Med Sci Sports**, v.11, n.4, p.338-44, 1979.

FAUDE, O.; KINDERMANN, W.; MEYER, T. Lactate threshold concepts: how valid are they? **Sports Med**, v.39, n.6, p.469-490, 2009.

GASSI, E.R.; BANKOFF, A.D. Anaerobic threshold determination through ventilatory and electromyographic parameters. **Electromyogr Clin Neurophysiol**, v.50, p.131-135, 2010.

GLASS, C.; KNOWLTON, R.G.; SANJABI, P.B.; SULLIVAN, J.J. The effect of exercise induced glycogen depletion on the lactate, ventilator and electromyographic thresholds. **J Sports Med Phys Fitness**, v.37, p.32-40, 1997.

GLASS, S.C.; KNOWLTON, R.G.; SANJABI, P.B.; SULLIVAN, J.J. Identifying the integrated electromyographic threshold using different muscles during incremental cycling exercise. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.38, n.1, p.47-52, 1998.

GRAEF, J.L.; SMITH, A.E.; KENDALL, K.L.; WALTER, A.A.; MOON, J.R.; LOCKWOOD, C.M.; BECK, T.W.; CRAMER, J.T.; STOUT, J.R. The relationships among endurance performance measures as estimated from VO₂PEAK, ventilatory threshold, and electromyographic fatigue threshold: A relationship design. **Dynamic Medicine**, v.7, n.15, p.1-5, 2008.

GROSSL, T.; DE LUCAS, R.D.; SOUZA, K.M.; GUGLIELMO, L.G.A. Maximal lactate steady-state and anaerobic thresholds from different methods in cyclists. **European Journal of Sport Science**, v.12, n.2, p.161-167, 2012.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜCKE, S.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. **International Journal Sports Medicine**, v.6, p.117-130, 1985.

HEITKAMP, H.; HOLDT, M.; SCHEIB, K. The reproducibility of the 4mmol/l lactate threshold in trained and untrained women. **Int J Sports Med**, v.12, p.363-368, 1991.

HELAL, J.N.; GUEZENNEC, C.Y.; GOUBEL, F. The aerobic-anaerobic transition: Re-examination of the threshold concept including an electromyographic approach. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.56, n.6, p.643-649, 1987.

HUG, F.; LAPLAUD, D.; SAVIN, B.; GRÉLOT, L. Occurrence of electromyographic and ventilatory thresholds in professional road cyclists. **Eur J Appl Physiol**, v.90, p.643-646, 2003a.

HUG, F.; HAUCHER, M.; KIPSON, N.; JAMMES, Y. EMG signs of neuromuscular fatigue related to the ventilatory threshold during cycling exercise. **Clin Physiol Funct Imaging**, v.23, p.208-214, 2003b.

HUG, F.; LAPLAUD, D.; LUCIA, A.; GRELOT, L. A comparison of visual and mathematical detection of the eletromiographic threshold during incremental pedaling exercise: a pilot study. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.20, n.3, p.704-708, 2006.

HUG, F.; BENDAHAN, D.; FUR, Y.L. Heterogeneity of muscle recruitment pattern during pedaling in professional road cyclists: a mag-

netic resonance imaging and electromyography study. **Eur J Appl Physiol**, v.92, p.334–342, 2004.

HUGHSON, R.L.; WEISIGER, K.H.; SWANSON, G.D. Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. **J Appl Physiol**, v.62, n.5, p.1975-1981, 1987.

HOLLMANN W. 42 years ago: development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. **Sports Med**, v.31, n.5, p.315-320, 2001.

Hopkins, W.G. Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. **Sports Med**, v.30, n,1, p.1-15, 2000.

JENSEN, K.; JOHANSEN, L. Reproducibility and validity of physiological parameters measured in cyclists riding on racing bikes placed on a stationary magnetic brake. **Scand J Med Sci Sports**, v.8, p.1-6, 1998.

JÜRIMÄE, J., VON DUVVILARD, S.P., MÄESTU, J.; CICHELLA, A.; PURGE, P.; RUOSI, S.; JÜRIMÄE, T.; HAMRA, J. Aerobic-anaerobic transition intensity measured via EMG signals in athletes with different physical activity patterns. **Eur J Appl Physiol**, v.101, n.3, p.341-346, 2007.

KINDERMANN W, SIMON G, KEUL J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. **Eur J Appl Physiol**, v.42, p.25-34, 1979.

LUCÍA, A.; SÁNCHEZ, O.; CARVAJAL, A.; CHICHARRO, J.L. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. **Br J Sports Med**, v.33, n.3, p.178-85, 1999.

LUCÍA, A.; VAQUERO, A.F.; PÉREZ, M.; SÁNCHEZ, O.; SÁNCHEZ, V.; GOMEZ, M.A.; CHICHARRO, J.L. Electromyographic response to exercise in cardiac transplant patients: a new method for anaerobic threshold determination? **Chest**, v.111, n.6, p.1571-1576, 1997.

LUCIA, A. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 2000.

MADER, A.; LIESEN, H.; HECK, H. Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. **Sport und Medizin**, v.27, p.80-112, 1976.

MATSUMOTO, T.; ITO, K.; MORITANI, T. The relationship between anaerobic threshold and electromyographic fatigue threshold in college women. **Eur J Appl Physiol**, v.63, p.1-5, 1991.

MELLO, R.G.; OLIVEIRA, L.F.; NADAL, J. Detection of the anaerobic threshold by surface electromyography. **Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc**, v.1, p.6189-6192, 2006.

MERLETTI, R. Standards for reporting EMG data. **J Electromyogr Kinesiol**, v.7, n.2, p.1-11, 1997.

MEYER, T.; LUCIA, A.; EARNEST, C.P.; KINDERMAN, W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. **Int J Sports Med**, v.26, p.538-548, 2005.

McLELLAN, T.M. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. **International Journal of Sports Medicine**, v.6, p.30-35, 1985

MONETA C.J.; KACIUBA-UŚCILKO, H.; KRYSZTOFIK, H.; ZIEMBA, A.; KRZEMIŃSKI, K.; KRUK, B.; NAZAR, K. Relationship between EMG, blood lactate, and plasma catecholamine thresholds during graded exercise in men. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v, 49, n.3, p.433-4, 1998.

MONETA, C.J.; HANNINEN, O.; PENTILLA, I. Relationships between EMG and blood lactate accumulation during incremental exercise in endurance and speed-trained athletes. **Clinical Journal of Sports Medicine**, v.4, p.31-38, 1994.

MILLS, KR. Power spectral analysis of electromyogram and compound muscle action potential during muscle fatigue and recovery. **J Physiol**, v.326, p.401-409, 1982.

MORITANI, T.; YOSHITAKE, Y. The use of electromyography in applied physiology. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.8, p.363-381, 1998.

MORITANI, T.; NAGATA, A.; DeVRIES, H.A.; MURO, M. Critical Power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v.24, p.339-350, 1981.

MORITANI, T.; TAKAISHI, T.; MATSUMOTO, T. Determination of maximal power output at neuromuscular fatigue threshold. **Journal of Applied Physiology**, v.74, n.4, p.1729-1734, 1993.

NAGATA, A., MURO, M., MORITANI, T., YOSHIDA, T. Anaerobic threshold determination by blood lactate and myoelectric signals. **Japanese Journal of Physiology**, v.3, n.4, p. 585-597, 1981.

NEPTUNE, R.R.; MCGOWAN, G.P.; FIANDT, J.M. The Influence of Muscle Physiology and Advanced Technology on Sports Performance. **Annu. Rev. Biomed. Eng**, v.11, p.81-107, 2009.

ORR, G.W.; GREEN, H.J.; HUGHSON, R.L.; BENNETT, H.G. A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. **J Appl Physiol** v.52, n.5, p.1349-1352, 1982.

PFITZINGER, P.; FREEDSON, P.S. The reliability of lactate measurements during exercise. **Int J Sports Med**, v.19, p.349-357, 1998.

PRINGLE, J.S.M.; JONES, A.M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling, **European Journal Applied Physiology**, v.88, p.214-226, 2002.

SEBURN, K.L.; SANDERSON, D.J.; BELCASTRO, A.N.; MCKENZIE, D.C. Effect of manipulation of plasma lactate on integrated emg during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, p.911-916, 1992.

SJODIN, B.; JACOBS, L. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. **International Journal Sports Medicine**, v.2, n.1, p.23-26, 1981.

STEGMANN, H.; KINDERMANN, W.; SCHNABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. **International Journal Sports Medicine**, v.2, p.160-165, 1981.

TAKAISHI, T.; ONO, T.; YASUDA, Y. Relationship between muscle fatigue and oxygen uptake during cycle ergometer exercise with different ramp slope increments. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v.65, n.4, p.335-339, 1992.

TEGTBUR, U.; BUSSE, M.W.; BRAUMANN, K.M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v.25, n.5, p.620-627, 1993.

THOMAS, J.R.; NELSON, J.K.; SILVERMAN, S.J. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 5.ed. Ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2007.

TYKA, A.; PALKA, T.; TYKA, A.; CISÓN, T.; SZYGULA, Z. The influence of ambient temperature on power at anaerobic threshold determined based on blood lactate concentration and myoelectric signals. **Int J Occup Med Environ Health**, v.22, n.1, p.1-6, 2009.

VITASALO J, LUHTANEN P, RAHKILA P, RUSKO H. Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling. **Acta Physiol Scand**, v.124, p. 287-293, 1985.

VOLLESTAD, N.K.; BLOM, P.C.S. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibers. **Acta Physiol Scand**, v.125, p.395-405, 1985.

WASSERMAN, K.; MCILROY, M.B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients. **Am J Cardiol**, v.14, p.844-852, 1964.

WASSERMAN, K.; KOIKE, H. Is the anaerobic threshold truly anaerobic. **Chest**, v.89, p. 834-838, 1992.

WEIR, J.P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.19, n.1, p.231-240, 2005.

WELTMAN, A.; SNEAD, D.; STEIN, P. Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO₂max. **Int J Sports Med**, v.11, p.26–32, 1990.

WESTON, S.B.; GABBETT, T.J. Reproducibility of ventilation thresholds in trained cyclists during ramp cycle exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.4, n.3, p.357-366, 2001.

WESTON, S.B.; GRAY, A.B.; SCHNEIDER, D.A. Effect of ramp slope on ventilation thresholds and VO₂peak in male cyclists. **Int J Sports Med**, v.23, p.22-27, 2002.

APÊNDICE I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do projeto de pesquisa:

“REPRODUTIBILIDADE E VALIDADE DA ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE COMO UM MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA NO CICLISMO”

Você está sendo convidado a participar como voluntário da pesquisa intitulada: “Reprodutibilidade e validade da eletromiografia de superfície como um método para identificação dos limiares de transição fisiológica no ciclismo” a ser realizada junto ao Laboratório de Esforço Físico (LAEF), vinculado ao Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Com sua adesão ao estudo, você ficará disponível para a realização de cinco etapas (quatro visitas ao laboratório).

A primeira etapa consiste na avaliação antropométrica (massa corporal, estatura e dobras cutâneas) para ser determinada a caracterização morfológica dos participantes. As etapas seguintes serão constituídas por dois testes máximos incrementais em cicloergômetro, os quais serão realizados duas vezes para análise da reprodutibilidade dos protocolos. Previamente e posteriormente a cada teste incremental, será realizado um protocolo de contrações voluntárias máximas dos extensores de joelho para normalizar os dados e verificar indícios de fadiga muscular.

A partir dos testes incrementais, será possível determinar os limites de transição fisiológica e o consumo máximo de oxigênio, os quais são índices importantes para avaliação de seu desempenho e prescrição do seu treinamento. Os dois protocolos, a serem realizados duas vezes em ordem definida por sorteio e separados por um período de 24h, estão descritos a seguir:

- Protocolo incremental máximo degrau, com início em 100 W, incrementos de 30 W a cada estágio de 3 min, com cadência mantida constante em 90 rpm.
- Protocolo incremental máximo rampa, com início em 100 W, incrementos graduais de 30 W a cada estágio de 1 min (1 W a cada 2s), com cadência mantida constante em 90 rpm;

Em todos os protocolos incrementais e durante as contrações voluntárias máximas, será avaliada a ativação muscular dos músculos vasto lateral e reto femoral direito e esquerdo por meio da eletromiografia de superfície. Além disso, durante os protocolos incrementais, variáveis respiratórias serão mensuradas por meio da ergoespirometria.

No protocolo degrau serão coletadas amostras de sangue do lóbulo da orelha para posterior análise da concentração de lactato. O local para a coleta de sangue será esterilizado (álcool 70%) e em seguida perfurado com lanceta descartável, sendo coletado 25ul de sangue em capilares heparinizados. A cada nova coleta, o procedimento de antissepsia (álcool 70%) será repetido para evitar a contaminação do local.

Todas as informações coletadas serão estritamente confidenciais, pois somente os pesquisadores terão acesso aos dados da pesquisa. Os dados serão armazenados em mídia eletrônica (DVD) e os partici-

pantes poderão ter acesso somente aos seus dados, na forma de relatórios expelidos pelos pesquisadores.

Todos os formulários de avaliações e de observação, bem como os termos de consentimento, serão guardados em envelope lacrado por um período de cinco anos no Laboratório de Biomecânica em armário chaveado ou na sala do professor responsável. Dessa forma, o anonimato dos sujeitos estará totalmente assegurado.

Essa pesquisa é classificada como de risco mínimo, sendo estes inerentes a qualquer sujeito submetido a testes de esforço máximo, assim como o desconforto que este procedimento provoca, não sendo esperado nada além do normal. As raras alterações que podem ocorrer durante o teste de esforço incluem: desorganização do ritmo cardíaco, respostas anormais de pressão arterial, desmaios e, muito raramente, ataque cardíaco (1/10.000 testes realizados).

Estes riscos podem ser esclarecidos a qualquer momento pelo responsável dos testes. Da mesma forma, os pesquisadores responsáveis por este estudo estarão preparados para qualquer emergência efetuando os primeiros socorros.

Você estará contribuindo de forma única para o desenvolvimento da ciência, dando possibilidade a novas descobertas e ao avanço das pesquisas. Além disso, esta pesquisa aborda informações que podem ser utilizadas na prática por ciclistas e triatletas, tanto na avaliação e predição de performance, quanto no planejamento de um treinamento mais eficiente, melhorando o desempenho e evitando riscos de lesões a partir dos resultados das análises dos dados fisiológicos e eletromiográficos.

Se você estiver de acordo em participar deste estudo, garantimos que as informações fornecidas serão confidenciais e só serão utili-

zadas neste trabalho. Da mesma forma, se tiver alguma dúvida em relação aos objetivos e procedimentos da pesquisa, pode, a qualquer momento, entrar em contato pelos telefones (48) 3721-8530 / (48) 96230867, ou pessoalmente no Laboratório de Biomecânica do CDS/UFSC.

As pessoas que lhe acompanharão serão o Prof. Dr. Fernando Diefenthaler, o Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo e a acadêmica de mestrado em Educação Física Camila Peter Hoefelmann.

Agradecemos desde já a sua colaboração e participação.

APÊNDICE II**TERMO DE CONSENTIMENTO PÓS-INFORMADO**

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa; que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e que todos os dados ao meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que, neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos serão feitas em mim. Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso _____

Assinatura _____

Florianópolis _____ / _____ / _____

CONTATO:

Laboratório de Biomecânica – BIOMECC

Tel. 48 3721-8530

Acadêmica: Camila Peter Hoefelmann

E-mail: camilapeter@yahoo.com.br

Tel: (48) 96230867

