

Carolina Franco Wilke

**POTÊNCIA MÁXIMA ALCANÇADA EM UM TESTE  
PROGRESSIVO ESTIMA INTENSIDADE CORRESPONDENTE À  
MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO EM CICLOERGÔMETRO  
ANTES E APÓS UM PERÍODO DE TREINAMENTO**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2010

Carolina Franco Wilke

**POTÊNCIA MÁXIMA ALCANÇADA EM UM TESTE  
PROGRESSIVO ESTIMA INTENSIDADE CORRESPONDENTE À  
MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO EM CICLOERGÔMETRO  
ANTES E APÓS UM PERÍODO DE TREINAMENTO**

Monografia apresentada ao  
Curso de Graduação em  
Educação Física da Escola de  
Educação Física, Fisioterapia  
e Terapia Ocupacional da  
Universidade Federal de  
Minas Gerais, como requisito  
parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Emerson  
Silami Garcia

Co-orientador: Ms. Cristiano  
Lino Monteiro de Barros

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2010

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, responsáveis pela minha formação acadêmica e pessoal. À mamãe por me mostrar a importância dos estudos e ao papai por mostrar que sempre é hora de fazer a coisa certa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Silami Garcia por abrir as portas do LAFISE e pela oportunidade de realizar minha iniciação científica.

Ao Cristiano Lino, meu co-orientador, maior responsável pelo surgimento desse trabalho. Ao Thiago Mendes, também responsável pelo trabalho. Obrigada pela colaboração de vocês à minha formação.

A todos os colegas do LAFISE: doutorandos, mestrandos, alunos de iniciação científica pelas discussões científicas e aprendizado diário que tanto me fizeram crescer. E claro, pela convivência, companheirismo, força e amizade que fizeram e fazem esse trabalho prazeroso.

Aos professores do LAFISE, Danusa e Nilo pelo exemplo de profissionais e pelos ensinamentos na Fisiologia do Exercício. E a todos os bons professores da EEEFTO, que além de suas disciplinas, fizeram crescer a paixão pela Educação Física.

A Bruna por estar sempre por perto, e a toda minha família pelo apoio e carinho.

Aos meus amigos, que, de muito perto, ou de muito longe, me incentivaram e deram todo suporte que precisei. Vocês foram (e são) essenciais.

Ao Gui, por ser mais que monitor e professor. Você superou. Obrigada por estar sempre ao meu lado.

E finalmente, ao povo brasileiro por custear meus estudos.

**“O começo de todas as ciências é o espanto  
de as coisas serem o que são.” (Aristóteles)**

## RESUMO

A medida da máxima fase estável do lactato (MFEL) é o método considerado padrão ouro para determinação do limiar de lactato. A intensidade correspondente à MFEL ( $W_{MFEL}$ ) é muito utilizada para prescrição e avaliação do treinamento. Entretanto, pode ser um método dispendioso e caro, além de demandar conhecimento e prática de colheita e análise sanguínea, o que muitas vezes impossibilita sua utilização. O objetivo do presente estudo foi propor e testar uma equação de regressão capaz de estimar a  $W_{MFEL}$  a partir da realização um protocolo de exercício progressivo já validado para a determinação do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) em cicloergômetro antes e após um período de treinamento. Participaram 26 homens divididos em dois grupos de forma aleatória: G1 (n=12) ( $24 \pm 2$  anos,  $73,88 \pm 7,4$  kg,  $49,4 \pm 7,4$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) e G2 (n=14) ( $23 \pm 2$  anos,  $72,9 \pm 6,3$  kg,  $54,9 \pm 18,4$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) (COEP153-08). Todos os indivíduos realizaram um teste progressivo até a fadiga (BALKE et al. U.S. Armed Forces Med. J. 10:675,1959) para determinação do  $VO_{2máx}$  e da potência máxima ( $W_{máx}$ ) (50 W + 25W ac 2min até a fadiga), e de 2 a 5 testes de intensidade constante com duração de 30 minutos (CTE) para determinação da MFEL, ambos em cicloergômetro. Neste, amostras de sangue foram coletadas do lobo da orelha a cada 5min e a MFEL foi considerada a maior intensidade de exercício na qual não houve aumento na lactatemia maior que 1mM nos 20min finais de exercício. Os indivíduos de G2, após os testes, realizaram 6 semanas de treinamento na intensidade da MFEL, três vezes por semana. Concluído o período de treinamento, os testes iniciais foram repetidos. Todas as situações foram realizadas em ambiente temperado (22°C e 50% URA). Foi criada uma equação de regressão linear a partir da  $W_{máx}$  e a  $W_{MFEL}$  do grupo G1 ( $W_{est} = 0,8662 \times W_{máx} - 41,734$ ). Essa equação foi utilizada para estimar a  $W_{MFEL}$  ( $W_{est}$ ) do grupo G2 antes e após o treinamento. Para verificar a associação dos valores de  $W_{máx}$  e  $W_{MFEL}$  no grupo G1 e entre  $W_{est}$  e  $W_{MFEL}$  no grupo G2 pré e pós treinamento foi feita uma correlação de Pearson. Para comparação entre os valores de  $W$  medidos e estimados do grupo G2 nas duas situações foi realizado um Teste t de Student pareado (p=0,05). Foi encontrada uma alta correlação entre os valores de  $W_{máx}$  e  $W_{MFEL}$  (r=0,95) para o grupo G1. Também houve alta correlação, e não foi

encontrada diferença entre o valor de intensidade na MFEL medido e estimado no grupo G2 pré ( $150 \pm 27$  W e  $148 \pm 27$  W, respectivamente,  $p=0,69$ ;  $r = 0,81$ ;  $p<0,01$ ) e pós-treinamento ( $171 \pm 26$  W e  $177 \pm 24$  W, respectivamente;  $r = 0,79$ ;  $p<0,01$ ). A equação proposta foi capaz de estimar a intensidade relativa à MFEL antes e após 6 semanas de treinamento.

**Palavras-chave:** MFEL. Potência máxima. Estimativa. Treinamento.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Fatores que influenciam o desempenho aeróbico.....	13
FIGURA 2 - Esquema do delineamento experimental do presente estudo	28
FIGURA 3 - Exemplo de determinação da máxima fase estável do lactato de um indivíduo.....	32
FIGURA 4 - Correlação entre a potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{max}$ ) e a potência relativa à MFEL ( $W_{MFEL}$ ).....	36
FIGURA 5 - Potência relativa à MFEL medida ( $W_{MFEL}$ ) e Potência relativa à MFEL estimada a partir da equação de regressão linear proposta ( $W_{est}$ ) para o grupo G2 .....	37
FIGURA 6 - Potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{max}$ ) e potência relativa a MFEL ( $W_{MFEL}$ ) pré e pós treinamento.....	38
FIGURA 7 - Potência relativa à MFEL medida ( $W_{MFEL}$ ) e Potência relativa à MFEL estimada a partir da equação de regressão linear proposta ( $W_{est}$ ) após o período de treinamento para o grupo G2.....	39
FIGURA 8 - Correlação entre a potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{max}$ ) e a potência relativa à MFEL ( $W_{MFEL}$ ) após o período de treinamento.....	39

## LISTA DE TABELAS

1 - Dados antropométricos e $VO_{2max}$ dos voluntários dos dois grupos (G1 e G2).....	28
2 - Descrição do programa de treinamento.....	33
3 - $W_{max}$ e $W_{MFEL}$ (watts) dos grupos G1e G2 antes do período de treinamento.....	36
4 - $W_{max}$ e $W_{MFEL}$ (Watts) antes e após o período de treinamento do grupo G2.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP -	Adenosina trifosfato
IAT -	Limiar anaeróbico individual ( <i>Individual Anaerobic Threshold - IAT</i> )
LA -	Limiar anaeróbico
LacMin -	Lactato mínimo
LL-	Limiar de Lactato
MCT's -	Transportadores de monocarboxilato
MFEL-	Máxima Fase Estável de Lactato
QR-	Cociente de trocas respiratórias
r -	Coefficiente de correlação de Pearson
UFMG -	Universidade Federal de Minas Gerais
URA-	Umidade Relativa do Ar
VO <sub>2</sub> -	Consumo de oxigênio
VCO <sub>2</sub> -	Produção de dióxido de carbono
VE -	Ventilação
VO <sub>2máx</sub> -	Consumo Máximo de Oxigênio
W -	Watts
W <sub>máx</sub> -	Potência máxima
WMFEL-	Intensidade de exercício identificada na Máxima Fase Estável do Lactato

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
2.1 Protocolos para identificação do consumo máximo de oxigênio.....	14
2.2 Limiar de lactato.....	15
2.3 Máxima Fase Estável de Lactato.....	17
2.4 Estimativa da MFEL.....	18
2.4.1 Limiar anaeróbico individual.....	18
2.4.2 Concentração fixa de lactato.....	18
2.4.3 Lactato mínimo.....	19
2.4.4 Limiar ventilatório.....	19
2.4.5 Desempenho em distâncias conhecidas.....	20
2.4.6 Equações de predição.....	21
2.5 Treinamento aeróbico.....	22
2.5.1 Treinamento e máxima fase estável de lactato.....	24
<b>3 OBJETIVO.....</b>	<b>26</b>
<b>4 MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 Cuidados éticos.....	27
4.2 Amostra.....	27
4.3 Delineamento do estudo.....	28
4.4 Procedimentos experimentais.....	30
4.4.1 Avaliação física para a caracterização da amostra.....	30
4.4.2 Protocolo para determinação do $VO_{2máx}$ e da $POT_{máx}$ .....	30
4.4.3 Protocolo de determinação da MFEL.....	31
4.4.4 Treinamento aeróbico.....	32
4.5 Variáveis analisadas.....	34

4.6 Análise estatística.....	34
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
5.1 Elaboração de uma equação de regressão linear.....	36
5.2 Validação da equação de regressão linear.....	37
5.3 Validação da equação de regressão linear após um período de treinamento.....	37
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O limiar de lactato é um forte indicador fisiológico do desempenho aeróbico juntamente com o consumo máximo de oxigênio, e é utilizado com forma de avaliação e prescrição do treinamento. A máxima fase estável do lactato é considerada padrão ouro para sua determinação. Apesar de muito precisa, seu método exige o comparecimento do indivíduo ao laboratório (local do teste) por três a cinco dias, resultando em grande dispêndio de tempo. Além disso, é necessária colheita sanguínea e a utilização de um lactímetro, equipamento com alto custo financeiro e fazendo necessária a presença de pessoas já habituadas ao manuseio de sangue. Considerando os motivos citados, a determinação da MFEL é um método de difícil acesso pela maioria da população de atletas ou indivíduos fisicamente ativos.

Existem na literatura diversos métodos alternativos à MFEL, nos quais um único teste é realizado e, portanto a presença do indivíduo no laboratório é necessária somente uma vez. Entretanto a maioria destes necessita de colheita sanguínea ou medidas ergoespirométricas, dificultando, ainda, o seu acesso.

Aqueles métodos que não necessitam de equipamentos caros ou colheita sanguínea são propostos a partir de estimativas da MFEL, o que pode diminuir a fidedignidade dos resultados além de alguns deles não terem sido validados. Ainda, nenhum destes foi testado após um período de treinamento, o que seria de grande importância uma vez que a intensidade correspondente a MFEL aumenta em decorrência do treinamento.

Dessa forma, torna-se importante investigar se um método não invasivo, barato e de fácil aplicação pode ser usado para identificação da MFEL e se, este é capaz de detectar adaptações decorrentes do treinamento nessa variável.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Muitos autores defendem que o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) é o principal determinante da capacidade aeróbica e por isso é muito utilizado

como principal indicador desta (MCARDLE, 2007) e preditor de desempenho em eventos esportivos de longa duração (COSTILL, 1973).

Apesar disso, o  $VO_{2max}$  não é o único fator limitante do desempenho aeróbico. A melhora do  $VO_{2max}$  depende do estado de treinamento, sendo que, quanto mais treinado o indivíduo, maior a dificuldade de melhora do desempenho a partir do aumento do  $VO_{2max}$ . Estudos mostram que é possível melhorar o desempenho aeróbico sem um aumento concomitante do  $VO_{2max}$  (KOHRT *et al.*, 1989).

Dessa forma, também são determinantes do desempenho: o limiar de lactato (LL) e a economia de corrida ou economia de movimento (MIDGLEY *et al.*, 2007).

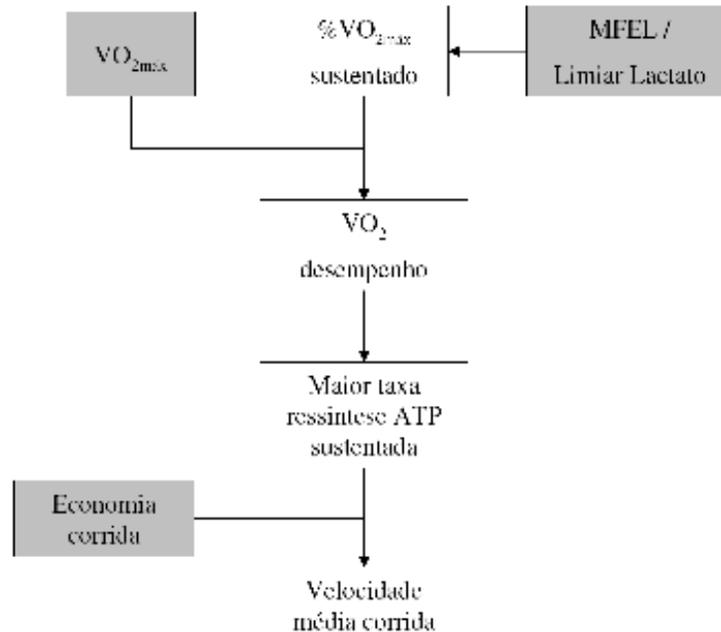


FIGURA 1 - Fatores que influenciam o desempenho aeróbico.  
Fonte: Adaptado de MIDGLEY *et al.*, 2007, p.859.

Outros estudos ainda, têm apontado o  $VO_{2max}$  como uma variável menos eficiente para predição de desempenho, e apontam o LL como a variável mais precisa na avaliação do mesmo (ATKINSON *et al.*, 2003).

## 2.1 Protocolos para identificação do consumo máximo de oxigênio

Existem diversos protocolos para identificação do  $VO_{2\text{máx}}$  em seres humanos. Eles se diferenciam por utilizarem diferentes ergômetros (esteira, cicloergômetro, piscina, remo), diferentes ambientes (laboratório ou campo) e populações (atletas, sedentários, crianças, adultos ou idosos), intensidade fixa ou progressiva e caráter submáximo ou máximo.

Em sua maioria, é necessária a medida direta do consumo de oxigênio. Entretanto, a espirometria possui um alto custo financeiro, não sendo acessível à maioria da população. Para possibilitar um maior alcance desse tipo de teste, diversos autores propõe métodos para estimar o  $VO_{2\text{máx}}$  através de equações de predição (ACSM, 1996).

Em cicloergômetro, protocolos de exercício progressivo máximo se distinguem principalmente quanto à magnitude do incremento de intensidade e ao tempo entre cada incremento (estágio). Essas diferenças podem refletir no resultado dos testes (BENTLEY *et al.*, 2007).

Por esse motivo, é de extrema importância que o protocolo a ser utilizado seja previamente testado em um outros indivíduos, avaliando se este pode ser reproduzido, e sua proposta não é válida apenas para o grupo com o qual ele foi proposto. A validação do protocolo assegura a confiabilidade de seu resultado.

Sugerido pelo Colégio Americano de Medicina Esportiva (ACSM, 1996), o protocolo proposto por Balke e Ware (1959) tem alta aplicabilidade. O exercício consiste em pedalar em um cicloergômetro a uma intensidade inicial de 50 watts (W) e incrementos de 25 W a cada dois minutos de exercício até que o indivíduo não consiga mais manter a cadência pré-determinada de 50rpm. O  $VO_{2\text{máx}}$  neste protocolo pode ser determinado através da utilização de um espirômetro ou através de uma equação de predição ( $VO_{2\text{máx}} = (200+12xW_{\text{max}})/\text{massa corporal}$ ) (BALKE E WARE, 1959).

Esse protocolo é muito utilizado para avaliação da capacidade aeróbica em laboratório e academias por ser de fácil aplicação e permitir acesso aos valores de  $VO_{2\text{máx}}$  de indivíduos através de equações simples. A maior potência que o indivíduo consegue alcançar neste teste é chamada de potência máxima

( $W_{max}$ ). Esta têm alta correlação com o  $VO_{2max}$ , uma vez que, quanto maior o trabalho gerado, maior o gasto energético para cumprir a tarefa.

Hawley e Noakes, 1992 também sugeriram uma equação de predição do  $VO_{2max}$  a partir da  $W_{max}$ . Porém estes autores não verificaram a confiabilidade dessa equação, já que a esta não foi reproduzida e testada em outras situações.

## 2.2 Limiar de lactato

O limiar de lactato (LL) ou uma intensidade de exercício acima da qual existe acúmulo de lactato na corrente sanguínea tem uma longa história de investigação científica. Segundo Svedahl e MacIntosh (2003), em 1930, Owles foi o primeiro pesquisador a verificar que, em exercícios de baixa intensidade, a concentração sanguínea de lactato não se altera em relação aos valores basais e, com o aumento da intensidade, esta concentração aumenta. Owles interpretou o fato como uma insuficiente entrega de oxigênio aos músculos ativos e ocorrendo assim, a formação de ácido láctico. Já na década de 50 e 60, Hollmann e colaboradores segundo Svedahl e Macintosh (2003), mensuraram o lactato sanguíneo em testes de exercício submáximo a fim de detectar uma intensidade crítica de intolerância ao exercício em pacientes cardiopatas e pneumopatas. Eles assumiram que, se a lactatemia pudesse ser mantida em um nível constante, o exercício era considerado “puramente aeróbico”. Iniciava-se assim o conceito da Máxima Fase Estável de Lactato (MFEL) (SVEDAHL; MacINTOSH, 2003).

Por sua vez, o termo Limiar Anaeróbico (LA) foi primeiramente proposto por Wasserman e Mcllroy (1964) com o objetivo de identificar uma intensidade de exercício capaz de promover melhoras no condicionamento físico sem expor os pacientes com doenças cardiovasculares a maiores riscos. Esses autores acreditavam que a intensidade de exercício que parecia provocar limitação do sistema cardiovascular em ofertar oxigênio aos músculos ativos estava relacionada ao aumento na concentração de lactato. Eles encontraram associações entre o LA e a diminuição do bicarbonato plasmático e do pH, o aumento do quociente de trocas respiratórias (QR), equivalente respiratório de

oxigênio – ventilação/consumo de oxigênio ( $VE/VO_2$ ) – (limiar ventilatório 1) e do equivalente respiratório de gás carbônico – ventilação/volume expirado de gás carbônico ( $VE/VCO_2$ ) – (limiar ventilatório 2). No entanto, não foi verificado se esses eventos ocorriam em sincronia (WALSH; BANISTER, 1988).

Contudo não é possível concluir que apenas a presença e formação de ácido láctico nos músculos possam significar uma disponibilidade limitada de oxigênio, a qual poderia limitar o metabolismo aeróbico. É importante considerar que o ácido láctico pode ser formado mesmo quando há oxigenação suficiente.

Diversos fatores podem promover a formação de lactato no músculo como a acelerada glicogenólise e glicólise decorrente do aumento da atividade simpatoadrenal (FEBBRAIO *et al.*, 1998). Outro possível fator é a inadequada transferência dos equivalentes de redução ( $NAD^+$  e  $FADH^+$ ) para a mitocôndria (HOLLOSZY; COYLE, 1984). Nestas condições, a formação de ácido láctico pode prevenir o acúmulo de piruvato e suprir as necessidades de  $NAD^+$  necessários na fase aeróbica da glicólise (ROBERGS *et al.*, 2004).

Assim, o papel do lactato como causador da fadiga tem gerado grande debate entre pesquisadores de renome nas áreas da fisiologia e fisiologia do exercício.

Contudo, é possível observar que existe, sim, uma intensidade de exercício, a partir da qual o lactato passa a acumular no sangue, e que esta intensidade apresenta alta correlação com o desempenho em exercícios de resistência aeróbica (SVEDAHL, MacINTOSH 2003), e pode ser um bom indicador das condições metabólicas que podem induzir acidose (ROBERGS *et al.*, 2004).

Definido como a intensidade de exercício acima da qual existe um aumento progressivo na concentração sanguínea de lactato (STEGMANN E KINDERMANN, 1981), a MFEL é considerada padrão ouro para identificação desta intensidade (o LL).

Além disso, atualmente, a perspectiva do lactato ser “apenas” um produto final da glicólise anaeróbica vem se alterando. Hoje o lactato é considerado um metabólito produzido durante um adequado fornecimento de energia e que o fornecimento de ATP pela via aeróbica é um processo altamente adaptativo, no qual o músculo esquelético possui uma habilidade

inerente para se adaptar a demanda energética do organismo, e o lactato produzido é parte integrante do funcionamento deste sistema e não somente um produto final (PHILP *et al.*, 2005). Além disso, é importante destacar que durante o exercício o lactato é utilizado como substrato para o músculo (GLADDEN, 2000).

Também é sugerido que o lactato tem um importante papel no estado redox da célula muscular, na regeneração do  $FADH_2$  e NADH, permitindo continuação da cadeia respiratória (McCLELLAND *et al.*, 2003). O lançamento de prótons não relacionados ao lactato é estimado em aproximadamente 75% do fluxo total de prótons durante um exercício (BANGSBO *et al.*, 1997), sendo que a acidificação é resultado de outros processos bioquímicos como a hidrólise de ATP e outros estágios da glicólise, enquanto o lactato provavelmente é responsável por um atraso no ponto de fadiga muscular (ROBERGS *et al.*, 2004).

### 2.3 Máxima fase estável de lactato

Assim como sua definição (BENEKE, 2003; SOTERO, 2009), o método de identificação da Máxima Fase Estável do Lactato (MFEL) é considerado padrão ouro para identificação do LL. Para tanto é necessária a realização de (aproximadamente) 3 a 5 exercícios de intensidade constante com duração de 30 minutos em diferentes dias, com intervalo mínimo de 24 horas, nos quais são coletadas amostras de sangue a cada 5 minutos. A MFEL é considerada a máxima intensidade na qual não há variação maior que 1mM de lactato entre os minutos 10 e 30 de exercício (BILLAT *et al.*, 2003).

Apesar de precisa, a identificação da MFEL é um método dispendioso em tempo uma vez que os indivíduos devem comparecer ao laboratório diversas vezes (DeBARROS, 2007; MENDES, 2009; RAMOS, 2009), além de demandar pessoal capacitado à colheita de sangue e ter alto custo de equipamento. Todos esses fatores dificultam sua utilização pela maioria dos atletas e esportistas, sendo limitada aos poucos que possuem acesso a laboratórios especializados e condições financeiras para custear os testes.

## 2.4 Estimativa da MFEL

No intuito de simplificar a determinação da MFEL, diversos autores vêm propondo métodos para identificação dessa variável através de um único exercício progressivo. Estes podem incluir colheita de sangue (STEGMANN *et al.*, 1981; HECK *et al.*, 1985; TEGTBUR *et al.*, 1993), variáveis respiratórias (AMANN *et al.*, 2004) ou de desempenho, como distância percorrida em um determinado tempo ou intensidade, ou ainda o tempo necessário para completar uma distância (SWENSEN *et al.*, 1999; HARNISH *et al.*; 2000).

### 2.4.1 Limiar anaeróbico individual

Stegmann *et al.* (1981) propuseram o Limiar Anaeróbico Individual (LAI), definido como a taxa metabólica na qual a taxa de aparecimento do lactato é igual à sua taxa de desaparecimento. Para sua determinação, o indivíduo realiza um exercício progressivo até a fadiga no qual são coletadas amostras de sangue durante, e no período de recuperação do mesmo.

Utilizando a curva de lactatemia resultante deste exercício, é então traçada uma reta a partir do final do exercício em direção à curva de recuperação, paralelamente ao eixo X. Do ponto de interseção entre a linha traçada e a curva de recuperação é traçada uma nova reta em direção à curva de exercício. O primeiro ponto no qual essa reta encontra a curva é considerado o LAI. Estudos recentes de nosso laboratório (DeBARROS, 2007; RAMOS, 2009) mostraram que esse é um método preciso na determinação da MFEL em cicloergômetro.

### 2.4.2 Concentração fixa de lactato

Heck *et al.* (1985) propuseram a determinação da MFEL utilizando uma concentração fixa de lactato sanguíneo de 4 mM. Esta concentração foi sugerida por ter sido a média encontrada entre indivíduos treinados e não treinados. Para este método, é necessário encontrar uma intensidade na qual a

lactatemia resultante seja igual 4 mM. Caso este resultado não seja encontrado, uma maneira alternativa é realizar dois exercícios: um no qual a concentração de lactato final seja menor e outra em que esta seja maior que 4mmol/L, a partir dos quais é realizada uma interpolação linear para encontrar a intensidade relativa à lactatemia desejada.

Entretanto foi no estudo de Heck *et al.* (1985) foi encontrada uma variação interindividual de 3,0 a 5,5 mM. Um estudo de nosso laboratório (DE BARROS, 2007), também mostrou uma alta variação interindividual da concentração de lactato na MFEL (2,1 Mm a 6,7 mM). Além destes, Stegmann *et al.* (1981) encontraram valores entre 1,5 a 7,0 mmol/L. Este método se torna portanto, muito generalizado, podendo superestimar ou subestimar a W relativa ao LL, fazendo com que seja bastante discutido.

Outros estudos utilizam diferentes concentrações de lactato como preditores da MFEL como 3,0 mmol/L (BENEKE *et al.*, 2009).

#### 2.4.3 Lactato mínimo

Tegtbur *et al.* (1993) apud Sotero *et al.* (2009) foi o primeiro a descrever um protocolo para determinação do Lactato Mínimo (LacMin). Para sua identificação é necessária a realização de um exercício de alta intensidade, capaz de aumentar a concentração de lactato a valores altos e, após um pequeno período de recuperação, a realização de um exercício progressivo. Após o primeiro exercício e durante o exercício progressivo são coletadas amostras de sangue para determinação da lactatemia. O menor valor encontrado na curva de lactatemia do exercício progressivo é considerado o ponto no qual existe um equilíbrio entre a produção e a remoção de lactato.

#### 2.4.4 Limiar ventilatório

Proposto primeiramente baseado no pressuposto de que o aumento da ventilação seria causado diretamente pelo aumento de produção de lactato, o limiar ventilatório era uma forma não invasiva de estimar o LL. Sua determinação pode ser feita utilizando diversos métodos para análise dos

resultados (valor de razão de troca respiratória, razão  $VE/VO_2$ , V-slope), mas é sempre realizada através da medida de variáveis respiratórias como o  $VO_2$ , o  $VCO_2$  e a ventilação (VE) (AMANN *et al.*, 2004).

Apesar de ser um método não invasivo, a aparelhagem necessária à sua determinação (espirometria de circuito aberto) ainda possui um alto custo, e é pouco acessível à população.

#### 2.4.5 Desempenho em distâncias conhecidas

Swensen *et al.* (1999) verificaram que a velocidade correspondente à MFEL era igual a aproximadamente 90% da velocidade média de um teste de 5km realizado em um simulador 'windload', e propuseram um método não invasivo para estimativa da MFEL em ciclistas treinados. Esta seria feita através de um teste de 5km no simulador e um segundo teste de 30 minutos de duração também no mesmo aparelho, a 90% da velocidade média do primeiro teste. A frequência cardíaca média dos últimos 20 minutos deste exercício seria àquela correspondente à MFEL e deveria ser usada juntamente com a velocidade encontrada como parâmetro de treinamento.

Apesar de não necessitar de colheita sanguínea, o aparelho ainda possui alto custo, e existe a necessidade do indivíduo comparecer ao laboratório mais de um dia.

Em 2000, Harnish *et al.* além de confirmar a validação do protocolo proposto por Swensen *et al.* encontrando um valor de 90% da velocidade média de um teste de 5km para a velocidade correspondente à MFEL, propuseram um novo protocolo. De acordo com esses autores, um teste de 40 km foi capaz de estimar por si só a velocidade, a frequência cardíaca e a lactatemia correspondente à MFEL, limitando a estimativa da MFEL a um único teste, e que não necessitaria da utilização do simulador.

#### 2.4.6 Equações de predição

A partir de altas correlações encontradas em diversos estudos entre LL, MFEL, LacMin, 4mmol e o desempenho em algumas provas de corrida e natação, alguns autores criaram e validaram equações de regressão linear no intuito de estimar esta variável fisiológica sem a necessidade de utilização de equipamentos ou pessoal especializado.

Estudos realizados na natação (BALIKAIN *et al.*, 1997; MATSUNAMI *et al.*, 1999 apud DENADAI 2000 ) utilizando 7 e 6 homens verificaram alta correlação entre o desempenho em teste de 10 minutos e provas de 200 metros nado crawl e a intensidade correspondente ao OBLA. Cada qual sugeriu uma equação de predição. Porém a primeira não foi testada, e a segunda pareceu superestimar a intensidade correspondente à MFEL.

Com o objetivo de criar e validar uma equação de predição do LacMin para indivíduos fisicamente ativos, Sotero *et al.* (2009) partiram de dados de outros autores de que o LacMin é altamente correlacionado ao desempenho de corrida de média distância, e utilizaram um teste de 1600 metros de corrida. Foi criada uma equação a partir da correlação entre o teste de lactato mínimo e o teste de 1600 metros de corrida de 12 voluntários ( $Lacmín = (0,7507 \times Vel.média\ 1600m) + 21,575$ ). Esta foi capaz de estimar a velocidade de corrida correspondente ao LacMin e a MFEL em um segundo grupo de 10 indivíduos. Os autores sugeriram portanto, sua utilização para indivíduos com características semelhantes às de seu estudo.

Em 2010, Almeida *et al.* verificou que a mesma distância poderia ser utilizada para a estimativa do  $VO_{2máx}$ . Após encontrar alta correlação entre a velocidade média no teste de 1600 metros de corrida e o  $VO_{2máx}$  medido em um teste progressivo, sugeriu uma nova equação, que permitiu a estimativa deste parâmetro fisiológico.

Mesmo de validado, este protocolo possui certa desvantagem em relação a seu método. Isso porque a equação de regressão linear foi criada a partir de um método já estimativo da MFEL, tornando-a mais distante da medida padrão ouro. Além disso, ela exige mais de um dia de testes, o que pode torná-lo incompatível com a rotina de treinamento de atletas ou diária de um indivíduo fisicamente ativo.

Nenhum estudo foi encontrado que sugerisse uma equação de predição da MFEL em cicloergômetro. Esse ergômetro pode facilitar essa estimativa em ambientes fechados como laboratórios e academias.

## 2.5 Treinamento aeróbico

A capacidade aeróbica máxima é definida como a maior capacidade de transporte e utilização de oxigênio para produção de energia –  $VO_{2max}$  (MCARDLE *et al.*, 2003). O treinamento aeróbico tem como objetivo induzir adaptações sistêmicas que irão resultar no aumento da capacidade oxidativa e  $VO_{2MAX}$ .

Após um período de treinamento aeróbico é observado aumento do volume de ejeção cardíaco, decorrente do aumento da cavidade ventricular esquerda, contratilidade do miocárdio e volume diastólico final (SPINA *et al.*, 1999), resultando em maior débito cardíaco máximo (SHEPHARD *et al.*, 1992).

Além disso, o treinamento aeróbico resulta em numerosas adaptações no músculo esquelético relacionados à capacidade oxidativa. As adaptações decorrentes de um treinamento são altamente específicas e dependentes do tipo de exercício realizado e da carga de treinamento utilizada.

Com o treinamento aeróbico há aumento no número e tamanho de mitocôndrias, aumento na concentração de enzimas do Ciclo de Krebs e mecanismos de transporte de elétrons (SCHANTZ *et al.*, 1986; SUTER *et al.*, 1995); aumento da capacidade de  $\beta$ -oxidação de ácidos graxos livres (KIENS *et al.*, 1993); aumento na concentração de bombas de sódio-potássio (GREEN *et al.*, 1993); aumento da capacidade de transportar lactato (PILEGAARD *et al.*, 1993; McCULLAGH *et al.*, 1996) e na densidade capilar (ANDERSEN *et al.*, 1977; INGJER, 1979).

Após o treinamento aeróbico o aumento das reservas e a utilização de triglicerídeos intramusculares (HURLEY *et al.*, 1986; MARTIN *et al.*, 1993) durante exercício submáximo, reduz a contribuição dos carboidratos para a ressíntese de ATP (KIENS *et al.*, 1993), reduzindo a taxa de oxidação de glicose sanguínea (COGGAN *et al.*, 1990; MENDENHALL *et al.*, 1994) e a

depleção do glicogênio muscular (GREEN *et al.*, 1995; COFFEY; HAWLEY, 2007).

Estas adaptações podem ser importantes na manutenção de uma determinada intensidade de exercício por períodos prolongados (IVY *et al.*, 1980; WESTON *et al.*, 1999). Sendo que, a maior concentração de enzimas oxidativas nas fibras musculares do tipo I pode retardar o ponto no qual as fibras tipo II são mais recrutadas durante um exercício; e o aumento do potencial oxidativo das fibras tipo II pode reduzir sua relação com a glicólise (MORITANI *et al.*, 1993).

Após o treinamento, ainda parece haver a manutenção de uma mesma concentração de catecolaminas para uma mesma intensidade relativa de exercício (MENDENHALL *et al.*, 1994; MARTIN *et al.*, 1993; GREIWE *et al.*, 1999). Como as catecolaminas podem estimular produção de lactato por meio da modulação da glicogenólise, este resultado também pode ser levado em consideração para a redução da utilização de glicogênio muscular com o treinamento (DUAN; WINDER, 1994). Após o treinamento pode ser observada uma redução da lactatemia, para uma mesma intensidade relativa e absoluta de exercício, resultante de uma menor taxa de produção e maior taxa de remoção de lactato (BERGMAN *et al.*, 1999; MESSONNIER *et al.*, 2006).

A menor produção e principalmente a maior taxa de remoção de lactato está associada à melhora da capacidade oxidativa muscular em manter a produção de ATP's sem acúmulo de lactato. Com o treinamento é observado aumento dos transportadores de lactato localizados na membrana, chamados de transportadores de monocarboxilatos (MCTs) (DUBOUCHAUD *et al.*, 2000), o que pode facilitar o transporte de lactato para fora da célula que o está produzindo e/ou sua entrada em células adjacentes ou em outro local do corpo, para sua oxidação (BROOKS, 2007). Assim, durante um exercício, o lactato produzido pela musculatura ativa pode servir como energia imediata para outros tecidos adjacentes (musculatura ativo ou tecidos menos ativos) (BROOKS, 2007) e até mesmo para o cérebro (GLADDEN, 2004).

Desta maneira diferentes adaptações musculares podem melhorar a ressíntese de ATP e alterar a produção e remoção de lactato, algumas vezes independentemente do aumento do  $VO_{2MAX}$ . Kohrt *et al.* (1989) observaram aumento no limiar de lactato apesar do  $VO_{2MAX}$  não apresentar modificação. De

acordo com Jones e Carter (2000), apesar da melhora do  $VO_{2MAX}$  ser limitada em indivíduos muito treinados, a melhora do desempenho aeróbico pode ser continuamente aperfeiçoada.

### 2.5.1 Treinamento e máxima fase estável de lactato

Apesar de muitos estudos proporem diferentes métodos para estimar a MFEL, apenas cinco estudos encontrados avaliaram a influência de um período de treinamento nas variáveis associadas à MFEL: três envolvendo seres humanos (CARTER *et al.*, 1999; MCCONNELL; SHARPE, 2005; PHILP *et al.*, 2008) e dois com modelo animal (GOBATTO *et al.*, 2001; FERREIRA *et al.*, 2007).

Carter *et al.* (1999) avaliaram a influência de um período de treinamento aeróbico de seis semanas na MFEL. Foi observado um aumento na velocidade de corrida associada a MFEL.

Gobatto *et al.* (2001) avaliaram a MFEL de ratos sedentários e treinados (nove semanas de treinamento de natação) e observaram uma maior intensidade de exercício no grupo treinado, mas uma lactatemia semelhante entre os grupos na MFEL. Ferreira *et al.* (2007) avaliaram o efeito de um período de treinamento de oito semanas na MFEL, em ratos, e também observaram um aumento da intensidade de exercício com uma manutenção da lactatemia correspondente à MFEL antes do treinamento.

Philp *et al.* (2008) estudaram a resposta de um treinamento contínuo realizado na intensidade da MFEL e um treinamento intermitente realizado em uma intensidade próxima à MFEL (0,5 km.h<sup>-1</sup> acima e abaixo da intensidade da MFEL) em corredores moderadamente treinados. Estes autores observaram que a intensidade da MFEL foi um estímulo de treinamento capaz de promover um aumento tanto no  $VO_{2MAX}$  quanto na intensidade da MFEL de ambos os grupos. Foi ainda observado um aumento na lactatemia em ambos os grupos de treinamento na MFEL após o período de treinamento.

McConnell e Sharpe (2005) investigaram o efeito de seis semanas de treinamento de força da musculatura inspiratória na MFEL. Não foi encontrada

alteração da intensidade de exercício associada à MFEL, contudo, foi observada redução da lactatemia nesta.

Analisando os resultados obtidos nos estudos citados, parece que uma adaptação ao treinamento aeróbico é o aumento da intensidade correspondente à MFEL, independente do estado inicial de treinamento.

Dessa forma, um método proposto no intuito de avaliar essa intensidade, para que garanta fidedignidade em avaliações realizadas ao longo de um período de treinamento, deve ser sensível a esta adaptação.

### **3 OBJETIVO**

Criar e validar uma equação de regressão linear que seja capaz de estimar a MFEL em cicloergômetro em indivíduos sedentários antes e após um período de treinamento a partir da realização de um protocolo já validado para determinação do consumo máximo de oxigênio.

### **4 MÉTODOS**

#### **4.1 Cuidados éticos**

O presente estudo foi realizado com dados de dois projetos de mestrado (*“Efeito de seis semanas de treinamento no desempenho, lactatemia e utilização de substratos metabólicos na máxima fase estável do lactato”* e *“Influência do calor na máxima fase estável do lactato”*) com a autorização prévia de ambos os autores.

O estudo foi possível uma vez que os procedimentos experimentais utilizados para obtenção dos dados a serem utilizados foram similares nos dois projetos. Além disso, uma avaliação estatística mostrou não haver diferença entre as medidas antropométricas e a capacidade aeróbica dos indivíduos participantes dos dois estudos. As variáveis principais ( $W_{max}$  e  $W_{MFEL}$ ) não tiveram interferência das diferenças nos métodos utilizados nos dois estudos.

Os dois projetos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP 153/08 e 355/05). Todos os voluntários assinaram um termo de

consentimento livre e esclarecido após explicação detalhada dos objetivos, métodos, possíveis riscos e benefícios da participação em cada um deles, além de responderem a um questionário médico a fim de identificar qualquer fator que pudesse impedir ou limitar sua participação nos estudos.

#### 4.2 Amostra

Fizeram parte do estudo 26 indivíduos saudáveis e sedentários divididos aleatoriamente em dois grupos (G1 e G2) cada um com 13 voluntários.

Os dados antropométricos e o  $VO_{2\text{máx}}$  dos dois grupos estão expressos na TABELA 1.

TABELA 1

Dados antropométricos e  $VO_{2\text{max}}$  dos voluntários dos dois grupos (G1 e G2).

	G1 (n=13)	G2 (n=13)
Idade (anos)	24 ± 2	23 ± 2
Estatura (cm)	179 ± 5	176 ± 7
Massa corporal (Kg)	73,88 ± 7,35	72,96 ± 6,33
% gordura	14,4 ± 5,2	14,5 ± 5,5
$VO_{2\text{máx}}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	49,36 ± 7,24	54,98 ± 18,36

#### 4.3 Delineamento do estudo

Todos os indivíduos passaram por três avaliações antes do treinamento: Avaliação da composição corporal, teste para determinação do  $VO_{2\text{max}}$  e da  $W_{\text{max}}$  e testes para identificação da MFEL (FIGURA 2).

Após os testes iniciais, somente os indivíduos do G2 realizaram seis semanas de treinamento aeróbico, e, ao término deste, passaram novamente pelas avaliações realizadas anteriormente ao início do treinamento.

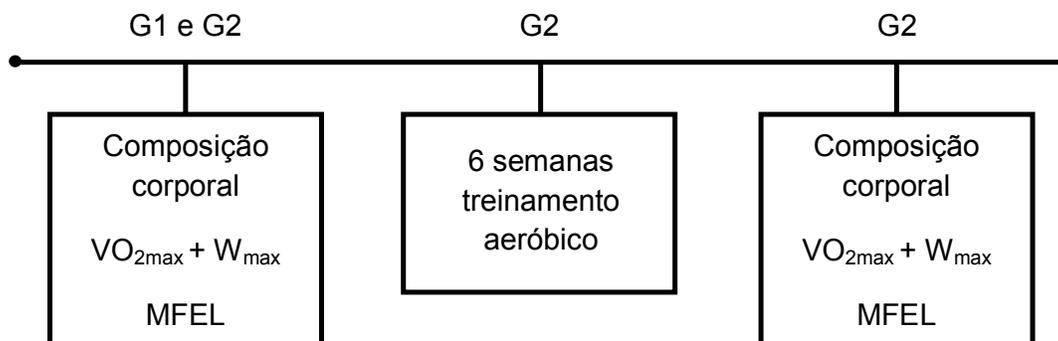


FIGURA 2 - Esquema do delineamento experimental do presente estudo.

Todos os testes físicos e o treinamento aeróbico foram realizados em um cicloergômetro de frenagem mecânica (Monark Ergomedic E-824E) previamente ajustado e calibrado antes de cada situação, de acordo com as especificações do fabricante.

A escolha pelo cicloergômetro levou em conta a possibilidade de coleta de sangue sem necessidade de interrupção do exercício (coleta de amostras de sangue do lobo da orelha), como também a maior disponibilidade deste ergômetro no laboratório.

Todos os testes foram realizados com no mínimo 48h de intervalo, sempre no mesmo horário do dia ( $\pm 1h$ ), para evitar influências decorrentes do ritmo circadiano; em uma sala com temperatura controlada por um ar condicionado e aquecedor entre 21–24°C e 50–70% de umidade relativa do ar (URA) (ambiente temperado). O exercício até a fadiga foi realizado com no mínimo 72h de intervalo e a vestimenta foi padronizada para todas as situações experimentais: tênis, meias e bermuda de ciclismo.

Os voluntários foram instruídos a não ingerir bebida alcoólica ou bebida contendo cafeína e nem realizar atividade física vigorosa 24 horas antes dos experimentos. Também foi requisitado a ingestão de 500mL de água duas horas antes do experimento para garantir que iniciariam os testes euhidratados (ACSM, 1996).

O estudo foi dividido em três partes:

#### 1. Elaboração da equação de regressão linear

Para criar uma equação de regressão linear foram utilizados os dados de potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{\text{máx}}$ ) e da potência relativa à MFEL ( $W_{\text{MFEL}}$ ) do grupo G1. Para tanto, foi realizada primeiramente uma correlação entre esses dados.

## 2. Validação da equação de regressão linear

Para validar a equação de regressão encontrada com os dados de G1, esta foi aplicada aos dados de  $W_{\text{máx}}$  de G2, com o intuito de estimar a intensidade correspondente à MFEL deste grupo. Os valores de potência encontrados com a utilização da equação ( $W_{\text{est}}$ ) foram então comparados aos dados de  $W_{\text{MFEL}}$  para que fosse verificado o poder de estimativa da mesma.

## 3. Validação da equação de regressão linear pós-treinamento.

A mesma equação foi utilizada com os dados de  $W_{\text{max}}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  dos indivíduos integrantes de G2 após um período de seis semanas de treinamento aeróbico. O valor médio de  $W_{\text{est}}$  foi comparado ao valor medido de  $W_{\text{MFEL}}$ .

## 4.4 Procedimentos experimentais

### 4.4.1 Avaliação física para a caracterização da amostra

Foram realizadas medidas de massa corporal, estatura e dobras cutâneas. A massa corporal (kg) foi medida com os voluntários descalços e nus utilizando-se uma balança digital (Filizola<sup>®</sup>) com precisão de 0,02 kg, calibrada previamente. A estatura (cm) foi medida utilizando-se um estadiômetro com precisão de 0,5 cm, acoplado a uma balança (Filizola<sup>®</sup>). As dobras cutâneas subescapular, tríceps, bíceps, peitoral, subaxilar, suprailíaca, abdominal, coxa e perna foram medidas utilizando-se um plicômetro (Lange<sup>®</sup>), graduado em milímetros, de acordo com o protocolo proposto por Jackson e Pollock (1978).

#### 4.4.2 Protocolo para determinação do $VO_{2m\acute{a}x}$ e da $POT_{m\acute{a}x}$

Para determinação do  $VO_{2m\acute{a}x}$  foi realizado um teste progressivo máximo em cicloergômetro (Monark®) em um ambiente temperado com temperatura controlada por ar condicionado (21–24°C) e 50–70% de umidade relativa do ar (URA).

O exercício consistiu em pedalar no cicloergômetro a uma cadência de 50 rpm. A potência inicial era de 50W que sofreu acréscimos de 25W a cada minuto até que o indivíduo atingisse a fadiga (BALKE *et al.*, 1959).

As variáveis ergoespirométricas foram medidas continuamente durante o teste. A frequência cardíaca (FC) foi anotada a cada minuto. Ao final de cada estágio o voluntário classificava seu esforço utilizando uma escala de percepção subjetiva de esforço (PSE) de 15 pontos (BORG, 1970).

O  $VO_{2m\acute{a}x}$  foi considerado como o maior valor de  $VO_2$  atingido quando a frequência cardíaca máxima ( $FC_{m\acute{a}x}$ ) atingida fosse maior ou igual a 90% da  $FC_{m\acute{a}x}$  prevista pela idade (220-idade), a percepção subjetiva de esforço (PSE) fosse maior ou igual a 18 (BORG, 1982), e o coeficiente de trocas respiratórias (RER) fosse igual ou maior a 1,1.

O exercício foi interrompido quando um ou mais critérios fossem alcançados: nota 20 na escala de PSE proposta por Borg (1982); o voluntário solicitar a interrupção do teste; observação de sintomas que indiquem perfusão precária, como tontura, confusão, ataxia, palidez, cianose, náuseas e pele fria e úmida; falha de qualquer equipamento utilizado para a realização do experimento (ACSM, 2000).

A  $W_{max}$  foi considerada a maior potência na qual foi completado o último estágio ou, quando este foi incompleto, foi calculada de acordo com a equação proposta por Kuipers *et al.* (1985):

$$W_{m\acute{a}x} = W1 + (W2 \cdot t / 120)$$

Onde,  $W1$  é a potência correspondente ao último estágio completo,  $W2$  é a potência correspondente ao incremento de carga de cada estágio e  $t$  é o tempo em segundos de duração do estágio incompleto.

#### 4.4.3 Protocolo de determinação da MFEL

Para identificação da MFEL, após o teste de  $VO_{2m\acute{a}x}$  foram realizados de 2 a 5 exerc\u00edcios subm\u00e1ximos de intensidade constante com dura\u00e7\u00e3o de 30 minutos a uma cad\u00eancia de 60rpm em cicloerg\u00f4metro, em dias diferentes. A MFEL foi considerada como a mais alta concentra\u00e7\u00e3o sang\u00fc\u00ednea de lactato e intensidade de exerc\u00edcio na qual a lactatemia n\u00e3o apresentou aumento superior a 1mM durante os vinte minutos finais do exerc\u00edcio subm\u00e1ximo constante (HECK *et al.*, 1985; BENEKE, 2003; BILLAT *et al.*, 2003; DENADAI *et al.*, 2004).

A intensidade do primeiro teste foi aquela correspondente a 3,5 mmol (volunt\u00e1rios do estudo de DE BARROS, 2007) ou IAT (volunt\u00e1rios do estudo de MENDES, 2009). Se durante este, um estado est\u00e1vel ou uma diminui\u00e7\u00e3o da lactatemia fosse observada, a intensidade dos testes subseq\u00fcentes era aumentada at\u00e9 que o estado est\u00e1vel do lactato n\u00e3o pudesse mais ser observado. Caso a lactatemia durante a realiza\u00e7\u00e3o do primeiro teste n\u00e3o apresentasse um estado est\u00e1vel e/ou ocorresse a exaust\u00e3o do volunt\u00e1rio antes do t\u00e9rmino do teste, as intensidades subseq\u00fcentes eram diminu\u00eddas. A precis\u00e3o dos ajustes de intensidades foi de 15W ou 30 W. (FIG. 3)

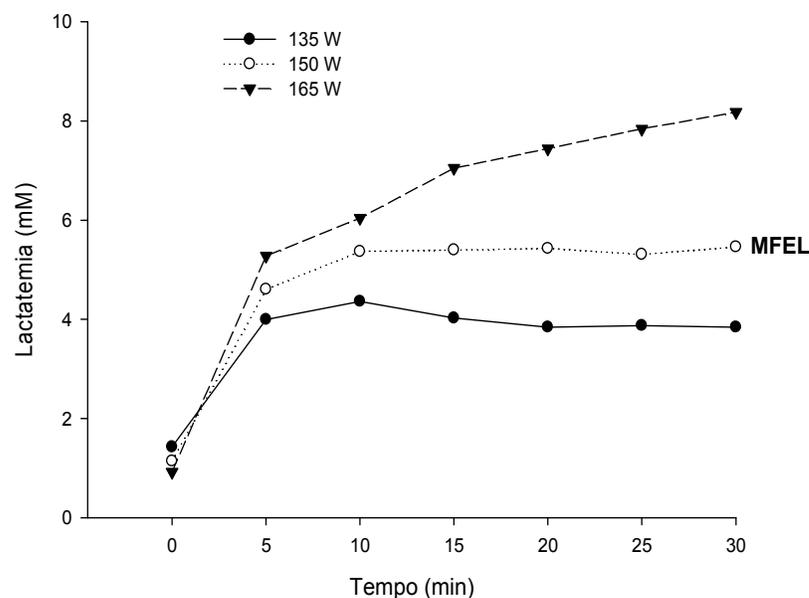


FIGURA 3 - Exemplo de determina\u00e7\u00e3o da m\u00e1xima fase est\u00e1vel do lactato de um indiv\u00edduo.

Foram coletadas amostras de 30µL de sangue do lobo da orelha antes do início do exercício e a cada cinco minutos para posterior determinação da concentração de lactato. A lactatemia na MFEL foi considerada como a média da mesma entre os minutos 10 e 30 do teste.

#### 4.4.4 Treinamento aeróbico

O protocolo de treinamento aeróbico utilizado no presente estudo foi adaptado de Philp *et al.* (2008) e consistiu de três sessões de exercício contínuo por semana, na intensidade da MFEL, durante seis semanas. O aumento da carga de treinamento se deu apenas pelo aumento do tempo de cada sessão de treinamento ao longo das seis semanas, sem alteração da intensidade absoluta de exercício (TABELA 2).

TABELA 2  
Descrição do programa de treinamento.

<b>Semana</b>	<b>Frequência (semanal)</b>	<b>Duração (min)</b>
1	3	24
2	3	27
3	3	30
4	3	33
5	3	36
6	3	39

Para garantir a resposta do treinamento aeróbico, isto é, o aumento do  $VO_{2MAX}$  e da intensidade de exercício associada à MFEL ( $W_{MFEL}$ ), foi utilizado

uma duração total dos estímulos de treinamento maior do que aquela utilizado por Philp *et al.* (2008) (567 vs. 456 min; respectivamente).

Todas as sessões de treinamento foram realizadas no mesmo cicloergômetro utilizado nos demais testes e presente no próprio laboratório. Durante todas as sessões a intensidade do exercício, FC, PSE e condições ambientais foram registradas.

Todos os participantes do G2 foram instruídos a realizar o treinamento em dias alternados. Entretanto, foi permitido realizar duas sessões de treinamento em dias consecutivos. Na eventualidade de falta ao treinamento, aquela sessão foi reposta no próximo dia de visita ao laboratório, sendo que nenhum voluntário realizou menos de duas sessões de treinamento em uma mesma semana.

#### 4.5 Variáveis analisadas

1. Intensidade de exercício: A intensidade de exercício correspondente à potencia desenvolvida no cicloergômetro em todos os testes realizados.

2. Lactatemia: Foram coletadas amostras de sangue (30 µL) do lobo da orelha com a utilização de capilares heparinizados nos testes para determinação da MFEL, imediatamente armazenadas em tubos Ependorff contendo 60 µL de NaF (1%) e mantidas em uma caixa térmica com gelo até o final do exercício. Logo após, as mesmas foram congeladas a uma temperatura de aproximadamente -20°C.

As concentrações sanguíneas de lactato foram determinadas pelo método eletroenzimático (YSL 2300 STAT, Yellow Springs, OH, USA – DE BARROS, 2007 – ou YSL 1500 SPORT, Yellow Springs, OH, USA – MENDES, 2009).

3. Variáveis respiratórias: Foi utilizado um espirômetro (BIOPAC® Systems, Inc. – DE BARROS, 2007 – ou K4b<sup>2</sup>; Cosmed® - MENDES, 2009) previamente calibrado durante todos os testes. O  $VO_{2max}$  foi medido continuamente em todos os testes. Durante o teste até a fadiga, foram registrados os momentos que ocorreram à ingestão de água (ingestão *ad libitum*), os quais foram descartados da análise. Além disso, os voluntários não realizaram ingestão de

água durante os momentos de coleta das variáveis sanguíneas. Todos os dados foram analisados em intervalos de 30s.

#### 4.6 Análise estatística

Parte 1: Elaboração de uma equação de regressão linear:

Para testar a associação entre os dados de  $W_{\text{máx}}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  de G1 e criar a equação de regressão linear foi utilizada uma correlação de Pearson. A partir desta foi criada uma equação de regressão linear ( $W_{\text{est}} = 0,622 \times W_{\text{máx}} + 13,85$ ). Essa equação foi utilizada para estimar a intensidade relativa à MFEL do grupo G2.

Parte 2: Validação da equação de regressão linear:

Para verificar a associação dos valores  $W_{\text{est}}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  no grupo G2 também foi utilizada a correlação de Pearson. Para comparação entre os valores de W medidos e estimados do grupo G2 foi realizado um Teste t de Student pareado.

Parte 3: Validação da equação de regressão linear pós-treinamento:

O mesmo procedimento foi realizado após o período de treinamento de G2. Para verificar a associação dos valores  $W_{\text{est}}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  após o treinamento no grupo G2 foi utilizada a correlação de Pearson. Para comparação entre os valores de W medidos e estimados pós-treinamento foi realizado um Teste t de Student pareado.

O nível de significância adotado foi de  $p=0,05$ . Todos os dados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Elaboração de uma equação de regressão linear

Os valores de  $W_{\max}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  encontradas para os grupos G1 e G2 estão expressos na tabela 3. Não foram verificadas diferenças na  $W_{\max}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  entre os dois grupos.

TABELA 3

$W_{\max}$  e  $W_{\text{MFEL}}$  (watts) dos grupos G1e G2 antes do período de treinamento

	$W_{\max}$	$W_{\text{MFEL}}$
G1	$243,6 \pm 33,2$	$166,2 \pm 32,1$
G2	$222,5 \pm 27,9$	$147,7 \pm 28,6$

Foi encontrada uma alta correlação entre as duas variáveis encontradas no G1, com um  $r = 0,95$  ( $p < 0,001$ ) (Fig. 4).

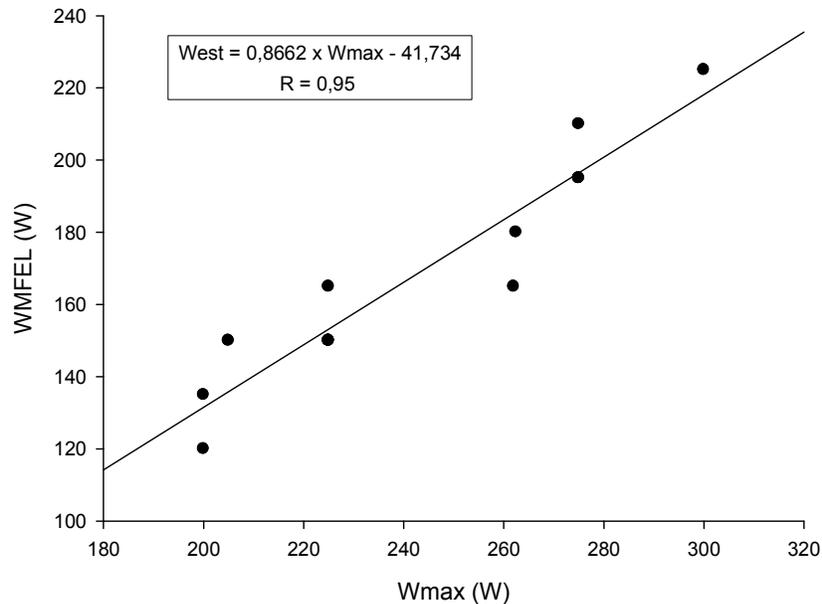


FIGURA 4 - Correlação entre a potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{\max}$ ) e a potência relativa à MFEL ( $W_{\text{MFEL}}$ ).

A partir dessa correlação foi criada uma equação de regressão linear ( $W_{est} = 0,8662 \times W_{max} - 41,734$ ) que foi utilizada para estimar a potência relativa à MFEL no G2 para verificar a validade da mesma em um outro grupo.

## 5.2 Validação da equação de regressão linear

Não foi encontrada diferença entre os valores de  $W_{MFEL}$  e  $W_{est}$  encontradas no G2 ( $150 \pm 27$  W e  $148 \pm 27$  W, respectivamente,  $p=0,69$ ). Além disso, foi encontrada uma correlação significativa entre esses valores ( $r = 0,81$ ;  $p < 0,01$ ).

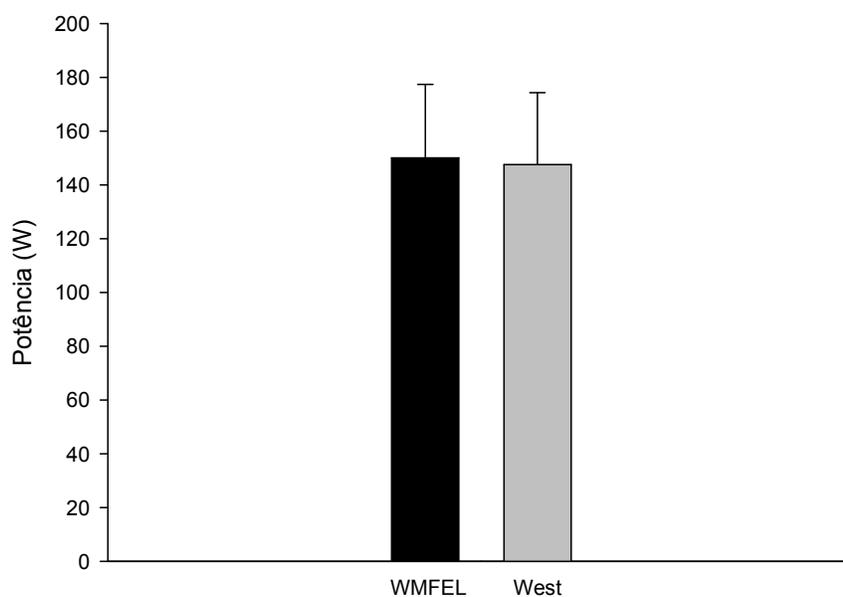


FIGURA 5: Potência relativa à MFEL medida ( $W_{MFEL}$ ) e Potência relativa à MFEL estimada a partir da equação de regressão linear proposta ( $W_{est}$ ) para o grupo G2.

## 5.3 Validação da equação de regressão linear após um período de treinamento

O período de treinamento foi capaz de gerar adaptações que melhorassem o desempenho dos indivíduos. Este fato pode ser verificado pelos resultados de  $W_{max}$  pré e pós-treinamento, mostrados na tabela 4. A  $W_{max}$

e a  $W_{MFEL}$  foram maiores após o período de treinamento comparadas aos valores pré-treinamento de G2 ( $p < 0,05$ ).

TABELA 4

$W_{max}$  e  $W_{MFEL}$  (Watts) antes e após o período de treinamento do grupo G2.

	Pré	Pós
$W_{max}$	219 ± 29	252 ± 28*
$W_{MFEL}$	150 ± 27	171 ± 26*

\* Diferente de Pré ( $p < 0,05$ )

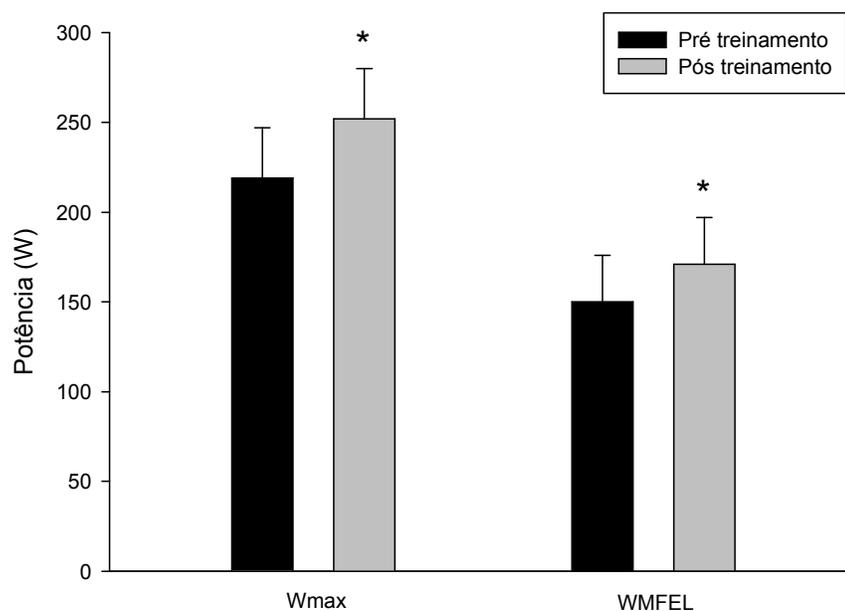


FIGURA 6 - Potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{max}$ ) e potência relativa a MFEL ( $W_{MFEL}$ ) pré e pós treinamento. \* Diferente de pré-treinamento.

Quando a  $W$  foi estimada após o período de treinamento para este grupo utilizando a equação proposta na primeira parte do estudo, não foi encontrada diferença entre o valor medido e estimado ( $171 \pm 26$  W e  $177 \pm 24$  W, respectivamente). Além disso, foi encontrada uma alta correlação entre eles ( $r = 0,79$ ;  $p < 0,01$ ).

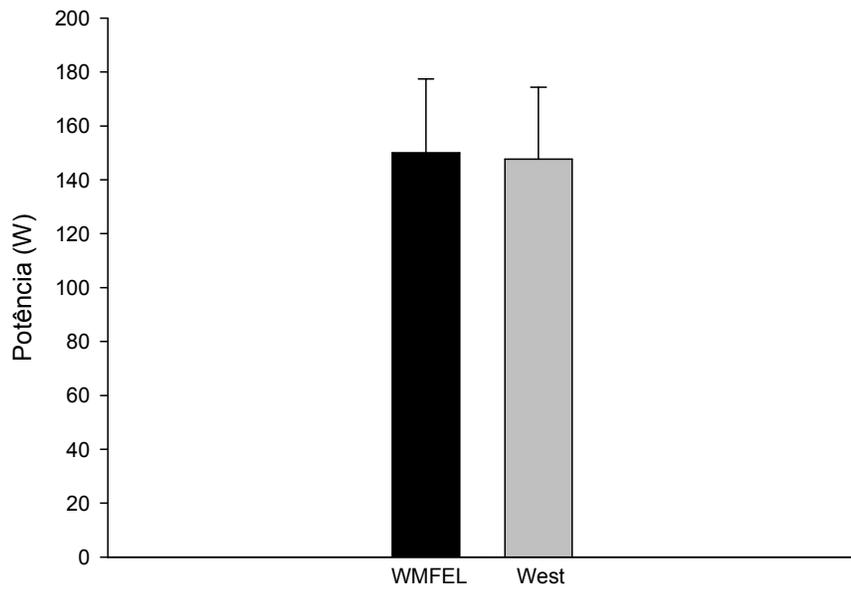


FIGURA 7- Potência relativa à MFEL medida ( $W_{MFEL}$ ) e Potência relativa à MFEL estimada a partir da equação de regressão linear proposta ( $W_{est}$ ) após o período de treinamento para o grupo G2.

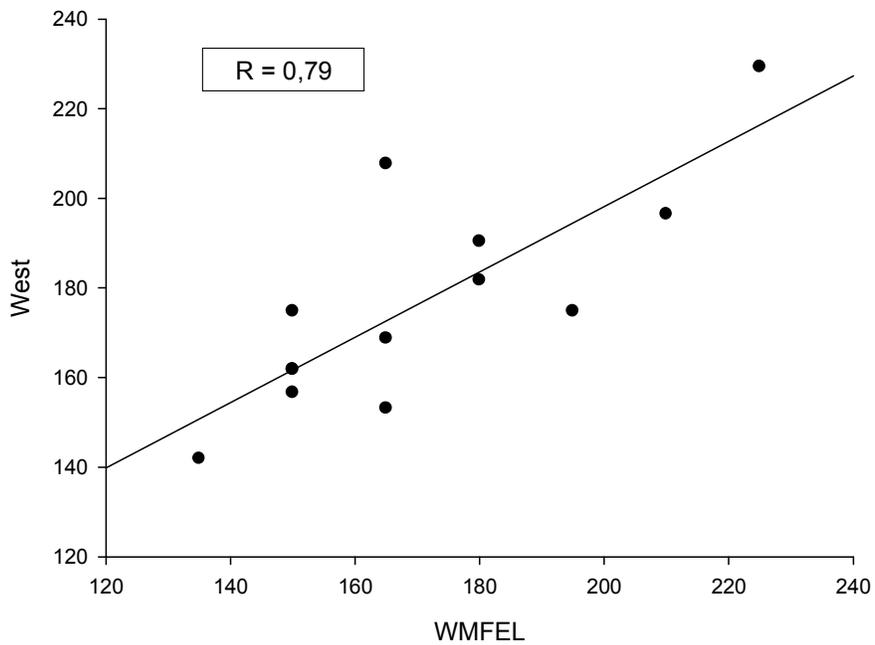


FIGURA 8 - Correlação entre a potência máxima alcançada no teste progressivo ( $W_{max}$ ) e a potência relativa à MFEL ( $W_{MFEL}$ ) após o período de treinamento.

## 6 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo mostraram que a equação proposta é válida no intuito de estimar a intensidade relativa à MFEL antes e após um período de treinamento.

A MFEL é o método considerado padrão ouro na determinação do LL (BENEKE, 2003; SOTERO, 2009). Porém, apesar da confiabilidade de seus resultados, é um método dispendioso e caro, sendo, portanto inacessível à grande maioria dos atletas e praticantes de esporte. Para facilitar sua medida, muitos autores sugeriram diferentes métodos de estimativa da MFEL para os quais fossem necessários apenas um dia de testes, como o OBLA, IAT, Lac Min e o limiar ventilatório (STEGMANN *et al.*, 1981; HECK *et al.*, 1985; SOTERO *et al.*, 2009; AMANN *et al.*, 2004).

Apesar de mais práticos, esses protocolos ainda são de difícil acesso, uma vez que requerem equipamentos caros (espirômetro ou lactímetro) e pessoal especializado no manuseio dos mesmos ou para colheita de sangue.

Um método alternativo é a utilização da velocidade alcançada por indivíduos em distâncias conhecidas como estimativa da MFEL. Porém, este protocolo pode requerer mais de um dia de testes, como o proposto por Swensen *et al.*, 1999. Ou ainda, quando estes não são necessários (HARNISH *et al.*, 2000), uma distância relativamente longa (40km de ciclismo) pode limitar à indivíduos treinados. Pessoas treinadas ou fisicamente ativas podem não conseguir concluir o teste.

Outra forma não invasiva e com baixo custo financeiro de prever a intensidade relativa à MFEL é a utilização de equações de regressão linear. Estas partem de uma variável conhecida e de constantes encontradas a partir de uma reta de regressão para determinar o valor desconhecido da  $W_{MFEL}$  (a  $W_{est}$ ).

Sotero *et al.* (2009) realizaram um estudo muito parecido com o presente, porém com a modalidade esportiva corrida. Partindo de dados da literatura de que a velocidade de corrida em 1600 metros tem alta correlação com o desempenho de provas de longa distância, assim como a medida do Lac Min, os indivíduos realizaram esses dois testes. Foi criada uma equação de regressão linear a partir da correlação entre a velocidade de corrida

correspondente ao Lac Min e a velocidade média dos indivíduos no teste de 1600 metros. Esta foi utilizada para estimativa do Lac Min de um segundo grupo utilizando os resultados do teste de 1600 metros. Os autores não encontraram diferença entre os valores de velocidade correspondente ao Lac Min medidos e estimados e à MFEL. A equação mostrou-se capaz de estimar a variável pretendida.

Apesar de comparar os resultados obtidos com a estimativa do LacMin com os resultados da MFEL e não ter encontrado diferença entre eles, Sotero *et al.* criaram a equação de regressão a partir de uma forma de estimativa da MFEL, o que pode diminuir a confiabilidade do resultado.

O presente estudo mostrou ser mais preciso, uma vez que encontramos alta correlação e não foi verificada diferença entre a  $W_{MFEL}$  e a  $W_{est}$  a partir da equação elaborada diretamente com os valores de  $W_{MFEL}$ .

Assim como Sotero *et al.* (2009), outros estudos encontrados com o mesmo objetivo de estimar a intensidade relativa à MFEL utilizando uma equação de regressão linear utilizaram um método de estimativa da MFEL para criar a equação – OBLA ou Lac Min - (MATSUNAMI *et al.*, 1999; ALMEIDA *et al.*, 2010), e não testaram esses resultados à medida direta da MFEL, o que pode torná-las menos fidedigna. Além disso, esses estudos foram realizados com modalidades esportivas diferentes (natação e corrida), o que impede a replicação das respectivas fórmulas no ciclismo.

O único encontrado que, assim como o presente estudo, propôs uma equação de regressão linear a partir da realização do protocolo da MFEL no ciclismo, foi o de Schuylenbergh *et al.* (2004). Porém, o ergômetro utilizado foi diferente, e esses autores não testaram a validade da equação.

O LL é um importante determinante do desempenho em uma modalidade esportiva, uma vez que garante ao indivíduo manter altas intensidades de exercício durante um período de tempo (MIDGLEY *et al.*, 2007). O treinamento aeróbico gera adaptações como o aumento do tamanho e do número das mitocôndrias, o aumento do  $DC_{max}$ , e o aumento da  $FC_{max}$ , que contribuem para o aumento do desempenho aeróbico (SHEPHARD *et al.* 1992; SUTER *et al.* 1995). Com o treinamento aeróbico realizado próximo ou na intensidade correspondente à MFEL, autores mostraram haver um aumento

na  $W_{MFEL}$ , podendo ser acompanhado ou não de uma mudança no valor da lactatemia nessa nova intensidade (CARTER *et al.* 1999; PHILP *et al.* 2008).

Corroborando esses dados, no presente estudo o período de treinamento aeróbico foi capaz de aumentar a  $W_{MFEL}$  em relação à medida realizada pré-treinamento, evidenciando adaptações decorrentes do treinamento.

Dos trabalhos encontrados, este foi o primeiro a avaliar a validade e de uma equação de regressão linear para predição da  $W_{MFEL}$  antes e após um período de treinamento aeróbico.

Mesmo com o aumento da  $W_{MFEL}$ , não foi encontrada diferença entre os valores de intensidade medidos e estimados após o período de treinamento ( $W_{MFEL} = 171 \pm 26$  W e  $W_{est} = 177 \pm 24$  W), além de ter sido observada alta correlação ( $r = 0,79$ ) entre esses dados.

Este resultado mostra, além da validade, uma maior reprodutibilidade desta equação, uma vez que pode ser usada tanto para indivíduos sedentários, como para indivíduos fisicamente ativos.

## 7 CONCLUSÃO

A equação de regressão linear proposta foi capaz de estimar a intensidade relativa à MFEL em cicloergômetro em indivíduos sedentários antes e após um período de treinamento aeróbico. Dessa forma, é possível estimar a MFEL e o  $VO_{2max}$  com a realização de apenas um teste.

## REFERÊNCIAS

ACSM - AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **Manual para teste de esforço e prescrição de exercício**. 4. ed. Rio de Janeiro: Revinter, 1996.

ALMEIDA, J. A. *et al.* Validade de equações de predição em estimar o VO<sub>2</sub>max de brasileiros jovens a partir do desempenho em corrida de 1.600m. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 16, n. 1, 2010.

AMANN, M.; SUBUDHI, A. W.; FOSTER, C. Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, n. 16, p. 27-34, 2004.

ANDERSEN, P.; HENRIKSSON, J. Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibers. **Acta Physiologica Scandinava**, n. 99, p. 123-125, 1977.

ATKINSON, G. *et al.* Science and cycling: current knowledge and future directions for research. **Journal of Sports Science**, v. 9, n. 21, p. 767-787, 2003.

BALKE, B., WARE, R. W. An experimental study of physical fitness of air force personnel. **United States Armed Forces Medical Journal**, v. 6, n. 10, p. 675-688, 1959.

BANGSBO, J. *et al.* Dissociation between lactate and proton exchange in muscle during intense exercise in man. **The Journal of physiology**, v. 2, n. 504, p. 489-99, 1997.

BENEKE, R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 1, p. 95-99, 2003.

BENEKE, R. *et al.* Predicting maximal lactate steady state in children and adults. **Pediatric Exercise Science**, v. 4, n. 21, p. 493-505, 2009.

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

BERGMAN, B. C. *et al.* Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. **Journal of Applied Physiology**, n. 87, v. 5, p. 1684-1696, 1999.

BILLAT, V. L. *et al.* The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Medicine**, v. 33, n. 6, p. 407-426, 2003.

BROOKS, G. A. Lactate: link between glycolytic and oxidative metabolism. **Sports Medicine**, v. 4, n. 37, p. 341-343, 2007.

CARTER, H.; JONES, A. M.; DOUST, J. H. Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. **Journal of Sports Sciences**, n. 17, p. 957-967, 1999.

COFFEY, V. G.; HAWLEY, J. A. The molecular bases of training adaptation. **Sports Medicine**, v. 37, n. 9, p. 737-763, 2007.

COGGAN, A. R. *et al.* Endurance training decreases plasma glucose turnover and oxidation during moderate intensity exercise in men. **Journal of Applied Physiology**, n. 68, p. 990-996, 1990.

COSTILL, D. L.; THOMASON, H.; ROBERTS, E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, n. 5, p. 248-252, 1973.

DE BARROS, C. L. M. **Influência do calor sobre a máxima fase estável do lactato, concentração fixa de 4mm e limiar anaeróbio individual.** 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

DENADAI, B. S. **Avaliação Aeróbia:** determinação indireta da resposta do lactato sanguíneo. Rio Claro: Motrix, 2000. 153p.

DUAN, C.; WINDER, W. W. Effect of endurance training on activators of glycolysis in muscle during exercise. **Journal of Applied Physiology**, n. 76, p. 846-852, 1994.

DUBOUCHAUD, H. *et al.* Endurance training, expression, and physiology of LDH, MCT1, and MCT4 in human skeletal muscle. **American journal of physiology**, n. 278, p. 571–579, 2000.

FEBBRAIO, M. A. *et al.* Effect of epinephrine on muscle glycogenolysis during exercise in trained men. **Journal of Applied Physiology**, n. 84, p. 465-470, 1998.

FERREIRA, J. C. B. *et al.* Maximal lactate steady state in running mice: effect of exercise training. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**, n. 34, p. 760–765, 2007.

GLADDEN, L. B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. **Journal of Physiology**, v. 1, n. 558, p. 5-30, 2004.

GLADDEN, L. B. Muscle as a consumer of lactate. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 4, n. 32, p. 764-771, 2000.

GOBATTO, C. A. *et al.* Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, v. 1, n. 130, p. 21-27, 2001.

GREEN, H. J. *et al.* Increases in human skeletal muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase concentration with short-term training. **American Journal of Physiology**, n. 264, p. 1538-1541, 1993.

GREEN, H.J. *et al.* Adaptations in muscle metabolism to prolonged voluntary exercise and training. **Journal of Applied Physiology**, n. 78, p. 138-145, 1995.

GREIWE, J. S. *et al.* Effects of endurance exercise training on muscle glycogen accumulation in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 1, n. 87, p. 222-226, 1999.

HARNISH, C. R.; SWENSEN, T. C.; PATE, R. R. Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 6, n. 33, p. 1052-1055, 2001.

HAWLEY, J. A.; NOAKES, T. D. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. **European Journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 1, n. 65, p. 79-83, 1992.

HECK, H. *et al.* Justification of the 4-mmol/L lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 61, p. 219-224, 1985.

HOLLOSZY, J. O.; COYLE, E. F. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. **Journal of Applied Physiology**, n. 56, p. 831-838, 1984.

HURLEY, B. F.; NEMETH, P. M.; MARTIN, W. H. Muscle triglyceride utilisation during exercise: effect of training. **Journal of Applied Physiology**, n. 60, p. 562-567, 1986.

INGJER, F. Effects of endurance training on muscle fibre ATPase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. **Journal of Physiology**, n. 294, p. 419-432, 1979.

IVY, J. L. *et al.* Muscle respiratory capacity and fibre type as determinants of the lactate threshold. **Journal of Applied Physiology**, n. 48, p. 523-527, 1980.

JACKSON, A. S; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **The British Journal of Nutrition**, v. 40, p. 497-504, 1978.

JONES, A. M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Medicine**, v. 6, n. 29, p. 373-386, 2000.

KIENS, B. *et al.* Skeletal muscle substrate utilization during sub-maximal exercise in man: effect of endurance training. **Journal of Physiology**, n. 469, p. 459-478, 1993.

KOVRT, W. M.; O'CONNOR, J. S.; SKINNER, J. S. Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 5, n. 21, p. 569-575, 1989.

MARTIN, W. H. *et al.* Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. **American Journal of Physiology**, n. 265, p. 708-714, 1993.

McARDLE, W. W.; KATCH, R. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 5. ed. Guanabara Koogan, 2003.

McARDLE, W. W.; KATCH, R. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 6. ed. Guanabara Koogan, 2007.

McCLELLAND, G. B. *et al.* Peroxisomal membrane monocarboxylate transporters: evidence for a redox shuttle system? **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 1, n. 304, p.130-135, 2003.

McCONNELL, A. K.; SHARPE, G. R. The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. **European Journal of Applied Physiology**, v. 94, n. 3, p. 277-284, 2005.

McCULLAGH, K. J. A. *et al.* Role of the lactate transporter (MCT1) in skeletal muscles. **American Journal of Physiology**, v. 34, n. 271, p.143-150, 1996.

MENDENHALL, L. A. *et al.* Ten days of exercise training reduces glucose production and utilization during moderate intensity exercise. **American Journal of Physiology**, n. 266, p.136-143, 1994.

MENDES, T. T. **Efeitos do treinamento aeróbico na máxima fase estável de lactato e no tempo de exercício até a fadiga**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MESSONNIER, L. *et al.* Effects of training on lactate kinetics parameters and their influence on short high-intensity exercise performance. **International Journal of Sports Medicine**, n. 27, p. 60-66, 2006.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; JONES, A. M. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? **Sports Medicine**, v. 10, n. 37, p. 857-880, 2007.

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

PHILP, A. *et al.* Maximal lactate steady state as a training stimulus. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, p. 1-5, 2008.

PHILP, A.; MACDONALD, A. L.; WATT, P. W. Lactate – a signal coordinating cell and systemic function. **The Journal of Experimental Biology**, n. 208, p. 4561-4575, 2005.

PILEGAARD, H. *et al.* Lactate transport studied in sarcolemmal giant vesicles from human muscle biopsies: relation to training status. **Journal of Applied Physiology**, n. 77, p.1858-1862, 1993.

RAMOS, G. P. **Influência de seis semanas de treinamento aeróbico na estimativa da máxima fase estável do lactato através dos métodos OBLA<sub>3,5mm</sub> e IAT.** 2009. Monografia (Modalidade bacharelado) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ROBERGS, R. A.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **American Journal Of Physiology Regulatory Integrative And Comparative Physiology**, n. 287, p. 502-516, 2004.

SCHANTZ, P. G.; SJOBERG, B.; SVEDENHAG, J. Malate-aspartate and alphaglycerophosphate shuttle enzyme levels in human skeletal muscle: methodological considerations and effect of endurance training. **Acta Physiologica Scandinava**, n. 128, p. 397-407, 1986.

SHEPHARD, R. J. Exercise physiology and performance of sport. **Sports Sciences**, n. 1, p. 1-12, 1992.

VAN, Schuylenbergh R.; VANDEN, Eynde B.; HESPEL, P. Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 25, p. 403-408, 2004.

SOTERO, R. D. *et al.* Indirect assessment of lactate minimum and maximal blood lactate steady state intensity for physically active individuals. **Journal of strength and conditioning research**, v. 3, n. 23, p. 844-853, 2009.

SPINA, R. J. Cardiovascular adaptations to endurance exercise training in older men and women. **Exercise Sport Science**, n. 27, p. 317-332, 1999.

STEGMANN, H.; KINDERMANN, W.; SCHNABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 3, p.160-165, 1981.

SUTER, E. *et al.* Ultrastructural modification of human skeletal muscle tissue with 6-month moderate intensity exercise training. **International Journal of Sports Medicine**, n. 16, p. 160-166, 1995.

SVEDAHL, K.; MACINTOSH, B. R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 28, n. 2, p. 299-323, 2003.

SWENSEN, T. C. *et al.* Noninvasive estimation of the maximal lactate steady state in trained cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 5, p. 742-746, 1999.

TEGTBUR, U.; BUSSE, M. W.; BRAUMANN, K. M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 25, p. 620-627, 1993.

WALSH, M. L.; BANISTER, E. W. Possible mechanisms of the anaerobic threshold. **Sports Medicine**, v. 5, n. 5, p. 269-302, 1988.

WASSERMAN, K.; McILORY, M. B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **American Journal of Cardiology**, v. 14, p. 844-852, 1964.

WESTON, A. R. *et al.* African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. **Journal of Applied Physiology**, v. 3, n. 86, p. 915-923, 1999.

## **ANEXOS**

### **ANEXO I**

#### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

**(DE ACORDO COM O ITEM IV DA RESOLUÇÃO 196/96 DO CNS)**

#### **TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA**

EFEITO DE SEIS SEMANAS DE TREINAMENTO NO DESEMPENHO, LACTATEMIA E UTILIZAÇÃO DE SUBSTRATOS METABÓLICOS NA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DO LACTATO

#### **OBJETIVO**

O presente estudo tem como objetivo verificar a influência do treinamento na intensidade, lactatemia, consumo de oxigênio, frequência cardíaca, percepção subjetiva de esforço, contribuição das fontes energéticas, percentual da potência máxima e do consumo máximo de oxigênio e tempo até a fadiga na máxima fase estável do lactato. Um objetivo secundário será verificar a validade e sensibilidade de dois métodos para estimar a MFEL antes e após o período de treinamento.

#### **PROCEDIMENTOS**

Primeiramente você responderá a um questionário médico para saber se você está apto a participar do estudo. Em seguida você se submeterá a uma avaliação física que tem o propósito de determinar suas características físicas. Os resultados de ambas avaliações serão entregues no final da pesquisa.

Você irá realizar um exercício progressivo, três a cinco exercícios submáximos e um exercício até a fadiga antes e após um período de seis semanas de treinamento. No exercício progressivo, você deverá pedalar em um cicloergômetro até a fadiga. O exercício iniciará com uma intensidade de 60W que será aumentada em 15W a cada 3 minutos até a você atingir um ou mais dos critérios de fadiga. Os testes constantes submáximos terão duração de trinta minutos. O teste até a fadiga será realizado na intensidade da MFEL. Os testes terão intervalo mínimo de 72 horas.

Os seguintes critérios serão considerados para a interrupção do exercício: Você solicitar o término do exercício;

- Você der nota igual a 20 na escala de Percepção Subjetiva do Esforço;

- A frequência cardíaca não se elevar mesmo aumentando a potência (Teste Progressivo);
- Os pesquisadores notarem a presença de sintomas como tontura, confusão, falta de coordenação dos movimentos, palidez, cianose, náusea, pele fria e úmida.

O treinamento será realizado três vezes por semana, com duração aproximada de 30-40 minutos. Em todas estas situações, um pesquisador estará presente monitorando todas as atividades realizadas.

Amostras de sangue de 25µL serão coletadas do lobo da orelha durante os 15 segundos finais de cada estágio dos testes progressivos e a cada 5 minutos nos testes submáximos, além do repouso em ambos os testes. Este procedimento utiliza-se de lancetas descartáveis e pode trazer algum desconforto, mas é bem tolerado por todos.

Durante todos os testes serão avaliados: concentração sangüínea de lactato e glicose, percepção subjetiva do esforço, frequência cardíaca e o volume e a densidade da urina e consumo de oxigênio.

No exercício até a fadiga na intensidade da MFEL, será realizada também uma punção venosa para coleta de sangue. Durante o período preparatório ao exercício, um pesquisador, previamente treinado em técnicas de punctura de veias periféricas, escolherá a veia mais proeminente da região interior do cotovelo, onde inserirá um cateter intravenoso. O cateter permanecerá afixado nesta região até o final do exercício. As colheitas de sangue serão realizadas ao longo das situações experimentais: em repouso (pré-exercício) e a cada 10 minutos durante o exercício. As seguintes variáveis serão medidas por técnicas específicas de dosagem sanguínea: glicemia, lactatemia, variação percentual do volume plasmático e variáveis relacionadas ao equilíbrio ácido-base.

## **CONFIDENCIALIDADE DOS DADOS**

Todos os seus dados são confidenciais, sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso a estas informações que serão utilizadas para fins de pesquisa.

## **BENEFÍCIOS**

Obter informações sobre o efeito de seis semanas de treinamento na máxima fase estável do lactato sangüíneo e em seu desempenho.

## **RISCOS**

Você poderá apresentar dores musculares, tardias ou não, e sensação de cansaço, que devem desaparecer entre 2 e 5 dias. Hematomas também podem aparecer no local da colheita de sangue, regredindo no máximo após uma semana. Riscos gerais que envolvem a prática de atividades físicas devem ser considerados, como lesões músculo-esqueléticas, traumatismo em geral e ataques cardíacos. Entretanto, você realizará uma atividade física em condições laboratoriais, estritamente controladas, com procedimentos cautelosos e tecnicamente bem executados.

## **EVENTUAIS DESPESAS MÉDICAS**

Não está prevista qualquer forma de remuneração ou pagamento de eventuais despesas médicas para os voluntários. Todas as despesas especificamente relacionadas com o estudo são de responsabilidade do Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

Você dispõe de total liberdade para esclarecer questões que possam surgir durante o andamento da pesquisa. Qualquer dúvida, por favor, entre em contato com os pesquisadores responsáveis pelo estudo: Emerson Silami Garcia (orientador), tel. 3409-2350 e Thiago Teixeira Mendes, tels. 3334-3575 / 9113-4939 / 8482-3962.

Você poderá recusar-se a participar deste estudo e/ou abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar se justificar. Você também deve compreender que os pesquisadores podem decidir sobre a sua exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais você será devidamente informado.

## **CONSENTIMENTO**

Concordo com tudo o que foi exposto acima e, voluntariamente, aceito participar deste estudo do Laboratório de Fisiologia do Exercício da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais. Tenho consciência que a qualquer momento posso deixar de participar deste estudo sem dar nenhuma justificativa aos pesquisadores ou qualquer pessoa envolvida. Os resultados desta pesquisa serão utilizados apenas para fins de pesquisa.

Belo Horizonte, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2008.

Assinatura \_\_\_\_\_ do \_\_\_\_\_ voluntário:

Assinatura \_\_\_\_\_ da \_\_\_\_\_ testemunha:

Declaro que expliquei os objetivos deste estudo para o voluntário, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

\_\_\_\_\_  
Thiago Teixeira Mendes  
Mestrando / Pesquisador

\_\_\_\_\_  
Dr. Emerson Silami Garcia  
Prof. Titular da EEEFTO – UFMG

**Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais e pelo Colegiado de Pós-Graduação em Ciências do Esporte M/D da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.** Qualquer consideração ou reclamação, entre em contato com o COEP/ UFMG: Av. Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005. Campus Pampulha. Belo Horizonte – MG CEP 31270-901. Tel: 34094592. E-mail: [coep@prpq.ufmg.br](mailto:coep@prpq.ufmg.br).

## ANEXO II

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (DE ACORDO COM O ITEM IV DA RESOLUÇÃO 196/96 DO CNS)

#### TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA

Influência do calor na máxima fase estável do lactato

#### OBJETIVO

O objetivo do presente estudo será comparar a intensidade da máxima fase estável do lactato sanguíneo durante a realização de exercício em cicloergômetro, em ambientes quente e temperado, em indivíduos fisicamente ativos.

#### PROCEDIMENTOS

Primeiramente você realizará uma avaliação médica para saber se você está apto a participar do estudo. Em seguida você se submeterá a uma avaliação física que tem o propósito de determinar suas características físicas. Os resultados de ambas avaliações serão entregues no final da pesquisa.

Após a avaliação física você será submetido a duas situações experimentais dentro de uma câmara ambiental; uma em ambiente temperado (temperatura seca de 22°C) e outra em ambiente quente (temperatura seca de 40°C). Em ambas situações a umidade relativa do ar será de 50%. A ordem das situações será randomizada.

Você irá realizar um exercício progressivo máximo e três a cinco exercícios submáximos com trinta minutos de duração, em cada situação. Os testes terão intervalo mínimo de 7 dias.

Os seguintes critérios serão considerados para a interrupção do exercício:

- Você solicitar o término do exercício;
- Você der nota igual a 20 na escala de Percepção Subjetiva do Esforço;
- A frequência cardíaca não se elevar mesmo aumentando a potência (Teste Progressivo);
- Os pesquisadores notarem a presença de sintomas como tontura, confusão, falta de coordenação dos movimentos, palidez, cianose, náusea, pele fria e úmida.

Amostras de sangue de 25µL serão coletadas da polpa digital do dedo indicador durante os 15 segundos finais de cada estágio dos testes progressivos e a cada 5 minutos nos testes submáximos, além do repouso em ambos testes. Este

procedimento utiliza-se de lancetas descartáveis e pode trazer algum desconforto, mas é bem tolerado por todos.

A temperatura retal será medida por meio de uma sonda retal descartável inserida cerca de 10 cm além do esfíncter anal. As sondas são hastes extremamente flexíveis fabricadas exclusivamente para a medição da temperatura interna em humanos. A sonda é fornecida ao voluntário em embalagem estéril e lacrada. O próprio voluntário se encarrega de posicioná-la, não havendo interferência direta dos pesquisadores.

Você será instruído a urinar antes e após o exercício em um béquer esterilizado.

As coletas se iniciarão às 8:00 horas da manhã. Durante as duas situações experimentais serão avaliados: concentração sangüínea de lactato e glicose, temperatura interna, percepção subjetiva do esforço, frequência cardíaca e o volume e a densidade da urina e consumo de oxigênio.

## **CONFIDENCIALIDADE DOS DADOS**

Todos os seus dados são confidenciais, sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso a estas informações que serão utilizadas para fins de pesquisa.

## **BENEFÍCIOS**

Obter informações sobre a influência do ambiente na intensidade da máxima fase estável do lactato sangüíneo.

## **RISCOS**

Os riscos deste estudo são relativamente pequenos e estão associados com a prática de exercícios físicos em um cicloergômetro estacionário, como por exemplo, o surgimento de lesões músculo-esqueléticas e com distúrbios ou incômodos causados pelo calor durante a prática do exercício no ambiente quente. Entretanto, durante todas as situações experimentais, caso seja necessário, você poderá contar com o serviço de pronto atendimento.

## **EVENTUAIS DESPESAS MÉDICAS**

Não está prevista qualquer forma de remuneração ou pagamento de eventuais despesas médicas para os voluntários. Todas as despesas especificamente relacionadas com o estudo são de responsabilidade do Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

Você dispõe de total liberdade para esclarecer questões que possam surgir durante o andamento da pesquisa. Qualquer dúvida, por favor, entre em contato com os pesquisadores responsáveis pelo estudo: Emerson Silami Garcia, tel. 3499-2350 e Cristiano Lino Monteiro de Barros, tels. 3498-8740 / 9239-2234.

Você poderá recusar-se a participar deste estudo e/ou abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar se justificar. Você também deve compreender que os pesquisadores podem decidir sobre a sua exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais você será devidamente informado.

## CONSENTIMENTO

Concordo com tudo o que foi exposto acima e, voluntariamente, aceito participar do estudo “*Influência do calor na máxima fase estável do lactato sangüíneo*”, que será realizado no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais. Os resultados desta pesquisa serão utilizados na elaboração de uma dissertação de mestrado e de dois trabalhos de iniciação científica.

Belo Horizonte \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2005

Assinatura do voluntário: \_\_\_\_\_

Assinatura da testemunha: \_\_\_\_\_

Declaro que expliquei os objetivos deste estudo para o voluntário, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

---

Cristiano Lino Monteiro de Barros

Mestrando / Pesquisador

**Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da UFMG.**

***Endereço do COEP***

Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 – Prédio da Reitoria - 7º andar – sala 7018 –  
Pampulha – 31270-901 - Belo Horizonte (MG)

Tel: (31) 3499-4592, Fax: (31) 3499-4027

[coep@prpq.ufmg.br](mailto:coep@prpq.ufmg.br)

## ANEXO III



***“Efeito de seis semanas de treinamento no desempenho”,  
lactatemia e utilização de substratos metabólicos na máxima  
fase estável do lactato”.***



Data: \_\_\_\_\_ Data de nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

### QUESTIONÁRIOS

#### **Instruções:**

- As respostas a estes questionários são confidenciais.
- Somente o médico responsável pela sua avaliação e os pesquisadores deste estudo terão acesso às suas respostas.

Você tem alguma queixa sobre seu estado de saúde atualmente?

(Caso positivo, descreva o que sente, há quanto tempo começou e o que tem feito para melhorar o problema.)

---



---



---



---

- 1) Quando foi seu último exame médico completo? Qual foi o motivo?
- 2) Você teve ou tem alguma doença ou ferimento desde seu último exame médico?
- 3) Já esteve internado em hospital? Qual foi o motivo?
- 4) Já fez alguma cirurgia? Qual e quando?
- 5) Está tomando regularmente algum medicamento ou pílula? Qual?
- 6) Alguma vez tomou algum tipo de suplemento alimentar ou vitaminas para ajudá-lo a ganhar ou perder peso?
- 7) Você tem períodos de alergia que necessitam de tratamento médico? (pólen, medicamentos, comida, insetos)
- 8) Já passou mal durante ou após exercitar-se?
- 9) Já desmaiou durante ou depois do exercício?
- 10) Já sentiu tontura durante ou após o exercício?
- 11) Alguma vez já teve dores no peito durante ou após o exercício?
- 12) Você se cansa mais rápido do que seus amigos durante o exercício?
- 13) Já teve palpitações, disparos do coração ou batimentos descontínuos?
- 14) Já mediu sua pressão arterial? Qual foi o resultado?
- 15) Já mediu o seu colesterol sanguíneo? Qual foi o resultado?
- 16) Você já mediu a sua glicose sanguínea? Qual foi o resultado?
- 17) Algum médico já disse que você tem um sopro no coração?
- 18) Algum membro de sua família ou parente morreu de problemas no coração ou teve morte súbita antes dos 50 anos? Quem?
- 19) Algum médico alguma vez proibiu ou limitou sua participação em esportes?
- 20) Você teve alguma infecção no último mês?
- 21) Já teve convulsão?
- 22) Você tem dores de cabeça freqüentes ou muito fortes?
- 23) Já teve dormência ou formigamento nos braços, mãos, pernas ou pés?
- 24) Você já usou ou usa bebida alcoólica? Qual freqüência?
- 25) Você fuma ou já fumou? Quantos cigarros por dia?
- 26) Você tosse, chia ou tem dificuldade para respirar durante ou após o exercício?
- 27) Você tem asma?

- 28) Já usou inalador (bombinha)?
- 29) Usa ou já usou equipamentos corretivos (joelheiras, colete de pescoço, calçados ortopédicos, protetores nos dentes, aparelho de surdez)?
- 30) Apresenta algum problema nos olhos ou na visão?
- 31) Seu peso está estável?
- 32) Você faz alguma dieta para controlar seu peso?
- 33) Alguma vez teve torção, distensão ou inchaço depois de um acidente esportivo?
- 34) Já fraturou algum osso ou luxou alguma articulação?
- 35) Já teve algum problema de dor ou inchaço nos músculos, tendões, ossos ou articulações? Se sim, descreva a região onde ocorreu.

Declaro que as respostas acima estão respondidas da forma mais completa e corretas.

---

Assinatura do voluntário

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Adaptado do consenso das Sociedades Norte-americanas de Pediatria, Medicina de Família, Medicina Desportiva, Ortopedia e Osteopatia Desportiva, 1997. In: The Physician and Sportsmedicine, McGraw-Hill Healthcare, 2<sup>nd</sup> edition, Minneapolis, New York, USA.