

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ASSOCIADO  
EM EDUCAÇÃO FÍSICA UEM/UEL

PAULO VICTOR MEZZAROBA

---

**EFEITO DA LED TERAPIA NO  
COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE  
OXIGÊNIO DURANTE TESTES DE  
CORRIDA COM CARGA  
INCREMENTAL E RETANGULAR**

---

Maringá  
2015

**PAULO VICTOR MEZZAROBA**

---

**EFEITO DA LED TERAPIA NO  
COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE  
OXIGÊNIO DURANTE TESTES DE  
CORRIDA COM CARGA  
INCREMENTAL E RETANGULAR**

---

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física UEM/UEL, para obtenção do título de Doutor em Educação Física.

**Orientadora: Profa. Dra. Fabiana Andrade Machado**

Maringá  
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

M617e Mezzaroba, Paulo Victor  
Efeito da led terapia no comportamento do consumo de oxigênio durante testes de corrida com carga incremental e retangular / Paulo Victor Mezzaroba. - Maringá, 2015. 107 f.; Il. Graf.

Orientadora: Profa. Dra. Fabiana Andrade Machado.

Tese ( Doutorado em Educação Física) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Educação Física, Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física UEM/UEL.

1. Fisiologia do exercício. 2. Desempenho atlético. 3. Metabolismo energético. 4. Metabolismo aerobio. 5. Recurso ergogênico. 6. Fototerapia.  
I. Machado, Fabiana Andrade ,orient.  
II. Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Educação Física, Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física UEM/UEL. III. Título.

21.ed. 612.044

PAULO VICTOR MEZZAROBA

**EFEITO DA LED TERAPIA NO  
COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE  
OXIGÊNIO DURANTE TESTES DE  
CORRIDA COM CARGA INCREMENTAL E  
RETANGULAR**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física – UEM/UEL, na área de concentração em Desempenho Humano e Atividade Física, para obtenção do título de Doutor(a).

APROVADA em 26 de junho de 2015.

  
Prof. Dr. Dalton Müller Pessoa Filho

  
Prof. Dr. Alessandro Moura Zagatto

  
Prof. Dr. Renato Barroso da Silva

  
Profa. Dra. Solange Marta Franzói de Moraes

  
Profa. Dra. Fabiana Andrade Machado  
(Orientadora)

# **Dedicatória**

---

---

Dedico esse trabalho a minha pequena e grande família pelo apoio incondicional

# **Agradecimentos**

---

---

Agradeço a Deus por fazer do meu caminho nem sempre o mais curto e fácil, mas o mais correto e iluminado possível.

A minha pequena e grande família, meu porto seguro, começando pela minha esposa Marina que me acompanhou desde os primeiros passos na vida acadêmica com carinho, muita paciência, apoio nos momentos de desespero e alegria nas comemorações. Meus pais, Gilmar e Mari, não somente por terem me dado a base de educação que toda criança merece, mas também por terem me apresentado à Educação Física com ótimos exemplos de atuação profissional e pessoal. A meu irmão Michel que por inúmeras vezes foi meu socorro técnico em computadores quebrados, e-mails perdidos e dados corrompidos.

A minha orientadora, Fabiana Andrade Machado, por ter apostado no desconhecido em 2009 e assim ter se tornado grande referência na minha vida profissional, obrigado por todos os momentos, por dividir os pesos dos problemas e compartilhar alegrias em uma parceria que vai além dos limites burocráticos do mestrado e doutorado.

Aos professores que prontamente auxiliaram na realização do estudo, com papéis especiais na concretização do trabalho final, entre eles, Fabio Nakamura, Solange Ramos, Dalton Müller e Solange Franzói.

Aos amigos e colegas de Maringá e Londrina, que auxiliaram nas coletas, na execução do estudo, e principalmente compartilharam desse tempo de muito aprendizado e desafios que foi o Doutorado.

Por fim, aos grandes merecedores de um “muito obrigado”, todos os sujeitos que entre todos os afazeres diários se dispuseram a participar do projeto e permitiram a execução deste estudo.

MEZZAROBA, Paulo Victor. **Efeito da LED terapia no comportamento do consumo de oxigênio durante testes de corrida com carga incremental e retangular**. 2015. 107f. Tese (Doutorado em Educação Física) – Centro de Ciências da Saúde. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

## RESUMO

---

---

A fototerapia é um recurso amplamente utilizado na área da saúde, com respostas relacionadas à regeneração tecidual, efeitos antiálgico e anti-inflamatório; no entanto, apenas recentemente tem chamado atenção pelo uso associado ao exercício físico com respostas promissoras na modificação de aspectos fisiológicos e metabólicos durante e após diferentes tipos de esforços. Apesar de diversas descrições dos efeitos da fototerapia em componentes do metabolismo aeróbio como: modificações em estrutura e função mitocondrial, atividade enzimática, remoção de metabólitos e microcirculação; não existe um grande aporte teórico sobre as respostas da fototerapia em exercícios físicos aeróbios em humanos. Uma das maneiras de descrever e explicar os possíveis mecanismos biológicos da fototerapia sobre esse metabolismo é por meio da análise de parâmetros respiratórios que podem indicar modificações centrais e periféricas causadas pelo exercício físico sem a necessidade de avaliações invasivas. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da LED terapia no comportamento do consumo de oxigênio durante testes de corrida com carga incremental e retangular. Foram avaliados 26 homens saudáveis, fisicamente ativos ( $27,8 \pm 1,7$  anos de idade,  $78,6 \pm 9,1$  kg,  $178,1 \pm 5,9$  cm e  $17,5 \pm 4,0$  % de gordura). Os participantes realizaram cinco visitas em laboratório para: avaliação antropométrica e familiarização ao teste e ergômetro utilizado (esteira rolante) (1ª visita), execução de dois testes máximos de carga incremental nas condições placebo (PLA) e LED terapia (LED) (2ª e 3ª visitas), e testes de carga retangular nas condições PLA e LED (4ª e 5ª visitas). As condições experimentais foram realizadas em ordem aleatória, com controle duplo cego e intervalo mínimo entre os testes de 48 horas em um período máximo de três semanas. Na condição LED foi aplicada a luz infravermelha em duas regiões do músculo quadríceps, duas regiões do bíceps femoral e uma região do gastrocnêmio, com diodos de LED com comprimento de onda de 850 nm e densidade de energia de  $3,7 \text{ J/cm}^2$ . O teste de carga incremental foi realizado com velocidade inicial de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , incrementos de  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a cada três minutos e inclinação constante de 1%, com controle da: frequência cardíaca (FC) para determinação da FC máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ) e submáxima ( $FC_{\text{sub}}$ ), trocas gasosas para determinação do limiar ventilatório (LV), consumo máximo e submáximo de oxigênio ( $VO_{2\text{máx}}$  e  $VO_{2\text{sub}}$ ), percepção subjetiva de esforço (PSE) e o comportamento do lactato sanguíneo pré e pós-teste. A intensidade do teste de carga retangular no domínio pesado de esforço foi determinada a partir dos parâmetros de LV e  $VO_{2\text{máx}}$  obtidos no teste incremental, os sujeitos tiveram a FC, PSE e  $VO_2$  controlados durante os seis minutos de teste, que foi destinado à determinação dos parâmetro de cinética do  $VO_2$ . Os dados foram apresentados em média  $\pm$  desvio padrão com normalidade verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, o teste *t* de Student pareado

e o teste de *Wilcoxon* foram utilizados para a comparação das condições PLA e LED, utilizando-se nível de significância de  $P < 0,05$ . Os principais resultados evidenciaram efeito significativo da LED terapia no  $VO_{2\text{máx}}$  (PLA =  $47,2 \pm 5,7$  e LED =  $48,0 \pm 5,4$  ml·kg·min<sup>-1</sup>), no  $VO_2$  referente ao LV (PLA =  $40,1 \pm 4,6$  e LED =  $41,3 \pm 4,3$  ml·kg·min<sup>-1</sup>),  $FC_{\text{máx}}$  (PLA =  $195 \pm 3,4$  e LED =  $193 \pm 3,9$  b·min<sup>-1</sup>), na remoção de lactato sanguíneo e parâmetros submáximos de  $VO_2$ , FC e PSE dos estágios intermediários do teste de carga incremental e do teste de carga retangular, além disso a condição LED reduziu a amplitude (PLA =  $311,8 \pm 120,8$  e LED =  $262,4 \pm 99,3$  ml·min<sup>-1</sup>) e contribuição relativa (PLA =  $11,8 \pm 4,1$  e LED =  $9,9 \pm 3,5$  %) do componente lento na cinética do  $VO_2$ . Com os resultados obtidos, conclui-se que a utilização da LED terapia modifica o comportamento do  $VO_2$ , além de alterar significativamente a  $FC_{\text{máx}}$  e  $FC_{\text{sub}}$ , parâmetros psicofisiológicos e a remoção de metabólitos, afetando diretamente a *performance* de corrida em testes de carga incremental e retangular. Sugerimos a utilização da LED terapia previamente ao exercício físico em sujeitos saudáveis e fisicamente ativos como estratégia de pré-ativação do metabolismo oxidativo e músculo alvo.

Palavras-Chave: Fototerapia; Metabolismo Aeróbio; Cinética do Consumo de Oxigênio.

MEZZARROBA, Paulo Victor. **Effect of LED therapy on the oxygen uptake behaviour during incremental and square wave intensities running tests**. 2015. 107f. Tese (Doutorado em Educação Física) – Centro de Ciências da Saúde. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

## ABSTRACT

---

---

Phototherapy is a widely used resource in the health field, with responses related to tissue regeneration, analgesic and anti-inflammatory effects; however, only recently has drawn attention for the associated use with physical exercise resulting physiological and metabolic modification during and after different types of effort. Despite extensive descriptions of the effects of phototherapy in aerobic metabolism components, such as: mitochondrial structure and function, enzymatic activity, metabolites removal and microcirculation, there is no great theoretical basis on the responses of phototherapy in aerobic exercise in humans. One way to describe and explain the possible biological mechanisms of phototherapy on this metabolism is through the analysis of respiratory parameters that may indicate central and peripheral changes caused by physical exercise without requiring invasive evaluations. Thus, the aim of this study was to investigate the effect of LED therapy in the oxygen uptake behavior during incremental and square-wave intensity running tests. Twenty-six healthy and physically active men were evaluated ( $27.8 \pm 1.7$  years,  $78.6 \pm 9.1$  kg,  $178,1 \pm 5,9$  cm e  $17,5 \pm 4,0$  % fat). Participants performed five visits in the laboratory to: anthropometric evaluation and familiarization to the test and the ergometer (treadmill) (1st visit), execution of two maximal tests of incremental load in placebo (PLA) and LED therapy (LED) conditions (2nd and 3rd visits), and two square-waves load tests in PLA and LED conditions (4th and 5th visits). The experimental conditions were performed in random order, with double blind control and minimum interval between tests of 48 hours over a maximum period of three weeks. The infrared LED was applied in two regions of the quadriceps muscle, two regions of the biceps femoris and one region of the gastrocnemius, with wavelength diodes of 850 nm, and energy density of  $3.7 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ . The incremental load test was conducted with initial speed at  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , increments of  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  every three minutes with a constant gradient of 1%, with control of: heart rate (HR) for the maximum and submaximum HR ( $\text{HR}_{\text{max}}$  and  $\text{HR}_{\text{sub}}$ ) determination, gas exchange to determine ventilatory threshold (VT), maximum and submaximum oxygen uptake ( $\text{VO}_{2\text{max}}$  and  $\text{VO}_{2\text{sub}}$ ), rating of perceived exertion (RPE) and the blood lactate behavior before and after test. The intensity of the square-wave load test on the heavy effort domain was determined from the VT and  $\text{VO}_{2\text{max}}$  values obtained in the incremental load test, the subjects had the HR, RPE and  $\text{VO}_2$  evaluated during the six-minute test, which was used for the determination of  $\text{VO}_2$  kinetics parameters. The data were presented as mean  $\pm$  standard deviation with the normality checked by the Shapiro-Wilk test, the paired Student t test and the Wilcoxon test were used to compare the PLA and LED conditions, using significance level of  $P < 0.05$ . The main results showed significant effect of LED therapy on  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (PLA =  $47.2 \pm 5.7$  e LED =  $48.0 \pm$

5.4 ml·kg·min<sup>-1</sup>),  $\dot{V}O_2$  related to VT (PLA = 40.1 ± 4.6 e LED = 41.3 ± 4.3 ml·kg·min<sup>-1</sup>), HR<sub>max</sub> (PLA = 195 ± 3.4 e LED = 193 ± 3.9 b·min<sup>-1</sup>), the removal of blood lactate and  $\dot{V}O_{2sub}$ , HR<sub>sub</sub>, and RPE of the intermediate stages of the incremental load test and square-wave load test. In addition, LED condition reduced the amplitude (PLA = 311.8 ± 120.8 e LED = 262.4 ± 99.3 ml·min<sup>-1</sup>) and relative contribution (PLA = 11.8 ± 4.1 e LED = 9.9 ± 3.5 %) of the slow component of  $\dot{V}O_2$  kinetic. With the obtained results, it is concluded that the use of LED therapy modifies the  $\dot{V}O_2$  behavior and significantly change HR<sub>max</sub> and HR<sub>sub</sub>, psychophysiological parameters, and the metabolites removal, directly affecting the running performance in incremental and square-wave load testing. We suggest the use of LED therapy prior to exercise in healthy and physically active subjects as a pre-activation strategy for the oxidative metabolism and target muscle.

Keywords: Phototherapy; Aerobic Metabolism; Oxygen Uptake Kinetics.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Absorbância tecidual de diferentes comprimentos de onda (adaptado de Hudson et al., 2013).....	23
<b>Figura 2 -</b>	Pontos de aplicação da fototerapia no músculo quadríceps femoral utilizados por Leal Junior et al. (2009b) (A), de Marchi et al. (2012) (B), Ferraresi et al. (2011) e Vieira et al. (2012) (C) (adaptado de FERRARESI et al., 2012a).....	26
<b>Figura 3 -</b>	Respostas de expressão gênica ao treinamento de resistência, com o círculo cinza representando local de regulação positiva após a utilização da fototerapia (adaptado de FERRARESI et al., 2012a).....	30
<b>Figura 4 -</b>	Efeito da fototerapia no transporte de creatina e oxidação de lactato por via mitocondrial. (adaptado de FERRARESI et al., 2012a).....	32
<b>Figura 5 -</b>	Parâmetros utilizados para descrever a cinética do $VO_2$ , em um modelo monoexponencial (figura à esquerda) e bi-exponencial (figura à direita) (CAPUTO, 2003).....	37
<b>Figura 6 -</b>	Resposta do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) a exercícios de carga constante nos domínios de intensidade moderado, pesado e severo (adaptado de GAESSER; POOLE, 1996).....	43
<b>Figura 7 -</b>	Pontos de aplicação do LED (adaptado de LEAL JUNIOR et al., 2011).....	54
<b>Figura 8 -</b>	Unidade de controle e clusters do Equipamento de LED terapia da empresa THOR® .....	54
<b>Figura 9 -</b>	Valores médios $\pm$ desvio padrão a cada minuto de Percepção Subjetiva do Esforço (PSE) da primeira e segunda transição do teste de carga retangular de seis minutos para as condições LED terapia (LED) e Placebo (PLA) (n = 26). * $P < 0,05$ entre condições.	60
<b>Figura 10 -</b>	Valores médios $\pm$ desvio padrão a cada 15 segundos de frequência cardíaca (FC) da primeira e segunda transição do teste de carga retangular de seis minutos para as condições LED terapia (LED) e Placebo (PLA) (n = 26). * $P < 0,05$ entre condições.	61

**Figura 11** - Valores médios  $\pm$  desvio padrão a cada 15 segundos de consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) relativo da primeira e segunda transição do teste de carga retangular de seis minutos para as condições LED terapia (LED) e Placebo (PLA) (n=26). \*  $P < 0,05$  entre condições..... 61

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Parâmetros para aplicação da LED terapia.....	55
<b>Tabela 2 -</b>	Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED terapia (LED) para as variáveis obtidas em teste de carga incremental máximo: tempo total, consumo máximo de oxigênio absoluto e relativo ( $VO_{2máx}$ ), velocidade referente ao $VO_{2máx}$ ( $vVO_{2máx}$ ), velocidade pico ( $V_{pico}$ ), limiar ventilatório (LV), $VO_2$ referente ao LV ( $VO_{2LV}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{máx}$ ), percepção subjetiva de esforço máxima ( $PSE_{máx}$ ) e lactato pico ( $LA_{pico}$ ).....	56
<b>Tabela 3 -</b>	Comparação e tamanho de efeito (TE) das concentrações de lactato sanguíneo pré-teste ( $LA_{pré}$ ) e pós-teste incremental ( $LA_{0min}$ , $LA_{3min}$ , $LA_{5min}$ , $LA_{7min}$ , $LA_{9min}$ , $LA_{11min}$ , $LA_{13min}$ , $LA_{15min}$ ), lactato pico ( $LA_{pico}$ ) e deltas $LA_{pico}$ e $LA_{pré}$ ( $\Delta LA_{pico}-LA_{pré}$ ), $LA_{pico}$ e $LA_{15min}$ ( $\Delta LA_{pico}-LA_{15min}$ ), e $LA_{15min}$ e $LA_{pré}$ ( $\Delta LA_{15min}-LA_{pré}$ ) nas condições placebo (PLA) e LED terapia (LED).....	57
<b>Tabela 4 -</b>	Frequência da ocorrência do lactato pico pós-teste incremental máximo nas condições placebo (PLA) e LED terapia (LED) para o número absoluto e relativo de sujeitos.....	58
<b>Tabela 5 -</b>	Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED Terapia (LED) para a variável frequência cardíaca submáxima ( $FC_{sub}$ ), mensurada a cada estágio de incremento de velocidade, excluindo-se o estágio em que foi encontrado o valor máximo de FC para cada sujeito.....	58
<b>Tabela 6 -</b>	Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED Terapia (LED) para a variável percepção subjetiva de esforço submáxima ( $PSE_{sub}$ ), mensurada a cada estágio de incremento de velocidade, excluindo-se o estágio em que foi encontrado o valor máximo de PSE para cada sujeito.....	59
<b>Tabela 7 -</b>	Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED Terapia (LED) para a variável consumo de oxigênio submáximo ( $VO_{2sub}$ ), mensurada a cada estágio de incremento de velocidade, excluindo-se o estágio em que foi encontrado o valor máximo de $VO_2$ para cada sujeito.....	59
<b>Tabela 8 -</b>	Comparação e tamanho de efeito (TE) das variáveis resultantes da análise da cinética do consumo de oxigênio	62

obtidas durante teste de carga retangular para as condições placebo (PLA) e LED terapia (LED).....

**Tabela 9 -** Matriz de correlação das variáveis resultantes da análise da cinética do consumo de oxigênio obtidas durante o teste de carga retangular para a condição placebo (PLA), condição LED terapia (LED) e a correlação entre as condições (PLA x LED)..... 63

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---



---

A	Amplitude
A'	Amplitude absoluta
AMPK	Proteína quinase ativada por adenosina monofosfato
ATP	Adenosina trifosfato
CAT	Catalase
CaMK	Proteína quinase dependente de cálcio-calmodulina
Ca <sup>2+</sup>	Íon de Cálcio
CK	Creatina quinase
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
D <sub>max</sub>	Método do máximo desvio
FC	Frequência cardíaca
FC <sub>max</sub>	Frequência cardíaca máxima
FC <sub>sub</sub>	Frequência cardíaca submáxima
IMC	Índice de massa corporal
IPAQ	Questionário internacional de atividade física
J	Joules
Laer	Limiar aeróbio
LAn	Limiar anaeróbio
LA <sub>pico</sub>	Lactato pico
LDH	Lactato desidrogenase
LED	Diodos emissores de luz
LV	Limiar ventilatório
mmol·L <sup>-1</sup>	Milimoles por litro
NADH	Nicotinamida adenina dinucleotídeo diaforase
Nm	Nanômetro
O <sub>2</sub>	Oxigênio
PCR	Proteína c-reativa
PLA	Placebo
PPARGC1-α	Co-ativador-1 alfa do receptor ativado por proliferador de peroxissoma
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PSE <sub>max</sub>	Percepção subjetiva de esforço máxima
rpm	Rotações por minuto
SDH	Succinato desidrogenase
SOD	Superóxido dismutase
τ	Constante de tempo
TA	Tempo de atraso
TE	Tamanho de efeito
TGF-β	Fator transformador do crescimento
t <sub>lim</sub>	Tempo limite
TNF-α	Fator de necrose tumoral
VE	Ventilação
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigênio
VO <sub>2base</sub>	Consumo de oxigênio no início do teste
VO <sub>2máx</sub>	Consumo máximo de oxigênio
VO <sub>2sub</sub>	Consumo submáximo de oxigênio
V <sub>pico</sub>	Velocidade pico

$vVO_{2\text{máx}}$	Velocidade referente à ocorrência do $VO_{2\text{máx}}$
1RM	Uma repetição máxima
50% $\Delta$	Intensidade referente ao domínio pesado de esforço
%G	Percentual de gordura

# SUMÁRIO

---



---

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1 Justificativa</b> .....	19
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	21
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	21
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	21
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	22
<b>3.1 Foterapia</b> .....	22
<b>3.1.1 Mecanismos de ação da fototerapia no metabolismo aeróbio</b> .....	28
<b>3.1.2 Efeito da fototerapia no exercício físico</b> .....	32
<b>3.2 Cinética do consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>)</b> .....	34
<b>3.2.1 Fatores influenciadores e estratégias que podem modificar a cinética do VO<sub>2</sub></b> .....	37
<b>3.2.2 Domínios de intensidade de esforço</b> .....	42
<b>3.2.3 Modos de exercícios físico</b> .....	45
<b>4 MÉTODOS</b> .....	48
<b>4.1 Amostra</b> .....	48
<b>4.2 Delineamento experimental</b> .....	49
<b>4.3 Teste de carga incremental</b> .....	49
<b>4.4 Teste de carga retangular</b> .....	51
<b>4.5 Análise da cinética do VO<sub>2</sub></b> .....	52
<b>4.6 LED terapia</b> .....	53
<b>4.7 Análise estatística</b> .....	55
<b>5 RESULTADOS</b> .....	56
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	64
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	79
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	80
<b>ANEXOS</b> .....	95

# 1 INTRODUÇÃO

A fototerapia é um recurso conhecido há mais de 50 anos e utilizada amplamente na área da saúde; no entanto, apenas recentemente tem chamado atenção pela utilização associada a exercícios físicos, com respostas efetivas na prevenção e recuperação de lesões decorrentes da prática de exercícios físicos, efeito anti-inflamatório e antiálgico, além de respostas promissoras no aprimoramento de aspectos fisiológicos e metabólicos durante o esforço físico (CAMARGO et al., 2012; SERAFIM et al. 2012; LEAL JUNIOR et al. 2011).

Dentre os efeitos relacionados à fototerapia, não existe um grande aporte teórico para a associação com exercícios físicos em humanos, apesar de respostas relacionadas a diferentes metabolismos energéticos já terem sido descritas anteriormente em estudos com modelos animais, especialmente em relação às modificações na estrutura e função mitocondrial, aumento na atividade de enzimas oxidativas, maior remoção e oxidação do lactato sanguíneo, aumento na disponibilidade de energia alática (fosfocreatina), melhora dos indicadores de estresse oxidativo e maior microcirculação com hiperemia no local de aplicação da fototerapia (de MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2011; LEAL JUNIOR; 2011; LEAL JUNIOR et al., 2009d; XU et al., 2008; MANTEIFEL; KARU, 2005; TULLBERG et al., 2003; BAKEEVA et al., 1993).

Os poucos estudos que associaram a fototerapia a exercícios físicos aeróbios descreveram efeitos tanto para contextos esportivos como relacionados à saúde, com respostas agudas e crônicas à utilização da fototerapia associada ao treinamento físico ou a sessões isoladas de exercício físico, tais como: maior tempo limite ( $t_{lim}$ ), alterações no equivalente metabólico (QR), menor frequência cardíaca submáxima ( $FC_{sub}$ ) e duplo produto (PAOLILLO et al., 2013), maior consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) absoluto e relativo (ALVES et al., 2014; de MARCHI et al., 2012), além de melhora no índice de fadiga (VIEIRA et al., 2012).

Sugere-se que o efeito biológico da aplicação crônica da fototerapia favoreça o metabolismo aeróbio como resultado de uma maior expressão de

genes associados à cadeia respiratória mitocondrial e aumento da síntese de adenosina trifosfato (ATP) (VIEIRA et al., 2012; SILVEIRA et al., 2009); especialmente na atividade de fibras musculares do tipo I quando comparadas às do tipo II (HAYWORTH et al., 2010).

Uma maneira de explicar os possíveis mecanismos biológicos da fototerapia no metabolismo aeróbio é por meio da análise de parâmetros respiratórios, uma vez que essas variáveis podem indicar modificações centrais e periféricas causadas pelo exercício físico sem a necessidade de avaliações invasivas.

A resposta do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) pode indicar alterações ocorridas em um organismo durante a transição repouso-exercício-repouso (BURNLEY; JONES, 2007; JONES; POOLE, 2005a), sendo que a magnitude dessas alterações é dependente do modo de exercício (MACHADO et al., 2009; HILL et al., 2003; CARTER et al., 2000a) e da intensidade do esforço realizado (PRINGLE et al., 2003), expressa tradicionalmente em três domínios: moderado, pesado e severo, demarcados por alterações do equilíbrio ácido-básico sanguíneo e pelos diferentes comportamentos respiratórios (BURNLEY; JONES, 2007; JONES; POOLE, 2005a; CARTER et al., 2002a).

A caracterização das respostas do  $VO_2$  nessas diferentes intensidades de exercício pode ser representada em três fases de cinética do  $VO_2$ . A primeira fase é definida como cardiodinâmica, caracterizada por um rápido aumento no  $VO_2$  em função da maior extração de oxigênio ( $O_2$ ) alveolar após aumento do débito cardíaco; a segunda fase é composta por um componente rápido ou primário de  $VO_2$  ( $A'_1$ ) e, dependendo da intensidade, um componente lento ou secundário ( $A'_2$ ), a resposta de  $VO_2$  ainda não é estável e é caracterizada por uma maior captação de  $O_2$  sanguíneo pelos músculos ativos (JONES; POOLE, 2005a). A terceira fase envolve a estabilidade do débito cardíaco e da extração de  $O_2$  pelos músculos ativos; entretanto, em intensidades elevadas, nem sempre é possível detectar-se um estado estável ou este pode ser tardio e influenciado pela magnitude do  $A'_2$  (JONES; POOLE, 2005a; WHIPP; WARD, 1990).

Existe uma relação direta entre a disponibilidade de oxigênio e o tipo de fibras musculares em atividade com o tempo e amplitude das fases da cinética do  $VO_2$ , como exemplo, o envolvimento de fibras musculares rápidas,

aerobiamente menos eficientes, favorecem o início precoce e a maior  $A'_{2}$  e consequentemente a instalação da fadiga (KRUSTUP et al., 2004; PRINGLE et al., 2003).

Sendo assim, em função dos efeitos já conhecidos da fototerapia como: maior oferta e utilização de  $O_2$ , maior ativação enzimática e neuromuscular, modificações na estrutura e função mitocondrial e hiperemia no local de aplicação (ALVES et al., 2014; BURAVLEV et al., 2013; de MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2012a; LARKIN et al., 2012) , hipotetizamos que esta intervenção modificará o comportamento do  $VO_2$  durante testes de corrida com carga incremental e retangular, especialmente as amplitudes e durações das fases e componentes da cinética do  $VO_2$ .

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A justificativa para a realização deste trabalho baseia-se nos seguintes pontos:

- Apesar de ser uma intervenção utilizada na área da saúde há bastante tempo, os efeitos e desdobramentos da fototerapia no exercício físico começaram a ser estudados recentemente; seja como um recurso que facilite a recuperação muscular, como um possível ergogênico muscular ou modificador de parâmetros fisiológicos antes, durante e após esforços físicos, e por isso existem lacunas relevantes sobre a associação da fototerapia e exercícios físicos;
- Os exercícios físicos aeróbios foram pouco verificados dentro dessa gama de estudos utilizando-se a fototerapia, mesmo que pesquisas básicas em modelos animais ou *in vitro* reforcem hipóteses de possíveis respostas positivas, a partir de modificações encontradas em estrutura mitocondrial, atividade enzimática, remoção de metabólitos, disponibilidade de energia e circulação sanguínea;
- Em humanos, análises robustas de parâmetros respiratórios que demonstrem o comportamento respiratório em níveis centrais e periféricos a partir de avaliações não invasivas e em situações controladas de exercício físico, podem auxiliar no entendimento de alguns mecanismos de ação da fototerapia;

- A obtenção de informações específicas sobre os mecanismos de ação da fototerapia no exercício físico aeróbio pode fortalecer a utilização desse recurso, que ao longo dos anos demonstrou ser seguro e prático, em contextos esportivos e relacionados à saúde.

Assim, a proposta do presente estudo de verificar o efeito da fototerapia no comportamento do  $VO_2$  durante testes de corrida com carga incremental e retangular é de grande utilidade prática e científica ao tentar preencher algumas lacunas acerca dessa intervenção.

## 2 OBJETIVOS

---

---

### 2.1 Geral

Verificar o efeito da LED terapia no comportamento do  $VO_2$  durante testes de corrida com carga incremental e retangular.

### 2.2 Específicos

Verificar o efeito da LED terapia na cinética do  $VO_2$  durante exercício de corrida no domínio pesado de esforço;

Verificar o efeito da LED terapia em variáveis máximas obtidas em teste incremental em esteira rolante: Velocidade pico ( $V_{pico}$ ), FC máxima ( $FC_{máx}$ ), Percepção subjetiva de esforço (PSE) máxima ( $PSE_{máx}$ ),  $VO_{2máx}$ , velocidade referente ao  $VO_{2máx}$  ( $vVO_{2máx}$ ), lactato pico ( $LA_{pico}$ );

Verificar o efeito da LED terapia em variáveis submáximas obtidas em teste de intensidade incremental e retangular na esteira rolante:  $VO_2$ , FC, PSE, limiar ventilatório (LV).

# **3 REVISÃO DE LITERATURA**

---

---

## **3.1 Fototerapia**

A fototerapia tem sido foco de interesse de diversas pesquisas com modelos animais e humanos na área biológica e da saúde. Este termo foi adotado pela Associação Americana de Terapia a Laser em 2003 e é definido como uma modalidade de intervenção que utiliza fótons (energia da luz) de espectro visível (vermelho) ou invisível (infravermelho) com efeitos biológicos pontuais (KNEEBONE, 2006). A energia luminosa é absorvida, convertida em energia química e utilizada para estimular atividades orgânicas, aumentando o nível de reações bioquímicas e modulando positivamente processos metabólicos nos tecidos biológicos. (KELENCZ et al., 2010).

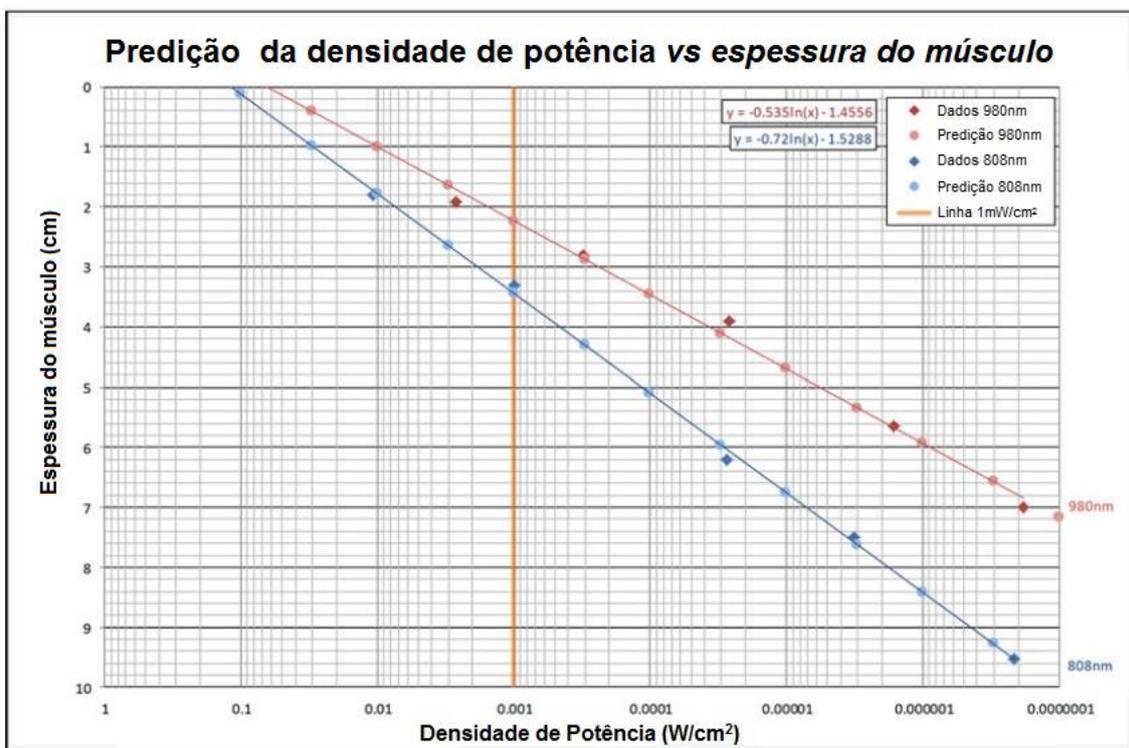
Os principais efeitos observados após a exposição do tecido biológico à luz podem ser divididos em três fases (KNEEBONE, 2006):

- 1) efeitos primários: resultantes da interação dos fótons com a mitocôndria, responsável por transformar a energia luminosa em energia química;
- 2) efeitos secundários: alterações na mesma célula em que ocorreram os efeitos primários, como aumento na proliferação celular e modificação de neurotransmissores;
- 3) efeitos terciários: alterações em células distantes das que sofreram interação direta com os fótons, fase responsável pelas respostas sistêmicas da fototerapia.

De acordo com a primeira Lei da Fotoquímica, a luz deve ser absorvida pelo tecido orgânico para que a fotoquímica e a fotofísica gerem os efeitos biológicos esperados; se uma luz com determinada característica não for absorvida pelas células corporais nenhum efeito fotobiológico será observado (SMITH, 2005). O espectro de absorção de um sistema biológico é o mapa da probabilidade de uma luz ser absorvida pela célula alvo e, portanto, causar um efeito biológico (SMITH, 2005).

Medidas de comprimento de onda são determinantes para a janela biológica da fototerapia e são expressas em nanômetros (nm). Os efeitos da aplicação de luz sobre um tecido corporal podem ser observados a partir do momento em que a luz é absorvida por fotorreceptores presentes nas células; os fótons absorvidos pela molécula levam os elétrons ali presentes a estados de maior energia, que deve ser liberada através de efeitos e reações químicas e biológicas (MIRANDA et al., 2014; SMITH, 2005).

Comprimentos de onda entre 820 nm e 904 nm podem transmitir grande quantidade de energia entre 2 e 4 cm de profundidade abaixo da pele, e, portanto, são indicados para tratamentos relacionados a tecidos moles profundos como: músculos, ligamentos e tendões, enquanto que diodos com comprimentos de onda entre 400 e 700 nm transmitem energia principalmente ao nível da derme e epiderme, sendo indicados para tratamento de feridas superficiais e doenças da pele (BORSA et al., 2013).



**Figura 1** - Absorbância tecidual de diferentes comprimentos de onda (adaptado de Hudson et al., 2013).

Uma grande variedade de metodologias (momento, forma e área de aplicação), e fontes de luz com diferentes parâmetros (comprimento de onda, potência, frequência e parâmetros de pulsos) podem caracterizar a fototerapia (KARU, 2003). Grande parte dos estudos na área da saúde utilizam fontes de

luz com diodos de laser (FERRARESI et al., 2011; VIEIRA et al., 2012; BARONI et al., 2010) e, mais recentemente, diodos emissores de luz (LED), os quais apresentam efeitos biológicos similares ao laser, porém com aparelhos que permitem maior área de abrangência de aplicação e irradiação, além de menor custo de fabricação (PAOLILLO et al., 2013; SERAFIM et al., 2012; LEAL JUNIOR et al., 2011).

A fonte da luz parece não ser fator determinante para a obtenção de efeitos terapêuticos, mas sim a dosagem e o comprimento de onda apropriada (ENWEMEKA, 2005). Buravlev et al. (2013) verificaram alterações na respiração mitocondrial e Leal Junior et al. (2009b) em concentrações de lactato sanguíneo após realização de exercício físico máximo associado à aplicação da fototerapia e não encontraram diferença entre a utilização do laser de baixa intensidade e o LED.

No entanto, diferentes respostas biológicas são obtidas quando alteradas as dosagens da luz aplicada (HUDSON et al., 2013; de ALMEIDA et al., 2012; da FONSECA et al., 2012; de ALMEIDA et al., 2011; AMARAL et al., 2001). Leal Junior et al. (2009b), avaliando níveis de creatina quinase (CK) após 30 segundos de exercício máximo realizado em cicloergômetro (*Wingate test*), encontraram diferentes respostas com a utilização da LED terapia em relação ao laser de baixa intensidade, com melhores parâmetros encontrados após o uso do laser, porém, os autores creditaram os resultados às diferentes características dos aparelhos utilizados, como: frequência, comprimento de onda e área de aplicação.

Diante disso, diversos estudos buscaram estabelecer dosagens ideais de estimulação para tecidos alvos e repostas específicas (BURAVLEV et al., 2013; de ALMEIDA et al., 2012; de ALMEIDA et al., 2011), uma vez que estímulos fracos podem produzir pouco ou nenhum efeito na função celular e estímulos muito fortes podem suprimir ou inibir tais efeitos (LARKIN et al., 2012; DIAS et al., 2011; HUANG et al., 2009).

Sendo assim, a escolha de equipamentos com características técnicas adequadas parece ser o principal ponto a ser considerado para a eficácia da fototerapia. Porém, apesar da clara dependência da dose e comprimento de onda na energia absorvida pelas células e nos efeitos biológicos obtidos, a resposta da fototerapia em situações reais, com a utilização de grandes

grupamentos musculares durante diferentes tipos de exercícios físicos, não está totalmente esclarecida, uma vez que os estudos relacionados com dosagem de luz utilizaram principalmente modelos animais, grupos musculares específicos ou células isoladas (BURAVLEV et al., 2013; da FONSECA et al., 2012; DIAS et al., 2011; SILVEIRA et al., 2011; HAYWORTH et al., 2010; LEAL JUNIOR et al., 2010).

Além desses fatores, diferentes formas de aplicação da fototerapia têm sido relatadas, sendo a mais amplamente divulgada realizada com o equipamento em contato direto sobre o local radiado com uma angulação de 90° em relação à superfície cutânea e momentos de aplicação específicos, antes ou após a prática de exercício físico (CAMARGO et al., 2012; FERRARESI et al., 2011; BARONI et al., 2010).

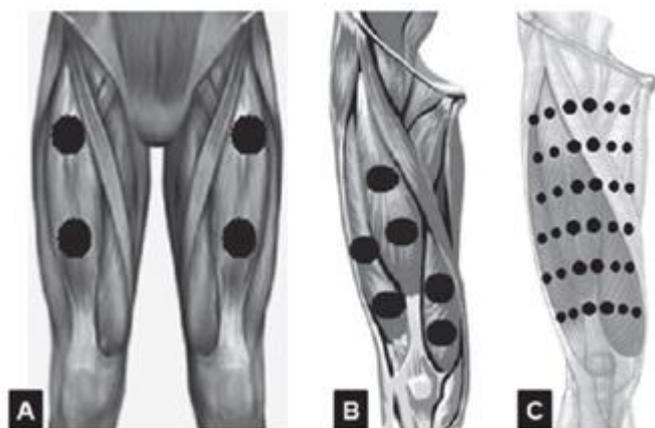
A forma de aplicação menos utilizada, à qual se refere a literatura, é sem contato direto com a superfície cutânea e com o equipamento distante 4 cm da cabeça em modelos animais (HAYWORTH et al., 2010) e 15 cm da região radiada em modelos humanos (PAOLILLO et al., 2011). Além disso, Paolillo et al. (2013) e Paolillo et al. (2011) realizaram a aplicação da fototerapia durante a realização de exercício físico, de forma concomitante, controlando a energia próxima à pele por um medidor de potência e fotodetector; no entanto, o aparato de LED utilizado requereu uma grande quantidade de diodos para compensar a energia dissipada no ar, a energia irradiada precisou ser controlada e ajustada durante todo momento do exercício, sem muito controle da quantidade efetiva de energia absorvida e os sujeitos precisaram utilizar roupas específicas e protetores de luz nos olhos, tornando o modelo menos prático e seguro.

Outro aspecto que precisa ser considerado é o efeito residual da fototerapia que pode durar horas ou até mesmo dias, especialmente em estudos que buscam verificar o efeito crônico ou a aplicação da luz em diversas condições de intervenção (MESQUITA-FERRARI et al., 2011; SUSSAI et al., 2010), assim, durante reaplicações, os valores de energia irradiada pelo equipamento podem apresentar diferenças com a energia total absorvida pelo tecido biológico.

Dessa forma, o método pontual com contato direto do aparelho com a superfície da pele, controle da energia irradiada em momentos específicos e

intervalos padronizados entre sessões de fototerapia, parece ser suficiente para induzir respostas biológicas eficientes e com respaldo científico, uma vez que os estudos que utilizaram a aplicação contínua da fototerapia durante a realização de exercícios físicos não realizaram análises robustas por meio de marcadores sanguíneos ou biópsias teciduais para verificação dos efeitos (PAOLILLO et al., 2013; FERRARESI et al., 2011; LEAL JUNIOR et al., 2010).

Outro aspecto importante é a área abrangida pelos pontos de irradiação, determinante para os efeitos primários e secundários da fototerapia (KNEEBONE, 2006), sendo que o uso de *clusters* apresentam melhores respostas comparadas ao uso de um único diodo (LEAL JUNIOR et al., 2011; BARONI et al., 2010; LEAL JUNIOR et al., 2009b). A figura 2 demonstra alguns exemplos da quantidade e distribuição de pontos de irradiação da fototerapia no músculo quadríceps femoral que garantem absorção de energia suficiente para a obtenção de respostas biológicas.



**Figura 2.** Pontos de aplicação da fototerapia no músculo quadríceps femoral utilizados por Leal Junior et al. (2009b) (A), de Marchi et al. (2012) (B), Ferraresi et al. (2011) e Vieira et al. (2012) (C) (adaptado de FERRARESI et al., 2012a)

Os efeitos da fototerapia no músculo esquelético mais comumente relatados na literatura são: respostas anti-inflamatórias, antiálgicas e de facilitação de reparo tecidual (de MARCHI et al., 2012; CAMARGO et al., 2012; SERAFIM et al., 2012; de ALMEIDA et al., 2011; BARONI et al., 2010).

Menores concentrações de CK, fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), lactato desidrogenase (LDH) e lactato sanguíneo, menores níveis de apoptose celular, maiores níveis de proteína plasmática, fibrogênese e fator

transformador do crescimento (TGF- $\beta$ ) são encontrados logo após ou até mesmo alguns dias após a utilização da fototerapia combinada a exercícios físicos extenuantes (de MARCHI et al., 2012; de ALMEIDA et al., 2011; MESQUITA-FERRARI et al., 2011; SILVEIRA et al., 2011; BARONI et al., 2010; SUSSAI et al., 2010).

Camargo et al. (2012) compararam a fototerapia com a crioterapia de imersão em modelo animal e verificaram que após a realização de exercício físico extenuante houve uma menor área e número de campos com necrose muscular, menor concentração de CK e infiltração inflamatória de leucócitos no grupo submetido à fototerapia. De forma semelhante em humanos, Leal Junior et al. (2011) encontraram maior efeito da LED terapia comparado à crioterapia de imersão para concentrações de CK (redução de  $23,8U \cdot l^{-1}$  pós LED e redução de  $5,2U \cdot l^{-1}$  pós crioterapia), lactato sanguíneo (redução de  $5,5 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$  pós LED e redução de  $2,2 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$  pós crioterapia) e proteína c-reativa (PCR) (redução de  $318,0 \text{ mg} \cdot dL^{-1}$  pós LED e redução de  $294,0 \text{ mg} \cdot dL^{-1}$  pós crioterapia) após sessão aguda de exercício físico (*Wingate test*), mostrando que a fototerapia parece ser mais eficaz no processo de recuperação após sessões de exercício físico quando comparado à outras terapia comumente utilizadas na prática.

Apesar dessas respostas promissoras, a maioria dos estudos verificou apenas o efeito agudo da fototerapia após sessão única de exercício físico, sendo que o efeito longitudinal e combinado ao treinamento físico ainda é pouco conhecido. Estudos com até 12 semanas de treinamento em cicloergômetro ou *Leg Press 45°* combinado à fototerapia mostraram respostas discretas em parâmetros mecânicos como torque, trabalho total e índice de fadiga, porém não foram realizadas análises dos processos fisiológicos que pudessem diferenciar a melhora provocada pelo treinamento físico isolado em relação ao combinado com fototerapia (VIEIRA et al., 2012; FERRARESI et al., 2011).

O estudo longitudinal com maior tempo de intervenção apresentado na literatura foi o de Paolillo et al. (2013), que durante seis meses aplicaram treinamento em esteira rolante combinado à LED terapia em mulheres pós-menopausa e verificaram efeito significativo em variáveis cardiovasculares;

entretanto, no estudo não foram realizadas outras análises que pudessem mostrar o comportamento longitudinal dos mecanismos de ação da fototerapia.

Logo, as evidências apontam diversos efeitos teciduais da fototerapia, além de sua influência em sistemas metabólicos específicos, que podem influenciar de forma significativa o exercício físico e a recuperação muscular em contextos esportivos e relacionados à saúde (PAOLILLO et al., 2013; LARKIN et al., 2012; de ALMEIDA et al., 2011).

### **3.1.1 Mecanismos de ação da fototerapia no metabolismo aeróbio**

Apesar de serem relatados efeitos no sistema anaeróbio referentes à melhor disponibilidade de energia, modificações na expressão de genes e aspectos hormonais (FERRARESI et al., 2011; HAYWORTH et al., 2010; SAYGUN et al., 2008), a fototerapia apresenta mecanismos de ação fortemente relacionados ao aprimoramento do metabolismo aeróbio, com respostas mitocondriais, enzimáticas, vasculares, metabólicas, dentre outras (LARKIN et al., 2012; LEAL JUNIOR et al., 2009c; SILVEIRA et al., 2009; XU et al., 2008; MANTEIFEL; KARU, 2005; TULLBERG et al., 2003).

Uma das respostas da fototerapia que causa efeitos em cascata no metabolismo aeróbio é a melhora da microcirculação com hiperemia no local de aplicação e, a partir disso, a maior disponibilidade de O<sub>2</sub> e a maior taxa de remoção de metabólitos favorecem a produção de energia e a manutenção da função muscular em exercícios de longa duração, além de beneficiar processos antiinflamatórios e de reparação tecidual (LARKIN et al., 2012; XU et al., 2008; TULLBERG et al., 2003; MAEGAWA et al., 2000).

No entanto, Larkin et al. (2012) verificaram que o aumento no fluxo sanguíneo e os efeitos diretos dessa resposta local são temporários, iniciando no momento de aplicação da fototerapia e retornando a valores basais aproximadamente três minutos após a intervenção.

Outro aspecto relevante foi descrito no estudo de Silveira et al. (2009), o qual apontou efeito da fototerapia sobre a atividade enzimática de toda a cadeia de transporte de elétrons da respiração mitocondrial, com aumento de atividade para os complexos I, II, III e IV, garantindo assim um aumento na taxa de síntese de ATP dentro da mitocôndria (BURAVLEV et al., 2013).

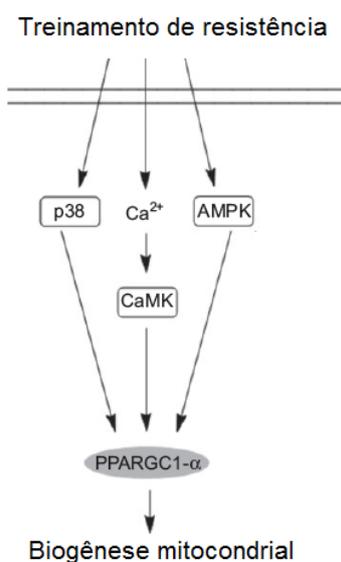
Além disso, Hayworth et al. (2010) mostraram maior sensibilidade dos tecidos musculares oxidativos em relação aos glicolíticos à atividade biomoduladora da fototerapia; alterações na atividade enzimática do complexo IV da cadeia de transporte de elétrons (citocromo c-oxidase) foram verificadas após a fototerapia, com aumento de apenas 18% para fibras musculares do tipo II, 36% para as intermediárias e 54% para as do tipo I.

Sendo parte integrante da cadeia transportadora de elétrons, a citocromo c-oxidase tem papel central na regulação do metabolismo energético e homeostasia celular (DALMONTE et al., 2009; PICCOLI et al., 2006); assim, o aprimoramento de sua função representa maior energia disponibilizada em especial para fibras musculares de contração lenta, diretamente envolvidas em atividades aeróbias.

Outra enzima determinante do metabolismo aeróbio, como a succinato desidrogenase (SDH) e a coenzima nicotinamida adenina dinucleotídeo diaforase (NADH) também apresentaram aumento de atividade após a utilização da fototerapia, com resposta direta na ativação do metabolismo oxidativo em função da maior eficiência na transferência de energia para a cadeia respiratória (DIAS et al., 2011; SILVEIRA et al., 2009; WILDEN; KARTHEIN, 1998). A eficácia da fototerapia na função enzimática também é verificada em tecidos lesionados, facilitando a recuperação de níveis normais de atividade da SDH logo após a aplicação (SILVEIRA et al., 2009).

Os principais efeitos da fototerapia sobre o metabolismo aeróbio decorrem principalmente das modificações estruturais e funcionais ocorridas na própria mitocôndria. Manteifel et al. (1997) e Bakeeva et al. (1993) descreveram a formação de uma “mitocôndria gigante” após a intervenção de fototerapia em função de uma fusão entre membranas de mitocôndrias vizinhas menores e com baixa capacidade funcional. Além disso, a fototerapia aumenta a densidade e o número de mitocôndrias, e altera o potencial de membrana dessas organelas, resultando em maior capacidade de respiração celular e síntese de ATP (XU et al., 2008; MAINTEFEL; KARU, 2005; AMARAL et al., 2001). A fototerapia também foi testada em disfunções mitocondriais agudas causadas pelo exercício físico extenuante e pela fadiga, apresentando efeito positivo na restauração de funções mitocondriais basais (XU et al., 2008).

A figura 3 demonstra modificações na expressão gênica decorrentes do treinamento de resistência: na enzima p38, íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), proteína quinase ativada por adenosina monofosfato (AMPK), proteína quinase dependente de cálcio-calmodulina (CaMK), e em especial o co-ativador-1 alfa do receptor ativado por proliferador de peroxissoma (PPARGC-1 $\alpha$ ) que além de regulações relacionadas ao treinamento físico também sofre regulação positiva da aplicação aguda da fototerapia, indicando maior biogênese mitocondrial, oxidação de ácidos graxos no músculo e transição de fibras musculares do tipo II para tipo I (FERRARESI et al., 2012b; COFFEY; HAWLEY, 2007).



**Figura 3.** Respostas de expressão gênica ao treinamento de resistência, com o círculo cinza representando local de regulação positiva após a utilização da fototerapia (adaptado de FERRARESI et al., 2012a)

Todas essas respostas sugerem um possível efeito da fototerapia no aumento de marcadores do estresse oxidativo o qual, de forma aguda e crônica, pode representar um efeito deletério significativo às células envolvidas. De fato, da Fonseca et al. (2012) concluíram que a fototerapia induz ao estresse oxidativo em função do aumento observado na peroxidação de lipídios e na atividade da enzima mieloperoxidase, que catalisa diversas espécies reativas oxidantes. Entretanto, o estudo foi realizado *in vitro* e como conclusão destacou a dependência dessas respostas negativas à fluência, frequência e comprimento de onda utilizado na intervenção, reforçando a importância da

escolha de um equipamento com características técnicas já respaldadas na literatura.

Por outro lado, diversos estudos com modelos animais e humanos verificaram efeito protetor da fototerapia ao estresse oxidativo (de MARCHI et al., 2012; SILVEIRA et al., 2011; ALBERTINI et al., 2007). Primeiramente, sabe-se que o estresse oxidativo é responsável por uma diminuição aguda e crônica na função contrátil do músculo e conseqüentemente favorece a fadiga muscular (REID et al., 1992), o que não ocorre com a utilização da fototerapia, uma vez que a capacidade de contração é melhorada (FERRARESI et al., 2011; VIEIRA et al., 2012; LEAL JUNIOR et al., 2010).

De Marchi et al. (2012) verificaram aumento significativo de dano oxidativo em lipídios e proteínas após protocolo incremental de corrida até exaustão em situação placebo, já com a aplicação da fototerapia as concentrações de marcadores de dano oxidativo permaneceram iguais no momento pré e pós-exercício, além disso, a enzima superóxido dismutase (SOD), antioxidante responsável pela dismutação do radical superóxido, reduziu significativamente na condição placebo e permaneceu com a mesma atividade quando a fototerapia foi utilizada, e a enzima catalase (CAT) responsável pela dismutação do peróxido de hidrogênio permaneceu com os mesmos valores pré e pós-exercício, independente da aplicação da fototerapia.

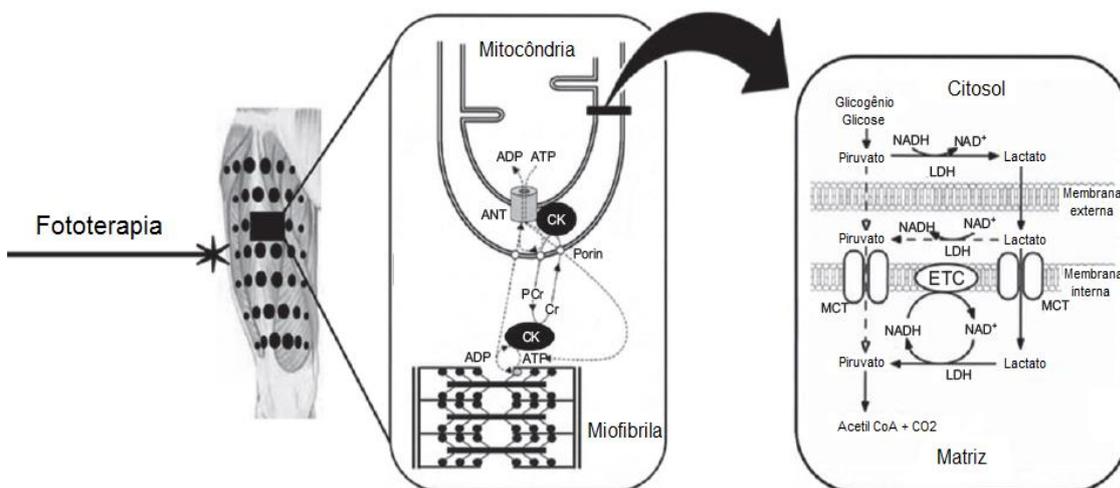
A redução na formação de radicais livres e o aumento de antioxidantes em função da aplicação da fototerapia já havia sido descrita em outros estudos (ALBERTINI et al., 2007). Entretanto, Silveira et al. (2011) verificaram redução no dano a proteínas e lipídios e também na atividade de SOD e CAT; essa resposta foi compreendida pelos autores como uma menor necessidade antioxidante em função de uma menor geração de radicais livres após a intervenção aguda de fototerapia.

Além desses mecanismos agudos de proteção ao estresse oxidativo, a fototerapia também favorece a reparação de danos já ocorridos por radicais livres às membranas de eritrócitos, auxiliando a manutenção da função e concentração de hemácias circulantes (CUI et al., 2007).

Em função de todas as respostas descritas com a utilização da fototerapia, outros componentes do sistema aeróbio podem ser favorecidos em efeito cascata, como exemplo, menores concentrações do lactato sanguíneo

após exercício (LEAL JUNIOR et al., 2010) como uma provável resposta à melhora da microcirculação (LARKIN et al., 2012; XU et al., 2008; TULLBERG et al., 2003), componente do metabolismo que quando removido mais rapidamente pode ser reconvertido em piruvato e garantir o fornecimento de energia ao músculo durante e após o exercício.

A figura 4 mostra o efeito da fototerapia no reaproveitamento de estoques de energia muscular, facilitando o mecanismo mitocondrial de transporte de creatina e a via mitocondrial de oxidação de lactato (FERRARESI et al., 2011).



**Figura 4.** Efeito da fototerapia no transporte de creatina e oxidação de lactato por via mitocondrial (adaptado de FERRARESI et al., 2012a).

O cenário fortalece o entendimento do uso da fototerapia como ergogênico do metabolismo aeróbio, ademais, o aumento da capacidade de produção de energia por vias oxidativas e a redução do estresse oxidativo indicam grande potencial desse recurso em exercícios físicos aeróbios (PAOLILLO et al., 2003; FERRARESI et al., 2012a; de ALMEIDA et al., 2012).

### 3.1.2 Efeito da fototerapia no exercício físico

O efeito da fototerapia no exercício físico é descrito prioritariamente de duas formas na literatura: efeito agudo em exercício físico de alta intensidade (de MARCHI et al., 2012; LEAL JUNIOR et al., 2009c) e efeito crônico combinado ao treinamento físico (PAOLILLO et al., 2013; FERRARESI et al., 2011). Desses estudos, as respostas encontradas pontualmente relacionadas ao exercício físico anaeróbio parecem não ser tão amplas como as descritas

para o exercício físico aeróbio; como exemplo, de forma crônica a fototerapia combinada ao treinamento de força não apresenta maiores efeitos que o treinamento isolado para aumento do perímetro de coxa ou da força em teste de uma repetição máxima (1RM) (FERRARESI et al., 2011).

Além disso, apesar de respostas positivas na função contrátil do músculo esquelético serem verificadas logo após a aplicação da fototerapia (FERRARESI et al., 2012a; de ALMEIDA et al., 2012; BARONI et al., 2010), Leal Junior et al. (2010) testaram um protocolo de exercício físico de seis séries de contrações máximas realizadas com intervalos de 10 minutos e encontraram efeito da fototerapia somente nas cinco últimas séries, sugerindo respostas mais efetivas no atraso da fadiga e manutenção dos estoques de energia do que no potencial de gerar maiores valores de contração máxima.

São poucos estudos que descrevem o efeito da fototerapia combinada a exercícios anaeróbios; análises de expressão gênica associada à hipertrofia e sinalizações intramusculares auxiliariam a compreender os mecanismos agudos e crônicos dessa intervenção. Em contrapartida, respostas verificadas em exercícios físicos aeróbios são muito promissoras, aguda e cronicamente (PAOLILLO et al., 2013; de MARCHI et al., 2012; VIEIRA et al., 2012).

Paolillo et al. (2013) utilizaram a fototerapia aplicada durante treinamento em esteira rolante em um estudo longitudinal com duração de seis meses e verificaram maiores efeitos em comparação ao treinamento isolado para parâmetros cardiovasculares como FC e duplo produto, além de menor PSE, maior equivalente metabólico e tempo de permanência em exercício de intensidade constante.

Além disso, a associação da fototerapia ao treinamento de nove semanas em cicloergômetro resultou em efeitos positivos no índice de fadiga avaliado em dinamômetro isocinético que não foram encontradas na amostra que realizou o treinamento isolado (VIEIRA et al., 2012); os autores creditaram esses efeitos à maximização dos mecanismos enzimáticos, mitocondriais e metabólicos após a utilização da fototerapia (HAYWORTH et al., 2010; LEAL JUNIOR et al., 2010; BAKEEVA et al., 1993).

Tais respostas são relevantes para o entendimento dos efeitos crônicos da fototerapia em exercícios físicos aeróbios, em especial os que foram descritos e se mantiveram positivos por longos períodos (PAOLILLO et al.,

2013; VIEIRA et al., 2012). De forma aguda, a fototerapia apresenta efeito significativo e positivo no  $VO_{2m\acute{a}x}$ , em valores de  $VO_2$  e FC submáximos, e no tlim (ALVES et al., 2014; de MARCHI et al., 2012), sendo que com a aplicação prévia da fototerapia a resposta periférica ao exercício físico parece ser aprimorada por um período específico variando de um a 10 minutos (LEAL JUNIOR et al., 2010).

Comparado ao número absoluto de pesquisas com fototerapia, não são muitas as que tiveram como objetivo principal verificar parâmetros relacionados ao exercício físico, e sim utilizaram o exercício físico para demonstrar possíveis respostas da fototerapia (BORSA et al., 2013). Nenhum estudo, até o presente momento, verificou o efeito da fototerapia no comportamento respiratório periférico e central durante avaliações não invasivas e em situações reais de exercício físico. Tendo em vista os efeitos descritos sobre o metabolismo aeróbio, a análise da cinética do  $VO_2$  durante exercícios de carga constante pode auxiliar na compreensão dos mecanismos de ação da fototerapia no exercício físico aeróbio.

### **3.2 Cinética do consumo de oxigênio ( $VO_2$ )**

A análise da cinética do  $VO_2$  pode indicar modificações na demanda energética durante a transição repouso-exercício físico em função do comportamento respiratório de trocas gasosas, sendo utilizada como um recurso robusto para avaliação da capacidade aeróbia ou de tolerância ao exercício físico (JONES; POOLE, 2005ab; JONES; CARTER, 2000).

Logo ao início dessa transição, repouso-exercício físico, uma redução drástica nas concentrações de ATP é evitada por modificações imediatas na atividade da CK e na taxa glicolítica, simultaneamente a mitocôndria é estimulada a aumentar a taxa de fosforilação oxidativa e o  $VO_2$ , conseqüentemente, também se eleva (JONES; BURNLEY, 2009). Os valores energéticos requeridos para atender à demanda do exercício físico, juntamente com diversos fatores influenciadores da cinética do  $VO_2$ , determinam o comportamento dessa variável do repouso à estabilidade.

Pesquisas realizadas com modelos animais (HOWLETT; HOGAN, 2003; GRASSI et al., 2002) ou com metodologias invasivas em humanos (GRASSI et al., 1996) buscaram verificar os ajustes do metabolismo oxidativo, após o início

de um exercício físico, diretamente no músculo ativo. Entretanto, em função de implicações práticas e éticas, a maioria dos estudos envolvendo seres humanos utiliza parâmetros do comportamento de trocas gasosas ao nível de trato respiratório superior para esse fim (MURIAS et al., 2011; di MENNA et al., 2010; SANTANA et al., 2007)

Diante disso, a cinética do  $VO_2$  reflete respostas centrais e indiretamente periféricas (BURNLEY; JONES, 2007) a partir de um comportamento respiratório expresso em três fases distintas: a fase I ou cardiodinâmica; a fase II, composta por um  $A'_1$  e por um  $A'_2$ , e a fase III ou estabilidade do  $VO_2$  (MURIAS et al., 2011; JONES; BURNLEY, 2009; GRASSI et al., 1996)

A fase I ocorre nos segundos iniciais do exercício e reflete um atraso no transporte de gases do músculo ativo aos pulmões, devido a isso, o aumento observado no  $VO_2$  é reflexo de um maior trabalho cardíaco associado a um maior retorno venoso e fluxo sanguíneo pulmonar (MURIAS et al., 2011; GRASSI et al., 1996; BARSTOW et al., 1990).

Diversos estudos assumem a fase I como um período fixo de aproximadamente 20 segundos, excluindo essa fase dos ajustes exponenciais utilizados para descrever a cinética do  $VO_2$ , de forma que a fase II iniciaria ao mesmo tempo para qualquer indivíduo (JONES et al., 2004; JONES et al., 2003; BELL et al., 1999). A utilização de tempo fixo parece plausível com o comportamento fisiológico da fase I; entretanto, modificações cardiovasculares relacionadas principalmente ao avanço da idade podem afetar significativamente a duração dessa fase (MEZZANI et al., 2010), e conseqüentemente as interpretações do comportamento da fase II (MURIAS et al., 2011).

Após esse momento inicial, o aumento no  $VO_2$  expresso pela fase II reflete as mudanças no metabolismo oxidativo muscular, com menores concentrações de  $O_2$  transferidas ao sangue venoso (ROSSITER et al., 2001; POOLE et al., 1991). Nessa fase, o aumento no  $VO_2$  pode ser representado somente pelo  $A'_1$ , no qual o  $VO_2$  se eleva rapidamente de forma exponencial até atingir a estabilidade, ou, dependendo da intensidade de exercício, soma-se um custo adicional de  $O_2$ , o  $A'_2$ , o qual atrasa a obtenção da estabilidade, resultando em valores de  $VO_2$  maiores que os preditos pela relação carga vs  $VO_2$  (JONES; BURNLEY, 2009; GRASSI, 2006; JONES; POOLE, 2005b).

Tendo em vista a resposta independente do  $A'_1$  e do  $A'_2$ , a determinação monoexponencial dessa fase pode afetar de forma substancial a interpretação fisiológica de cada componente, em especial sobre a influência de diferentes intensidades de exercício (BURNLEY et al., 2000; GERBINO et al., 1996; BARSTOW et al., 1993).

Além disso, o cálculo do  $A'_2$  também pode ser realizado a partir de constantes fixas de tempo, analisando-se as diferenças entre o 6º e 2º minutos, ou entre o 6º e o 3º minutos de esforço (KOPPO; BOUCKAERT, 2002; 2001; KOGA et al., 1997). Entretanto, Santana et al. (2007) e Carter et al. (2000a) verificaram que, comparado a uma análise bi-exponencial da fase II, o método de tempos fixos subestima a magnitude do  $A'_2$  e conseqüentemente altera a duração real do  $A'_1$ .

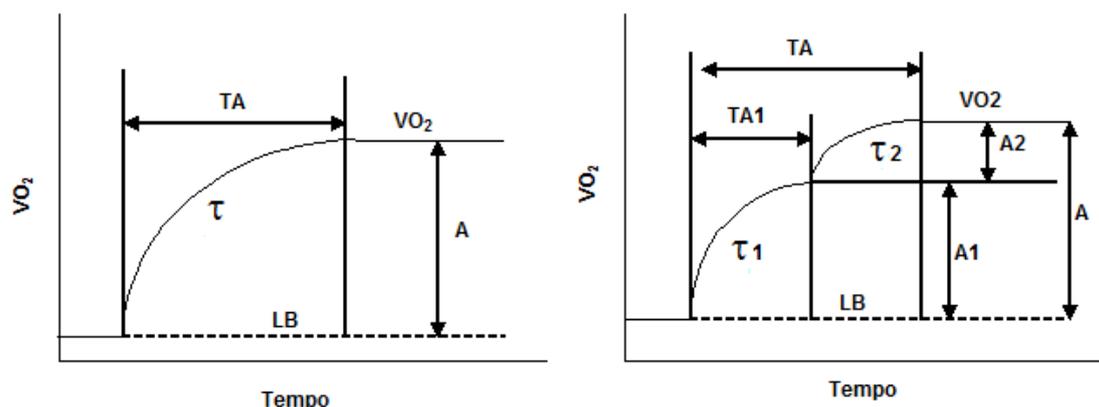
Algumas limitações também precisam ser consideradas no uso de modelos matemáticos para determinação do  $A'_2$ , especialmente quando intensidades muito elevadas de exercício não permitem a obtenção de um estado estável de  $VO_2$ , nesse caso os ajustes exponenciais não discriminam o  $A'_2$  de forma confiável. Além disso, em protocolos com apenas uma transição, a variabilidade biológica entre respirações pode limitar a interpretação fisiológica por ajustes matemáticos (SANTANA et al., 2007).

Após a elevação do  $VO_2$  nas fases I e II, com comportamento dependente da intensidade de esforço, o estado estável do  $VO_2$  (fase III) pode ser obtido dentro de três a cinco minutos em indivíduos saudáveis (LINNARSSON, 1974; WHIPP; WASSERMAN, 1972), representando a máxima eficiência energética muscular para dada intensidade de esforço (HUGHSON et al., 2000).

Diante do exposto, a utilização da modelagem matemática adequada para destacar as fases e componentes da cinética do  $VO_2$ , garantindo a robustez do significado fisiológico na análise do comportamento respiratório é tão importante quanto o protocolo utilizado para sua determinação.

As fases são expressas sequencialmente, iniciando logo após o começo do exercício físico com tempos de ocorrência e transição independentes (HIRAI et al., 2010; CARTER et al., 2002a; PRINGLE et al., 2003 BURNLEY et al., 2000). A figura a seguir demonstra os parâmetros da cinética do início do exercício à estabilidade do  $VO_2$  em um modelo mono e bi-exponencial

(desconsiderando a fase cardiodinâmica do modelo). Sendo LB: linha de base; A: amplitude de aumento do  $\text{VO}_2$ ; A1: amplitude do componente primário; A2: amplitude do componente lento;  $\tau$ : constante tempo;  $\tau_1$ : constante de tempo do componente primário;  $\tau_2$ : constante de tempo do componente lento; TA, tempo para atingir a estabilidade do  $\text{VO}_2$ ; TA1, tempo para o início do componente lento.



**Figura 5.** Parâmetros utilizados para descrever a cinética do  $\text{VO}_2$ , em um modelo monoexponencial (figura à esquerda) e bi-exponencial (figura à direita) (CAPUTO, 2003).

### 3.2.1 Fatores influenciadores e estratégias que podem modificar a cinética do $\text{VO}_2$

Na tentativa de determinar estratégias que possivelmente modificariam a *performance* aeróbia e a cinética do  $\text{VO}_2$ , diversos estudos descreveram intervenções e respostas fisiológicas que influenciam e determinam a ocorrência, amplitude e duração das três fases da cinética do  $\text{VO}_2$  (do NASCIMENTO et al., 2014; di MENNA et al., 2010; FUKUBA et al., 2002).

As primeiras intervenções basearam-se na hipótese de que uma maior disponibilidade de  $\text{O}_2$  aceleraria a cinética do  $\text{VO}_2$  (MACDONALD et al., 1997; HUGHSON; KOWALCHUK, 1995; HUGHSON; MORRISEY, 1983), uma vez que evidências sugeriam que o exercício físico realizado em hiperóxia apresentava menor déficit de  $\text{O}_2$  (LINNARSSON et al., 1974), cinética acelerada e menor  $A'_2$ , especialmente quando realizados em intensidades superiores ao limiar anaeróbio (LAn) (MACDONALD et al., 1997).

Analisando sob outro ponto de vista, reduções induzidas na capacidade de transporte de  $\text{O}_2$  em função de diversas intervenções (utilização de beta bloqueadores, diferentes posições corporais e hipóxia induzida) tornaram as

primeiras fases da cinética do  $VO_2$  mais lentas (HUGHSON et al., 1995; HUGHSON et al., 1992; HUGHSON, 1984). Assim, considerar a disponibilidade e transporte do  $O_2$  como um potencial influenciador da cinética do  $VO_2$ , limitando ou aprimorando a velocidade de seus componentes, parecia plausível (GRASSI et al., 2006; TSCHAKOVSKY; HUGHSON, 1999; XU; RHODES, 1999).

Outra intervenção aguda, amplamente utilizada na prática e objeto de diversos estudos relacionados à *performance* aeróbia e cinética do  $VO_2$ , é a realização de um aquecimento ou uma sessão prévia de exercício físico (BAILEY et al., 2009; BURNLEY et al., 2002; FUKUBA et al., 2002). Essa intervenção surte efeito no aumento do  $A'_1$  (do NASCIMENTO et al., 2014; BURNLEY et al., 2006; BURNLEY et al., 2002) e especialmente na redução do  $A'_2$  (do NASCIMENTO et al., 2014; BAILEY et al., 2009; BURNLEY et al., 2006).

O efeito na cinética do  $VO_2$  decai gradativamente após as séries prévias de exercício físico, sendo que até 45 minutos após a realização de um esforço prévio no domínio pesado o  $A'_1$  permanece maior, e até 30 minutos após exercício prévio o  $A'_2$  permanece reduzido, seguindo o mesmo padrão de tempo para a remoção do lactato sanguíneo (60 minutos), e com efeito mais prolongado comparado ao tempo necessário para o retorno de valores basais de  $VO_2$  (10 minutos) (BURNLEY et al., 2006).

Diversas respostas fisiológicas decorrentes do exercício prévio circundam esse efeito na cinética do  $VO_2$ , dentre elas: vasodilatação, maior disponibilidade de  $O_2$ , atividade enzimática e temperatura corporal, elevação nas concentrações de lactato sanguíneo, melhor padrão de dissociação de oxiemoglobina e diferenças no padrão de recrutamento de fibras musculares durante o exercício físico (BAILEY et al., 2009; PRINGLE et al., 2003; BURNLEY et al., 2002; BURNLEY et al., 2000).

Para verificar quais dessas respostas efetivamente influenciaram a cinética do  $VO_2$ , Fukuba et al. (2002) realizaram um estudo com uma série prévia de exercício físico em um grupo muscular diferente do músculo alvo, as respostas evidenciaram que esse protocolo não afetou os componentes da cinética do  $VO_2$  e gerou menor hiperemia no músculo alvo; porém, padrões

similares de concentração de lactato sanguíneo foram obtidos em comparação ao protocolo de série prévia em mesmo grupo muscular.

Baseado nisso, Burnley et al. (2006) contestaram a influência das concentrações prévias de lactato nas fases da cinética do  $\text{VO}_2$ , especialmente em relação ao início do  $\text{A}'_2$  (POOLE et al., 1991; POOLE et al., 1988; ROSTON et al., 1987), e apontaram essa variável como apenas um bom marcador de outros processos que efetivamente modulam as respostas do  $\text{VO}_2$  durante o exercício.

Essa teoria é confirmada em estudos com modelo animal e infusão de lactato no músculo ativo, sem efeito no  $\text{VO}_2$  durante exercício de carga constante (POOLE et al., 1994; POOLE et al., 1991); e em humanos, uma vez que concentrações de lactato sanguíneo já se apresentaram significativamente elevadas no sangue venoso momentos antes da ocorrência do  $\text{A}'_2$  (BARSTOW, 1994).

Os resultados de outros estudos também contrapõem algumas das respostas fisiológicas inicialmente descritas como influenciadores da cinética do  $\text{VO}_2$ . Bailey et al. (2009) verificaram que mesmo após a hiperemia e as concentrações de hemoglobina e mioglobina no músculo ativo retornarem a valores basais (20 minutos após série prévia de exercício físico), a cinética do  $\text{VO}_2$  permaneceu acelerada, e Koga et al. (1997) demonstraram que um aumento de até  $3,5^\circ\text{C}$  na temperatura do músculo, sem alteração na temperatura central, não afeta os componentes da fase II da cinética.

Além desses autores, di Menna et al. (2010) verificaram que a FC e o  $\text{VO}_2$  aumentados no início do exercício físico não alteraram os componentes da cinética quando não acompanhados de um aumento prévio na taxa de trabalho muscular. Wilkerson et al. (2005) não encontraram efeito da administração de eritropoietina e a consequente elevação da concentração de eritrócitos nas fases da cinética do  $\text{VO}_2$  para qualquer domínio de intensidade.

Esses resultados auxiliam a diferenciar os fatores que efetivamente influenciam as fases da cinética do  $\text{VO}_2$  daqueles que apenas marcam a ocorrência de suas fases; dentre eles, as respostas periféricas relacionadas a alterações no padrão de recrutamento de fibras musculares são as mais promissoras (HIRAI et al., 2010; PRINGLE et al., 2003; BURNLEY et al., 2002)

Esse entendimento é fortalecido em estudos que demonstram que a maior atividade eletromiográfica causada por séries de exercício físico prévias ao teste de cinética do  $VO_2$  está relacionada à elevação do  $A'_1$  (BURNLEY et al., 2002). Uma maior ativação de fibras musculares do tipo II está diretamente associada ao início precoce e ao  $A'_2$ , e indiretamente relacionada à contribuição do  $A'_1$  no tempo total da cinética do  $VO_2$  (BAILEY et al., 2009; PRINGLE et al., 2003; BURNLEY et al., 2002), além disso, o percentual de fibras do tipo I ativas no músculo vasto lateral durante exercício físico correlaciona-se negativamente à magnitude do  $A'_2$  (PRINGLE et al., 2003).

Grassi et al. (2006) trataram dos fatores que influenciam parâmetros respiratórios, apontando menor relevância da disponibilidade e transporte de  $O_2$  como fator determinante da cinética do  $VO_2$ . Para os autores, a avaliação da capacidade funcional cardiovascular em transportar  $O_2$  aos músculos ativos é especialmente relacionada ao  $VO_{2máx}$ , enquanto a análise do metabolismo oxidativo muscular, perante diferentes padrões de recrutamento de unidade motoras, determina a cinética do  $VO_2$ .

A relação entre a atividade periférica do músculo ativo e a cinética do  $VO_2$  foi verificada no estudo de Hirai et al. (2010). Sabendo que maiores cadências de pedalada em cicloergômetro são responsáveis por maior ativação de fibras musculares rápidas (MACINTOSH et al., 2000), os autores testaram as respostas da cinética do  $VO_2$  em testes de carga constante com 35 e 115 rpm, e verificaram na maior cadência de pedalada um maior  $A'_2$ , acompanhado pontualmente por uma elevação na atividade neuromuscular e aumento nas concentrações de lactato sanguíneo, resultante de maior recrutamento de fibras musculares do tipo II.

Outro aspecto tratado na literatura e relevante para o entendimento dos fatores que podem influenciar a cinética respiratória é o volume muscular envolvido no exercício físico (ROBERTS et al., 2005; KOGA et al., 2001). Sugere-se que exercícios físicos que envolvam menores massas musculares resultem em uma cinética mais rápida em função da melhor perfusão e eficiência cardiovascular para atender a região ativa (CLAUSEN et al., 1976).

Porém, Koga et al. (2001) não encontraram diferenças nas fases da cinética do  $VO_2$  comparando exercício físico realizado em cicloergômetro executado com uma ou duas pernas. Os autores assumiram o conceito

apontado por Grassi et al. (2006) de que a velocidade de transporte e maior disponibilidade de  $O_2$  não limita a cinética e, como as diferentes condições não alteraram o comportamento eletromiográfico, não haveria razão para uma aceleração da cinética com menor volume de massa muscular ativa.

Roberts et al. (2005) encontraram resposta similar de parâmetros da cinética do  $VO_2$  comparando o exercício físico realizado em ergômetro de remo e em cicloergômetro, sendo que mesmo com maior volume muscular ativo no remo, o padrão concêntrico de contração e geração de força foi similar entre os modos de exercício.

Além disso, tendo em vista as adaptações periféricas que um treinamento físico sistematizado pode proporcionar, Carter et al. (2000b) verificaram que seis semanas de treinamento de corrida intervalado e contínuo tiveram efeito especialmente no  $A'_2$ . Os autores sugeriram que essa resposta mostra-se relacionada ao menor recrutamento de fibras musculares menos eficientes (tipo II) na mesma intensidade de exercício físico após o treinamento.

O aumento na densidade mitocondrial e na atividade de enzimas aeróbias também são respostas ao treinamento que podem contribuir para modificações nos parâmetros da cinética (COGGAN et al., 1992). Entretanto, Phillips et al. (1995) verificaram que poucos dias de treinamento já surtem efeito significativo na cinética do  $VO_2$  mesmo sem causar modificações na atividade enzimática; apenas com a continuidade do treinamento a aceleração da cinética associou-se ao aumento de atividade enzimática, fortalecendo a ideia de que um conjunto de fatores periféricos podem influenciar o comportamento respiratório.

Outros estudos também apontam efeito positivo do treinamento para parâmetros da cinética do  $VO_2$ , especialmente na redução da contribuição do  $A'_2$ ; entretanto, alguns deles consideram uma intensidade fixa para os momentos pré e pós-intervenção, e como melhoras em limiares metabólicos e no  $VO_{2máx}$  também são obtidas com o treinamento, provavelmente há uma subestimação do domínio de intensidade de esforço ao fim da intervenção e uma superestimação dos efeitos do treinamento nos componentes da cinética do  $VO_2$  (BERGER et al., 2006; WOMACK et al., 1995).

Além de todos os fatores potencialmente influenciadores da cinética do  $VO_2$  já citados, o ritmo circadiano, que determina quase todas as variáveis

fisiológicas, especialmente em função da temperatura corporal (DRUST et al., 2005), também parece ter efeito sobre a cinética do  $VO_2$  (HILL, 1996). Entretanto, os resultados de alguns estudos mostram-se contraditórios e aparentemente dependentes do modo de exercício físico realizado. Na corrida, Carter et al. (2002b) encontraram menor  $A'_1$  às 12h00min, comparado às 06h00min e 18h00min; em exercício físico realizado em cicloergômetro, mesmo com a variação esperada sobre a temperatura corporal, Santana et al. (2008) não verificaram diferença entre os horários de avaliação (08h00min, 13h00min e 18h00min).

Apesar de serem fortes influenciadores da cinética do  $VO_2$ , os fatores abordados neste capítulo também são afetados pelo domínio de intensidade e modo de exercício selecionado para um exercício físico de carga constante, sendo assim, também devem ser considerados na análise do comportamento respiratório.

### **3.2.2 Domínios de intensidade de esforço**

A intensidade de realização do exercício físico determina diretamente a ocorrência, amplitude e o tempo de cada fase da cinética do  $VO_2$ , sendo de extrema importância seu controle e manipulação para a obtenção de respostas do comportamento respiratório. Tradicionalmente três domínios de intensidade são descritos: moderado, pesado e severo (GAESSER; POOLE, 1996; WHIPP, 1987). Além destes domínios, Hill et al. (2002) e Hughson et al. (2000) também descreveram um domínio superior conhecido como extremo. Nessa intensidade a exaustão ocorre antes que o  $VO_{2máx}$  possa ser atingido; entretanto, são poucos os estudos que adotam esse domínio de esforço no desenho experimental (BURNLEY; JONES, 2007).

O domínio moderado engloba intensidades de exercício físico abaixo da intensidade de ocorrência do limiar aeróbio (LAer), no qual o  $VO_2$  aumenta de forma monoexponencial até atingir um estado estável e a concentração de lactato sanguíneo não se eleva significativamente acima dos valores de repouso (JONES; POOLE, 2005a; CARTER et al., 2002a).

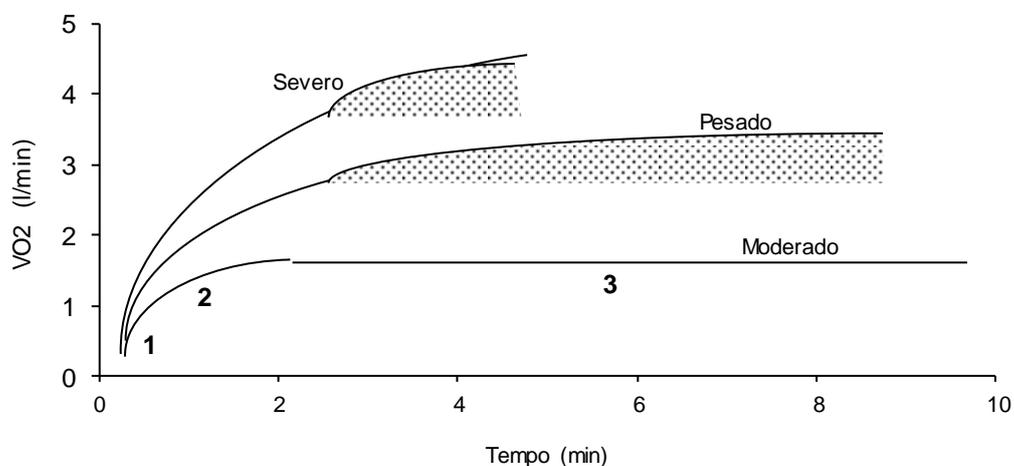
Nesse domínio as três fases da cinética do  $VO_2$  podem ser identificadas após um pequeno atraso representado pela fase cardiodinâmica. O  $VO_2$  eleva-se exponencialmente até atingir o estado estável aproximadamente três

minutos após o início do exercício físico (BARSTOW, 1994; WHIPP; WARD, 1990; WHIPP, 1987).

O domínio pesado encontra-se entre as intensidades de ocorrência do LAer e LAn, no qual a cinética do  $VO_2$  assume um comportamento mais complexo com um estado estável tardio uma vez que, mesmo sendo mantido um incremento exponencial na fase II, há um aumento adicional e lento do  $VO_2$ , o  $A'_2$ . Nessa intensidade de esforço a ocorrência e magnitude do  $A'_2$  estão temporalmente relacionadas ao acúmulo de lactato sanguíneo, o qual apresenta concentrações superiores aos valores de repouso, mas ainda estáveis (CARTER et al., 2002a; GAESSER; POOLE, 1996; BARSTOW, 1994).

O domínio severo representa intensidades de esforço acima da intensidade de ocorrência do LAn, sem estabilidade nas concentrações de lactato sanguíneo, que aumentam até o fim do exercício. Nesse domínio o  $VO_2$  não se estabiliza e os valores de  $VO_{2máx}$  podem ser atingidos ao final do exercício físico (BURNLEY; JONES, 2007). O  $A'_2$  apresenta magnitude significativamente maior em comparação ao domínio pesado e dependente da duração do esforço (GAESSER; POOLE, 1996; WHIPP, 1987).

A figura abaixo representa as três fases da cinética (indicadas na figura pelos números 1, 2 e 3) para os três domínios de esforço descritos (moderado, pesado e severo); as áreas sombreadas nos domínios pesado e severo representam o  $A'_2$ .



**Figura 6.** Resposta do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) a exercícios de carga constante nos domínios de intensidade moderado, pesado e severo (adaptado de GAESSER; POOLE, 1996).

Pringle et al. (2003) analisaram o comportamento da cinética do  $VO_2$  determinada em exercício físico realizado em cicloergômetro nos três domínios de esforço. Como esperado, para a intensidade de domínio moderado, os sujeitos não apresentaram o  $A'_2$ , a amplitude e duração da fase I, o  $A'_1$ , o valor de  $VO_2$  na fase III e o delta lactato (pré e pós-exercício) foram menores comparados às intensidades de domínios pesado e severo. Na intensidade de domínio pesado o  $A'_1$  e  $A'_2$ , o valor de  $VO_2$  na fase III e o delta lactato (valores pós – pré-teste) foram menores em comparação à intensidade de domínio severo. Além disso, o percentual de fibras musculares do tipo I não se mostrou diretamente relacionado ao tempo do componente primário e ao  $A'_2$  nos domínios pesado e severo de esforço.

Da mesma forma, Carter et al. (2002a) utilizaram a esteira rolante como ergômetro para verificar o efeito de diferentes intensidades de esforço na cinética do  $VO_2$ . Os autores sugeriram que com o aumento da intensidade o  $A'_2$  parece ocorrer precocemente, a amplitude da fase I +  $A'_1$  e o valor de  $VO_2$  na fase III aumentam. A conclusão do estudo apontou que o ganho no  $A'_1$  em exercício físico realizado em esteira rolante não foi diretamente proporcional ao aumento da intensidade como observado no ciclismo; assim, o comportamento linear desse componente em esteira precisa ser tratado com cautela.

O comportamento respiratório na transição repouso–exercício físico também foi verificado na natação, modalidade em que uma maior magnitude do  $A'_1$  e maiores valores de  $VO_2$  ao final do esforço foram encontrados em intensidades de domínio severo comparado ao domínio pesado; além disso, valores de  $VO_{2máx}$  foram encontrados apenas no domínio severo (PESSÔA FILHO et al., 2012).

Todas as diferentes respostas da cinética do  $VO_2$  obtidas a partir da manipulação da intensidade levam a crer que os domínios de esforço descritos na literatura determinam diretamente os parâmetros respiratórios; entretanto, essas respostas também parecem ser dependentes do ergômetro ou modalidade esportiva escolhida para avaliação (PESSÔA FILHO et al., 2012; PRINGLE et al., 2003; CARTER et al., 2002a).

### **3.2.3 Modos de exercícios físico**

Tendo em vista que o padrão de recrutamento de fibras musculares mostra-se como um dos influenciadores da cinética do  $VO_2$ , evidências apontam que diferentes modos de exercício físico, com regimes de contração específicos, provocam efeitos distintos nas fases da cinética (PRINGLE et al., 2003; PRINGLE et al., 2002; PERREY et al., 2001).

O estudo de Roberts et al. (2005) foi o primeiro a analisar o comportamento da cinética do  $VO_2$  em exercício físico realizado em um ergômetro de remo e compará-lo a um cicloergômetro. Apesar do remo ativar os principais músculos de membros superiores e inferiores, aproximadamente o dobro do volume muscular requisitado no cicloergômetro, não houve diferença nos parâmetros da cinética; os autores concluíram que não houve efeito do volume de massa muscular recrutado nos diferentes modos de exercício físico, e creditaram a semelhança no comportamento respiratório ao padrão de contração predominantemente concêntrico nas duas atividades.

Resposta similar foi encontrada por Koga et al. (2001), com resultados que demonstraram o mesmo padrão de atividade eletromiográfica e o mesmo padrão respiratório em todas as fases da cinética do  $VO_2$  para exercício físico em cicloergômetro realizado com uma ou com duas pernas.

Por outro lado, Pringle et al. (2002) verificaram o efeito de diferentes regimes de contração muscular na cinética do  $VO_2$ , comparando um exercício físico realizado em esteira rolante sem inclinação e com aclave. Os autores observaram que na corrida em aclave houve um aumento significativo da contribuição do  $A'_2$  em função de uma maior ativação muscular concêntrica, e conseqüentemente, uma relevante oclusão do fluxo sanguíneo e menor eficiência da bomba muscular, dificultando o retorno venoso e a remoção de metabólitos, favorecendo um maior recrutamento de fibras musculares do tipo II.

No ciclismo, assim como na corrida em aclave, a contração predominante é a concêntrica, caracterizada por um maior gasto metabólico em relação à excêntrica, o que leva a crer que também existem diferenças consideráveis na cinética do  $VO_2$  entre esses dois modos de exercício físico (corrida e ciclismo) (SCHNEIDER et al., 2002).

Carter et al. (2000a) compararam exercícios físicos realizados em esteira rolante e cicloergômetro em diferentes domínios de esforço (utilizando o LAn e o  $VO_{2máx}$  como referência) e não encontraram diferença para parâmetros de tempo na modelagem matemática da cinética do  $VO_2$  entre os modos de exercício. Entretanto, os parâmetros de amplitude mostraram-se significativamente diferentes: na corrida o  $A'_1$  foi maior e o  $A'_2$  foi menor comparado ao ciclismo. As principais causas reportadas pelos autores para os resultados encontrados incluem: maior contração isométrica de membros superiores no ciclismo, maior tensão muscular na fase concêntrica do ciclismo resultando uma isquemia cíclica e um aproveitamento da energia elástica nos ciclos de contração e relaxamento na corrida.

Hill et al. (2003) verificaram em domínio severo de esforço que, além de maior  $A'_1$  e menor  $A'_2$  para corrida em relação ao ciclismo, os componentes de tempo também foram alterados em função do modo de exercício físico, sendo que o  $A'_1$  e a obtenção do  $VO_{2máx}$  ocorreram mais rapidamente na corrida em relação ao ciclismo.

Alguns estudos apontaram respostas controversas em relação ao  $A'_2$  obtido na corrida, identificando-o até mesmo como “virtualmente” inexistente (JONES; MCCONNELL, 1999; BILLAT et al., 1998), o que pode interferir na relação entre modos de exercício físico. A limitação principal desses estudos está na forma de determinação do  $A'_2$ , calculado a partir da diferença entre o fim do exercício e o 3º minuto (delta do 6º ao 3º minuto). Desta forma, em domínios mais intensos de esforço as respostas de  $A'_2$  podem estar acopladas ao  $A'_1$ , uma vez que o início do  $A'_2$  pode ocorrer a partir do 2º minuto de esforço (HILL et al., 2003; CARTER et al., 2000a). Além disso, como na corrida o componente primário ocorre mais rapidamente comparado ao ciclismo, esse ajuste delta pode mascarar drasticamente a contribuição do  $A'_1$  e  $A'_2$  (HILL et al., 2003; CARTER et al., 2000a).

Comparações de esforços realizados em cicloergômetro de braço e de perna sugeriram que a cinética do  $VO_2$  em membros superiores é mais lenta que em membros inferiores (KOGA et al., 1996; CASABURI et al., 1992). Tais respostas fortalecem a influência do tipo de fibra muscular nas fases da cinética, uma vez que a proporção de fibras musculares do tipo I em membros

inferiores é de aproximadamente 50% do total e apenas 30% em membros superiores (JOHNSON et al., 1973).

Koppo et al. (2002) reportaram que para um mesmo domínio de esforço a eficiência mecânica de exercícios físicos realizados em membros superiores é menor do que em membros inferiores. Os autores também verificaram que para exercícios realizados a 90% do  $VO_{2máx}$  o componente primário foi mais duradouro, o componente lento foi tardio e apresentou maior amplitude para exercícios realizados com membros superiores em relação aos inferiores; essa resposta se deve ao maior e mais precoce recrutamento de fibras musculares do tipo II nos exercícios de membro superior.

Estudos também apontam outras diferenças relevantes entre os modos de exercício físico, como maior influência da cadência de movimento para exercícios de membro inferior em relação a membro superior (HIRAI et al., 2010; SMITH et al., 2006), e um maior efeito do ritmo circadiano para corrida em comparação ao ciclismo, provavelmente em função de maior variabilidade diária da rigidez articular e da massa corporal, fatores que podem influenciar significativamente a economia de movimento e as respostas de  $VO_2$  durante a corrida (DRUST et al., 2005; SANTANA et al., 2008; CARTER et al., 2002b).

# 4 MÉTODOS

---

---

## 4.1 Amostra

Participaram do estudo 26 homens jovens que atenderam aos seguintes critérios de inclusão: hígidos, com liberação cardiológica para execução dos protocolos de esforço máximo do presente estudo, idade entre 20 e 30 anos, classificação normal para índice de massa corporal (IMC) e fisicamente ativos (Questionário Internacional de Atividade Física – IPAQ – ANEXO I); e critérios de exclusão: ter sofrido lesão muscular recente, ter doença óssea ou articular de membro inferior, utilizar medicamentos ou suplementos nutricionais de efeito ergogênico e realizar treinamento sistematizado de corrida.

Os participantes tiveram as medidas antropométricas mensuradas em laboratório por um único avaliador experiente em tais avaliações, para minimizar possíveis erros entre avaliadores. Massa corporal e estatura foram aferidas utilizando-se procedimentos padronizados, para o cálculo do percentual de gordura (%G) foram medidas sete dobras cutâneas utilizando-se o compasso Harpenden<sup>®</sup>: peitoral, tricipital, subescapular, suprailíaca, axilar média, abdominal e coxa. As dobras cutâneas foram medidas três vezes, adotando-se a média dessas avaliações como valor final. A densidade corporal foi determinada a partir do protocolo de sete dobras de Jackson e Pollock (1978) e em seguida, o %G foi calculado utilizando-se a equação de Siri (1961).

As características dos sujeitos foram (média  $\pm$  desvio padrão): Idade 27,8  $\pm$  1,7 anos, massa corporal 78,6  $\pm$  9,1 kg, estatura 178,1  $\pm$  5,9 cm, índice de massa corporal (IMC) 24,9  $\pm$  2,4 e gordura corporal 17,5  $\pm$  4,0 %.

A participação foi voluntária, cada participante foi informado dos procedimentos e implicações do estudo, assinando o termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO II). O protocolo do estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa local (#147.362/2012) (ANEXO III).

## 4.2 Delineamento Experimental

Os participantes realizaram cinco visitas em dias distintos, no mesmo horário e em laboratório climatizado ( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ) (ANEXO IV e V). As visitas foram divididas da seguinte maneira:

- 1ª visita: Familiarização ao ergômetro específico de avaliação, e avaliação antropométrica referente à massa corporal, estatura e dobras cutâneas para determinação do %G.
- 2ª e 3ª visitas: Testes de carga incremental nas condições experimentais Placebo (PLA) e LED terapia (LED).
- 4ª e 5ª visitas: Testes de carga constante destinados à análise da cinética do  $\text{VO}_2$ , no domínio de intensidade pesado e nas duas condições experimentais (PLA e LED).

As condições experimentais do teste de carga incremental e retangular foram realizadas em ordem aleatória com controle duplo cego, com um segundo pesquisador controlando os dias de condição LED ou PLA, ligando ou não o aparelho para emissão de energia. Durante a aplicação da LED terapia, os sujeitos permaneceram sentados com os pontos de aplicação em membros inferiores livres e, para evitar a identificação da condição experimental por parte dos sujeitos por meio dos sinais sonoros e visuais emitidos pelo aparelho, foi utilizado fone de ouvido com música e vendas para os olhos durante toda a aplicação da LED terapia.

O intervalo mínimo entre os testes foi de 48 e o máximo de 72 horas em um período máximo de três semanas. Os participantes foram orientados a seguir o mesmo cardápio nutricional e se absterem do consumo de bebidas alcoólicas e/ou estimulantes nas 24 horas antecedentes aos testes, além de evitar exercícios extenuantes durante o período de execução do projeto.

## 4.3 Teste de Carga Incremental

O teste de carga incremental de corrida foi realizado em esteira rolante (Inbramed Super ATL, Porto Alegre, Brasil) precedido por um aquecimento de três minutos a  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ; a velocidade do estágio inicial foi de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  com incrementos de  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a cada três minutos, sendo mantida uma inclinação constante de 1% durante todo o teste (MACHADO et al., 2013ab). Os testes

incrementais foram mantidos até a exaustão voluntária, com encorajamento verbal para a permanência máxima em esforço.

Durante todo o teste foram monitoradas as trocas gasosas com dados coletados respiração a respiração (Quark<sup>®</sup>, Cosmed, Itália); os dados de  $VO_2$  obtidos foram reduzidos a médias com intervalos de 15 segundos para determinação do  $VO_2$  submáximo ( $VO_{2sub}$ ), e o maior valor obtido durante todo o teste incremental, dentro desses intervalos, foi considerado como o  $VO_{2máx}$ . A primeira intensidade de ocorrência do  $VO_{2máx}$  foi considerada a velocidade de  $VO_{2máx}$  ( $vVO_{2máx}$ ) (BILLAT et al., 1994a; BILLAT et al., 1994b).

A observação do platô do  $VO_2$  ao fim do teste de carga incremental foi considerada para se estabelecer a ocorrência do  $VO_{2máx}$  (MIDGLEY et al., 2007). Caso esse fenômeno não tenha sido observado, considerou-se a ocorrência de pelo menos dois dos três critérios secundários: 1)  $LA_{pico} \geq 8$  mmol·L<sup>-1</sup> (ASTRAND, 1952), 2)  $FC_{máx} \geq 95\%$  da frequência cardíaca máxima predita pela equação baseada em idade “ $206 - (0,7 \times idade)$ ” (TANAKA et al., 2001) e 3)  $PSE_{máx} \geq 19$  na escala de Borg de 6-20 pontos (HOWLEY et al., 1995).

A velocidade pico ( $V_{pico}$ ) foi considerada como a máxima intensidade atingida nos testes incrementais; caso o participante não tenha concluído um estágio, as intensidades foram ajustadas a partir da equação proposta por Kuipers et al. (2003):

$$V_{pico} = V_{completado} + t/T \times \text{incremento de velocidade}$$

Sendo,  $V_{completado}$ : a intensidade do último estágio completado; t: o tempo (segundos) em que o participante permaneceu no estágio incompleto; T: a duração total (segundos) de cada estágio; e o incremento da velocidade é a taxa de aumento em cada estágio.

O LV foi determinado pelo método do equivalente ventilatório, considerando-se a intensidade em que ocorre um aumento abrupto do equivalente ventilatório de  $O_2$  ( $VE/VO_2$ ) sem aumento concomitante do equivalente ventilatório de  $CO_2$ , e pelo método do excesso de  $CO_2$ , intensidade em que ocorre um aumento não linear na produção de  $CO_2$  (BAILEY et al.,

2009; PRINGLE et al., 2003; GASKILL et al., 2001). O  $VO_2$  referente ao LV também foi determinado ( $VO_{2LV}$ ).

Antes de cada teste de carga incremental os sistemas de análise do  $O_2$  e  $CO_2$  foram calibrados com ar ambiente e com gás de concentrações conhecidas de  $O_2$  (16%) e  $CO_2$  (5%), enquanto a turbina bi-direcional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L, seguindo todas as recomendações do fabricante.

A FC também foi monitorada durante todo o teste (RS800, Polar®, Finlândia) com os dados reduzidos a intervalos de 15 segundos para a determinação da  $FC_{sub}$ , o maior valor encontrado durante o teste foi considerado a  $FC_{máx}$ . Antes do teste, os participantes foram familiarizados com a escala de 6 a 20 de Borg (Borg et al., 1982), utilizada para mensurar a percepção subjetiva de esforço (PSE) nos 10 segundos finais de cada estágio e no momento de exaustão ( $PSE_{max}$ ).

Amostras de 25 $\mu$ l de sangue capilarizado foram coletadas do lóbulo da orelha nos momentos pré ( $LA_{pré}$ ) e pós-teste ( $LA_{0min}$ ), ao 3° ( $LA_{3min}$ ), 5° ( $LA_{5min}$ ), 7° ( $LA_{7min}$ ), 9° ( $LA_{9min}$ ), 11° ( $LA_{11min}$ ), 13° ( $LA_{13min}$ ), e 15° ( $LA_{15min}$ ) minutos após a finalização dos testes, para determinar o comportamento do lactato sanguíneo nas condições PLA e LED. As amostras de sangue foram armazenadas em tubos tipo Eppendorff contendo 50 $\mu$ l de fluoreto de sódio (NaF) a 1%, e analisadas em aparelho eletroquímico (YSL 2300 STAT, *Yellow Springs* - Ohio, USA) para determinação das concentrações de lactato sanguíneo. A concentração pico de lactato sanguíneo ( $LA_{pico}$ ) foi definida para cada participante como a maior concentração de lactato sanguíneo pós-exercício obtida entre o minuto 0 e 15°. Também foram calculados os valores delta para  $LA_{pico}$  e  $LA_{pré}$  ( $\Delta LA_{pico}-LA_{pré}$ ),  $LA_{pico}$  e  $LA_{15min}$  ( $\Delta LA_{pico}-LA_{15min}$ ), e  $LA_{15min}$  e  $LA_{pré}$  ( $\Delta LA_{15min}-LA_{pré}$ ).

#### 4.4 Teste de Carga Retangular

A intensidade dos testes de carga retangular foi estabelecida a partir dos parâmetros determinados pelo teste incremental PLA. A determinação da intensidade individual em domínio de esforço pesado (50% $\Delta$ ) foi realizada como mostrado abaixo (PRINGLE et al., 2003):

$$50\% \Delta = LV + 0,50 \times (VO_{2\text{máx}} - LV)$$

Para cada condição experimental (PLA e LED) foram realizadas duas transições de seis minutos na intensidade determinada, com um intervalo de 30 minutos de repouso passivo entre elas (BURNLEY et al., 2006). A FC e as trocas gasosas foram monitoradas durante as duas transições. Antes de cada teste de carga retangular o sistema de análise de gases foi calibrado conforme padronização supracitada.

#### 4.5 Análise da cinética do $VO_2$

Os dados de respiração a respiração do  $VO_2$  de cada transição dos testes de carga retangular foram alisados para três pontos de respiração e filtrados manualmente para remoção dos pontos de  $VO_2$  *outliers*, esses dados foram posteriormente interpolados linearmente para a obtenção de valores com intervalos a cada segundo (total de 360 segundos). Em seguida, os dados referentes às duas transições foram alinhados, e assim calculadas as médias para os valores do  $VO_2$  com o objetivo de acentuar as características fundamentais das respostas fisiológicas (PESSÔA FILHO et al., 2012).

Os primeiros 20 segundos de dados após o início do exercício, representando a fase cardiodinâmica, foram excluídos da análise (WHIPP; ROSSITER, 2005). Um algoritmo não-linear de quadrados mínimos foi usado para ajustar os dados, como descrito pela equação abaixo:

$$VO_2(t) = VO_{2\text{base}} + A_1 \times (1 - e^{-(t-TA)/\tau})$$

Sendo,  $VO_2(t)$  o  $VO_2$  absoluto em um determinado tempo  $t$ ;  $VO_{2\text{base}}$  a média de 30 segundos do  $VO_2$  no período *baseline*;  $A_1$  é a amplitude;  $TA$  é o tempo de atraso; e  $\tau$  é a constante de tempo.

Um processo de interações foi usado para minimizar o erro da soma dos quadrados entre a função ajustada e os valores observados, e a janela de ajuste foi restringida ao momento em que uma saída fundamental da monoexponencialidade ocorreu, a julgar pela inspeção visual de uma parcela

dos resíduos do ajuste (VANHATALO et al., 2011; BURNLEY et al., 2006). A amplitude absoluta primária ( $A'_1$ ) foi definida como a soma do  $VO_{2base}$  e  $A_1$ . O  $VO_2$  final da transição ( $VO_{2final}$ ) foi definido como a média de 30 segundos de  $VO_2$  medido ao fim de cada transição. O  $A'_2$  foi calculado como a diferença entre a amplitude absoluta primária e o  $VO_{2final}$ . A contribuição relativa do  $A'_2$  no aumento líquido de  $VO_2$  ao fim do exercício ( $A'_2\%$ ) também foi calculada:

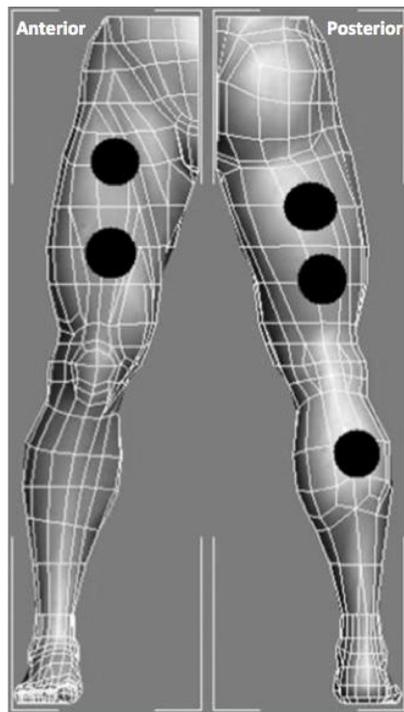
$$\%A'_2 = A'_2 / (A_1 + A'_2) \times 100$$

Também foi determinado o valor líquido de  $VO_2$  obtido nesses testes ( $VO_{2líquido}$ ), subtraindo-se o  $VO_{2base}$  do  $VO_{2final}$ , e o percentual do  $VO_{2final}$  comparado ao  $VO_{2máx}$  obtido durante teste incremental máximo ( $VO_{2máx}\%$ )

#### 4.6 LED terapia

O protocolo de aplicação da LED terapia teve duração total de dois minutos e 30 segundos (30 segundos por ponto, com aplicação nas duas pernas simultaneamente), sendo repetidos os mesmos procedimentos nas condições PLA e LED, respeitando-se a ausência ou presença da emissão de luz para cada condição. A intervenção foi iniciada cinco minutos antes dos testes de carga incremental e antes de cada transição dos testes de carga retangular, utilizando-se o método pontual com contato direto do equipamento sobre o local irradiado, em uma angulação de  $90^\circ$  à superfície cutânea (LEAL JUNIOR et al., 2011; LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009b).

A aplicação foi realizada em duas regiões do músculo quadríceps, duas regiões do músculo bíceps femoral e uma região do músculo gastrocnêmio, ao longo do eixo de distribuição das fibras musculares, em ambas as pernas (ALVES et al., 2014; TOMA et al., 2013; de MARCHI et al., 2012;), como exemplificado pela figura 7.



**Figura 7** - Pontos de aplicação do LED (adaptado de LEAL JUNIOR et al., 2011)

Foi utilizado o equipamento de LED da marca THOR<sup>®</sup>, com dois *clusters* de 104 diodos de LED infravermelho cada, o equipamento e os parâmetros técnicos são apresentados abaixo:



**Figura 8.** Unidade de controle e clusters do Equipamento de LED terapia da empresa THOR<sup>®</sup>.

**Tabela 1.** Parâmetros para aplicação da LED terapia

---

Número de diodos: 104
Comprimento de onda: 850 nm
Frequência: 0-1500 Hz
Potência de saída: 30 mW
Área do LED: 0,2 cm <sup>2</sup> por diodo
Densidade da potência: 150 mW/cm <sup>2</sup>
Energia irradiada por diodo: 0,9 J
Energia total irradiada: 93,6 J por <i>cluster</i>
Densidade da energia: 4,5 J/cm <sup>2</sup>
Tempo de exposição: 30 segundos por ponto

---

#### 4.7 Análise Estatística

Para análise dos dados foi utilizada estatística descritiva com a apresentação das variáveis em média  $\pm$  desvio padrão (DP) por meio do pacote estatístico SPSS 15,0. A normalidade dos dados foi testada por meio do teste Shapiro-Wilk. As condições PLA e LED foram comparadas utilizando-se o teste *t* de *Student* para amostras dependentes e o teste de *Wilcoxon* em função da comprovação ou não da normalidade dos dados. O nível de significância adotado foi de  $P < 0,05$ . Como análise complementar foram calculados os tamanhos de efeito (TE) para determinação da magnitude de mudança de cada condição, utilizando-se a fórmula abaixo:

$$TE = (M1 - M2) / ((DP1 + DP2) / 2)$$

Sendo, M1 e M2 as médias das condições, e DP1 e DP2 os desvios padrões das respectivas médias. O TE foi classificado de acordo com Cohen (1988) como:  $\leq 0,20$  (trivial), entre 0,21 e 0,50 (pequeno), entre 0,51 e 0,80 (moderado) e  $> 0,80$  (grande).

## 5 RESULTADOS

A comparação entre as condições PLA e LED para as variáveis obtidas em teste incremental máximo estão apresentadas na tabela 2. A condição LED apresentou efeito especialmente nas variáveis máximas quando comparado à condição PLA, com maiores tamanhos de efeito encontrados para  $FC_{máx}$  (TE moderado) e  $PSE_{máx}$  (TE pequeno). A  $vVO_{2máx}$  ocorreu mais próxima ao fim do teste incremental para a condição LED ( $97,42 \pm 1,94$  % da  $V_{pico}$ ) do que para a condição PLA ( $96,90 \pm 3,43$  % da  $V_{pico}$ ).

**Tabela 2.** Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED terapia (LED) para as variáveis obtidas em teste de carga incremental máximo: tempo total, consumo máximo de oxigênio absoluto e relativo ( $VO_{2máx}$ ), velocidade referente ao  $VO_{2máx}$  ( $vVO_{2máx}$ ), velocidade pico ( $V_{pico}$ ), limiar ventilatório (LV),  $VO_2$  referente ao LV ( $VO_{2LV}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{máx}$ ), percepção subjetiva de esforço máxima ( $PSE_{máx}$ ) e lactato pico ( $LA_{pico}$ ).

Teste Incremental	PLA (n = 26)	LED (n = 26)	P	TE
Tempo total (s)	1338,4 ± 213,3	1362,7 ± 209,1	<0,001	0,11
$VO_{2máx}$ (ml·min <sup>-1</sup> )	3722,9 ± 530,1	3808,4 ± 532,3	0,027	0,16
$VO_{2máx}$ (ml·kg·min <sup>-1</sup> )	47,2 ± 5,7	48,0 ± 5,4	0,045	0,13
$vVO_{2máx}$ (km·h <sup>-1</sup> )	13,0 ± 1,3	13,2 ± 1,2	0,105	0,16
$V_{pico}$ (km·h <sup>-1</sup> )	13,4 ± 1,2	13,6 ± 1,2	<0,001	0,11
LV (km·h <sup>-1</sup> )	11,2 ± 0,8	11,3 ± 0,9	0,154	0,12
$VO_{2LV}$ (ml·kg·min <sup>-1</sup> )	40,1 ± 4,6	41,3 ± 4,3	0,005	0,26
$FC_{máx}$ (b·min <sup>-1</sup> )	195,3 ± 3,4	193,3 ± 3,9	0,018	0,53
$PSE_{máx}$	20,0 ± 0,0	19,9 ± 0,2	0,327	0,40
$LA_{pico}$ (mmol·L <sup>-1</sup> )	10,0 ± 1,8	9,8 ± 1,7	0,280	0,12

As tabelas 3 e 4 mostram o comportamento do lactato sanguíneo antes e após os testes incrementais máximos. Entre o 13<sup>o</sup> e 15<sup>o</sup> minutos após o teste incremental as concentrações de lactato sanguíneo foram estatisticamente menores para a condição LED comparado à PLA, ademais, a partir do 9<sup>o</sup>

minuto o TE entre as condições passou de trivial para pequeno, ainda indicando menores concentrações para o grupo LED até o 15º minuto. Analisando-se o  $\Delta LA_{15\text{min}} - LA_{\text{pré}}$ , a condição LED foi significativamente mais eficiente comparado à condição PLA em remover o lactato sanguíneo, aproximando-se dos valores de repouso 15 minutos após o teste máximo. Na condição LED, 77% dos sujeitos atingiram o  $LA_{\text{pico}}$  ao 3º minuto após o teste máximo e apenas 58% dos sujeitos na condição PLA, já ao 5º minuto após o teste, 96% dos sujeitos na condição LED e apenas 85% na condição PLA já haviam atingindo o  $LA_{\text{pico}}$ ; para ambos os grupos a remoção foi constante até 15º minuto.

**Tabela 3.** Comparação e tamanho de efeito (TE) das concentrações de lactato sanguíneo pré-teste ( $LA_{\text{pré}}$ ) e pós-teste incremental ( $LA_{0\text{min}}$ ,  $LA_{3\text{min}}$ ,  $LA_{5\text{min}}$ ,  $LA_{7\text{min}}$ ,  $LA_{9\text{min}}$ ,  $LA_{11\text{min}}$ ,  $LA_{13\text{min}}$ ,  $LA_{15\text{min}}$ ), lactato pico ( $LA_{\text{pico}}$ ) e deltas  $LA_{\text{pico}}$  e  $LA_{\text{pré}}$  ( $\Delta LA_{\text{pico}} - LA_{\text{pré}}$ ),  $LA_{\text{pico}}$  e  $LA_{15\text{min}}$  ( $\Delta LA_{\text{pico}} - LA_{15\text{min}}$ ), e  $LA_{15\text{min}}$  e  $LA_{\text{pré}}$  ( $\Delta LA_{15\text{min}} - LA_{\text{pré}}$ ) nas condições placebo (PLA) e LED terapia (LED).

Lactato sanguíneo (mmol·L <sup>-1</sup> )	PLA (n = 26)	LED (n = 26)	P	TE
$LA_{\text{pré}}$	1,1 ± 0,6	1,0 ± 0,4	0,200	0,22
$LA_{0\text{min}}$	8,8 ± 1,5	8,5 ± 1,0	0,226	0,24
$LA_{3\text{min}}$	9,6 ± 1,9	9,6 ± 1,8	0,684	0,002
$LA_{5\text{min}}$	9,5 ± 1,7	9,2 ± 1,5	0,323	0,17
$LA_{7\text{min}}$	9,0 ± 1,6	8,8 ± 1,6	0,231	0,14
$LA_{9\text{min}}$	8,7 ± 1,6	8,4 ± 1,4	0,186	0,22
$LA_{11\text{min}}$	8,2 ± 1,9	7,8 ± 1,3	0,109	0,26
$LA_{13\text{min}}$	7,7 ± 1,9	7,2 ± 1,3	0,030	0,31
$LA_{15\text{min}}$	7,3 ± 2,8	6,6 ± 1,3	0,001	0,30
$\Delta LA_{\text{pico}} - LA_{\text{pré}}$	8,9 ± 1,7	8,7 ± 1,5	0,694	0,07
$\Delta LA_{\text{pico}} - LA_{15\text{min}}$	2,7 ± 1,2	3,1 ± 1,2	0,130	0,34
$\Delta LA_{15\text{min}} - LA_{\text{pré}}$	6,1 ± 1,8	5,6 ± 1,2	0,034	0,34

**Tabela 4.** Frequência da ocorrência do lactato pico pós-teste incremental máximo nas condições placebo (PLA) e LED terapia (LED) para o número absoluto e relativo de sujeitos.

Momento	PLA (n = 26)	LED (n = 26)
0 minuto	4 (15,4%)	3 (11,5%)
3º minuto	11 (42,3%)	17 (65,4%)
5º minuto	7 (26,9%)	5 (19,2%)
7º minuto	1 (3,9%)	0
9º minuto	3 (11,5%)	1 (3,9%)

As tabelas 5, 6 e 7 apresentam os valores submáximos das variáveis FC, PSE e  $VO_2$  mensuradas a cada estágio de incremento de velocidade em teste incremental máximo. Foram contabilizados apenas os estágios submáximos completados pelos sujeitos nas duas condições (PLA e LED). Para as três variáveis ocorreram diferenças entre as condições apenas em estágios posteriores ao aquecimento, especialmente para o  $VO_2$  com diferenças a partir do 12º minuto de teste (3º estágio -  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Também não houve diferença significativa entre condições no último estágio ( $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) para PSE e  $VO_2$ .

**Tabela 5.** Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED Terapia (LED) para a variável frequência cardíaca submáxima ( $FC_{\text{sub}}$ ), mensurada a cada estágio de incremento de velocidade, excluindo-se o estágio em que foi encontrado o valor máximo de FC para cada sujeito.

$FC_{\text{sub}}$ ( $\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ )	PLA	LED	P	TE
Aquecimento - $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 26)	$107 \pm 11,9$	$108 \pm 12,1$	0,737	0,06
1º Estágio - $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 26)	$143 \pm 13,0$	$138 \pm 12,8$	<0,001	0,37
2º Estágio - $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 26)	$156 \pm 13,1$	$152 \pm 13,3$	0,003	0,33
3º Estágio - $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 26)	$169 \pm 9,5$	$162 \pm 13,1$	<0,001	0,6
4º Estágio - $11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 26)	$176 \pm 9,8$	$170 \pm 12,7$	<0,001	0,53
5º Estágio - $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 24)	$182 \pm 8,3$	$178 \pm 10,0$	<0,001	0,49
6º Estágio - $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 16)	$185 \pm 7,5$	$181 \pm 9,8$	0,005	0,50
7º Estágio - $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 9)	$187 \pm 4,9$	$183 \pm 6,6$	0,065	0,66
8º Estágio - $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n = 4)	$191, \pm 4,3$	$184 \pm 2,6$	0,029	2,03

**Tabela 6.** Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED Terapia (LED) para a variável percepção subjetiva de esforço submáxima ( $PSE_{sub}$ ), mensurada a cada estágio de incremento de velocidade, excluindo-se o estágio em que foi encontrado o valor máximo de PSE para cada sujeito.

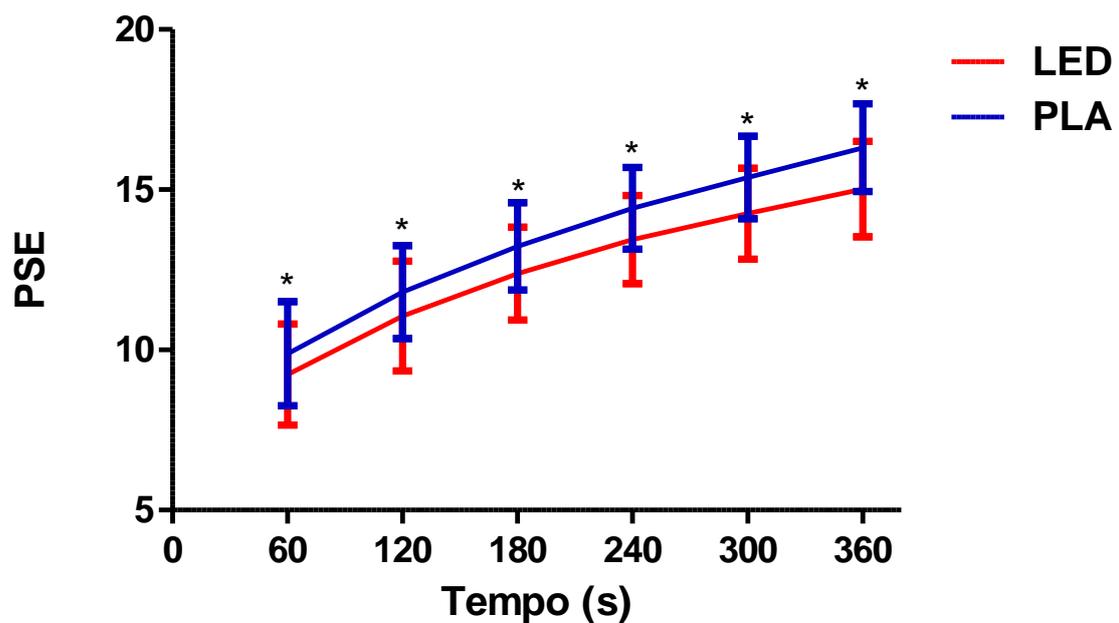
$PSE_{sub}$	PLA	LED	P	TE
Aquecimento - 6 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	7,2 ± 0,6	7,2 ± 0,5	0,664	0,08
1º Estágio – 8 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	8,9 ± 1,2	8,1 ± 1,2	0,001	0,60
2º Estágio – 9 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	10,8 ± 1,8	9,8 ± 1,6	0,001	0,56
3º Estágio – 10 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	12,6 ± 2,4	11,7 ± 2,1	0,002	0,42
4º Estágio – 11 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	14,5 ± 2,4	13,5 ± 2,4	0,002	0,41
5º Estágio – 12 km·h <sup>-1</sup> (n = 24)	15,8 ± 1,6	15,1 ± 1,8	0,005	0,41
6º Estágio – 13 km·h <sup>-1</sup> (n = 16)	17,8 ± 1,9	17,1 ± 2,0	0,020	0,36
7º Estágio – 14 km·h <sup>-1</sup> (n = 9)	18,6 ± 1,5	17,8 ± 1,7	0,023	0,50
8º Estágio – 15 km·h <sup>-1</sup> (n = 4)	19,3 ± 1,0	18,3 ± 1,3	0,252	0,87

**Tabela 7.** Comparação e tamanho de efeito (TE) entre as condições placebo (PLA) e LED Terapia (LED) para a variável consumo de oxigênio submáximo ( $VO_{2sub}$ ), mensurada a cada estágio de incremento de velocidade, excluindo-se o estágio em que foi encontrado o valor máximo de  $VO_2$  para cada sujeito.

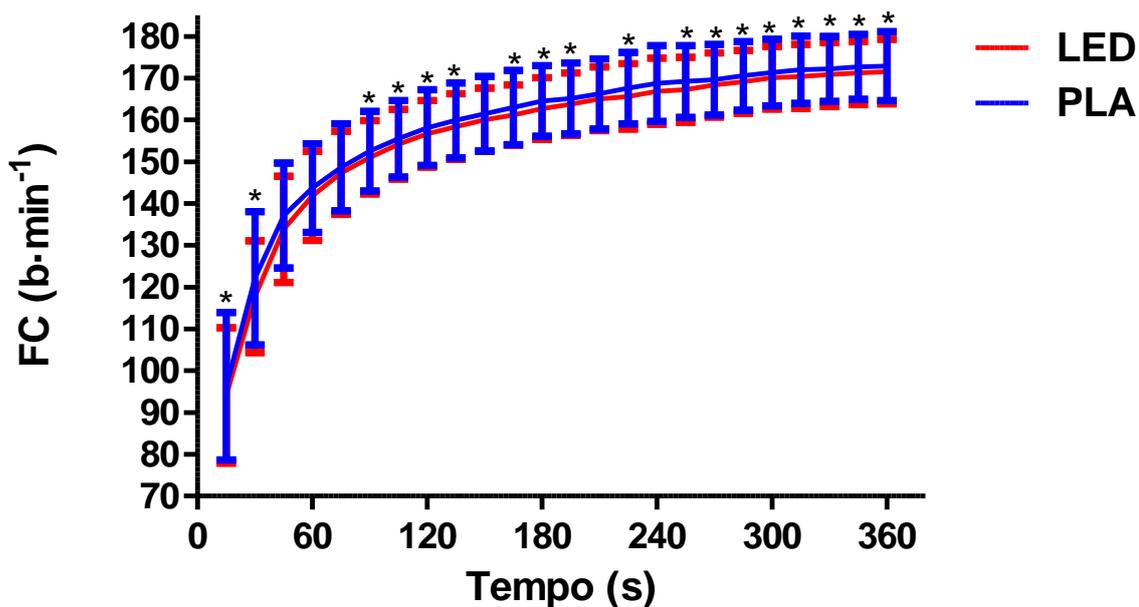
$VO_{2sub}$ (ml·kg·min <sup>-1</sup> )	PLA	LED	P	TE
Aquecimento - 6 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	17,0 ± 2,8	17,3 ± 3,1	0,246	0,12
1º Estágio – 8 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	27,4 ± 3,0	28,1 ± 3,1	0,056	0,21
2º Estágio – 9 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	32,3 ± 3,3	32,9 ± 3,0	0,095	0,20
3º Estágio – 10 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	35,5 ± 3,7	36,4 ± 3,1	0,040	0,25
4º Estágio – 11 km·h <sup>-1</sup> (n = 26)	38,4 ± 3,9	39,3 ± 3,5	0,018	0,23
5º Estágio – 12 km·h <sup>-1</sup> (n = 24)	41,3 ± 4,2	42,5 ± 4,0	0,005	0,29
6º Estágio – 13 km·h <sup>-1</sup> (n = 16)	44,0 ± 4,5	44,9 ± 3,8	0,054	0,22
7º Estágio – 14 km·h <sup>-1</sup> (n = 9)	46,8 ± 4,9	47,8 ± 4,3	0,127	0,22
8º Estágio – 15 km·h <sup>-1</sup> (n = 4)	47,1 ± 3,5	49,0 ± 1,7	0,220	0,73

As figuras 9, 10 e 11 mostram os valores de PSE a cada 60 segundos, FC e  $VO_2$  a cada 15 segundos dos testes de carga retangular nas condições LED e PLA, as variáveis são apresentadas a partir da média dos valores das

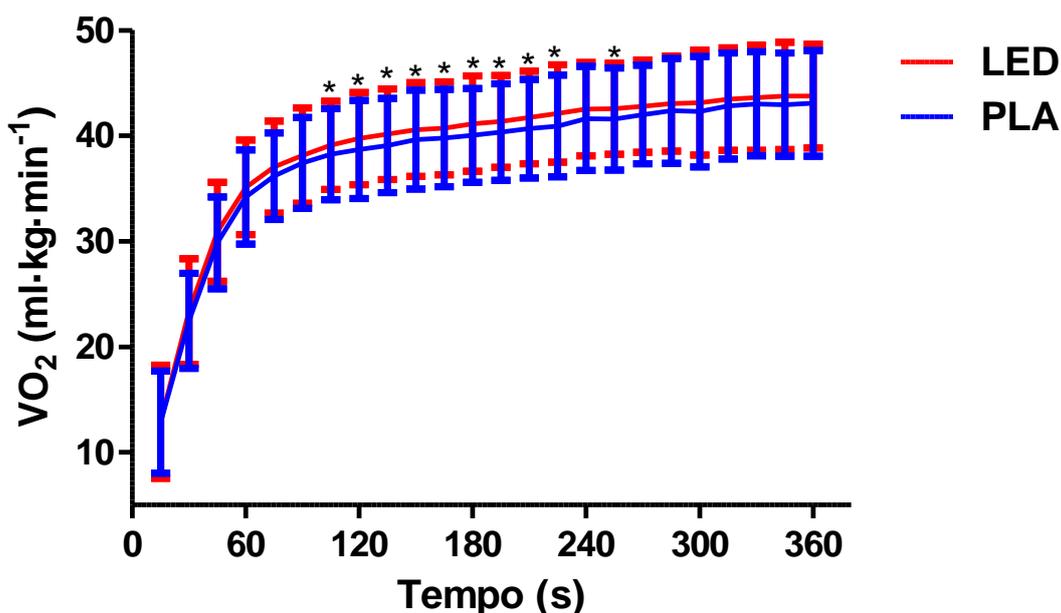
duas transições de cada condição. Os valores relatados de PSE apresentaram diferença para as duas condições nos seis momentos de avaliação, com menores valores para a condição LED comparados a condição PLA; a condição LED também apresentou valores numéricos menores de FC durante os seis minutos do teste de carga retangular, no entanto, diferenças estatísticas entre condições não foram encontradas entre os 45 e 75 segundos, aos 210 e aos 240 segundos; por sua vez o  $VO_2$  apresentou maiores valores para a condição LED comparada à PLA, com diferenças estatísticas entre as condições entre os 105 e 255 segundos de teste retangular.



**Figura 9.** Valores médios  $\pm$  desvio padrão a cada minuto de Percepção Subjetiva do Esforço (PSE) da primeira e segunda transição do teste de carga retangular de seis minutos para as condições LED terapia (LED) e Placebo (PLA) ( $n = 26$ ). \*  $P < 0,05$  entre condições.



**Figura 10.** Valores médios  $\pm$  desvio padrão a cada 15 segundos de frequência cardíaca (FC) da primeira e segunda transição do teste de carga retangular de seis minutos para as condições LED terapia (LED) e Placebo (PLA) ( $n = 26$ ). \*  $P < 0,05$  entre condições.



**Figura 11.** Valores médios a cada 15 segundos de consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) relativo da primeira e segunda transição do teste de carga retangular de seis minutos para as condições LED terapia (LED) e Placebo (PLA) ( $n = 26$ ). \*  $P < 0,05$  entre condições.

A Tabela 8 apresenta os dados referentes à análise da cinética do consumo de oxigênio obtidos durante teste de carga retangular de seis minutos

em domínio pesado de esforço, para as condições PLA e LED. A análise estatística mostrou diferença entre condições apenas para valores absolutos ( $A'_2$ ) e relativos ( $A'_2\%$ ) do componente lento, além disso, a análise complementar demonstrou tamanho de efeito pequeno (0,39) entre condições para o tempo de início do  $A'_2$  ( $TA_2$ ). Para nenhuma das duas condições valores de  $VO_{2máx}$  foram encontrados durante os testes retangulares, sendo registrado valores médios de  $VO_{2final}$  entre 93,3 e 92,9 % do  $VO_{2máx}$  para as condições PLA e LED, respectivamente.

**Tabela 8.** Comparação e tamanho de efeito (TE) das variáveis resultantes da análise da cinética do consumo de oxigênio obtidas durante teste de carga retangular para as condições placebo (PLA) e LED terapia (LED).

Teste Retangular	PLA (n = 26)	LED (n = 26)	P	TE
$VO_{2base}$ (ml·min <sup>-1</sup> )	822,0 ± 240,6	833,0 ± 235,2	0,780	0,05
$A_1$ (ml·min <sup>-1</sup> )	2342,3 ± 436,2	2389,0 ± 329,1	0,365	0,12
$\tau$ (s)	32,5 ± 5,8	32,2 ± 5,3	0,806	0,04
$TA_1$ (s)	2,7 ± 1,5	3,0 ± 1,5	0,476	0,17
$A'_1$ (ml·min <sup>-1</sup> )	3152,8 ± 433,4	3214,1 ± 373,7	0,124	0,15
$TA_2$ (s)	190,4 ± 22,3	199,7 ± 24,7	0,057	0,39
$A'_2$ (ml·min <sup>-1</sup> )	311,8 ± 120,8	262,4 ± 99,3	0,038	0,45
$A'_2\%$	11,8 ± 4,1	9,9 ± 3,5	0,036	0,49
$VO_{2líquido}$ (ml·min <sup>-1</sup> )	2642,5 ± 467,1	2643,5 ± 417,3	0,983	0,01
$VO_{2final}$ (ml·min <sup>-1</sup> )	3462,1 ± 470,2	3480,3 ± 377,7	0,687	0,04
$VO_{2máx}\%$	93,3 ± 6,0	92,9 ± 5,7	0,777	0,07

Nota.  $A_1$  e  $A'_1$ : amplitude absoluta primária com  $y = 0$  e  $y = VO_{2base}$ ,  $\tau$ : constante de tempo,  $TA_1$  e  $TA_2$ : tempos de atraso,  $A'_2$  e  $A'_2\%$ : amplitude do componente lento expresso em valores absolutos e relativos,  $VO_{2final}$ : Média dos 15 segundos finais do teste de carga retangular de 6 minutos,  $VO_{2líquido}$ :  $VO_{2final}$  menos  $VO_{2base}$ ,  $VO_{2máx}\%$ : Percentual do  $VO_{2final}$  em relação ao  $VO_{2máx}$  obtido em teste incremental máximo.

A tabela 9 apresenta as matrizes de correlação das variáveis resultantes da análise da cinética do consumo de oxigênio para as condições experimentais. Para as condições PLA e LED, o  $VO_{2final}$  e  $VO_{2líquido}$  apresentaram altas correlações com o  $A'_1$ , no entanto apenas na condição PLA

essas variáveis apresentaram correlação significativa com o  $A'_2$ , demonstrando menor dependência do  $A'_2$  para a condição LED. As correlações entre as condições experimentais apresentaram-se altas para as variáveis  $VO_{2\text{final}}$ ,  $VO_{2\text{líquido}}$  e também  $A'_1$ , com poder de explicação entre condições, para essas variáveis, de até 79%, no entanto os tempos de atraso e as amplitudes do componente lento absoluta e relativa não apresentaram correlações significativas, demonstrando um desvio significativo em função da aplicação da LED terapia para essas variáveis.

**Tabela 9.** Matriz de correlação das variáveis resultantes da análise da cinética do consumo de oxigênio obtidas durante o teste de carga retangular para a condição placebo (PLA), condição LED terapia (LED) e a correlação entre as condições (PLA x LED).

	$A_1$	$\tau$	$TA_1$	$A'_1$	$TA_2$	$VO_{2\text{final}}$	$A'_2$	$VO_{2\text{líquido}}$	$A'_2\%$
$A_1$	<b>0,81*</b>	<b>0,15</b>	<b>-0,24</b>	<b>0,81*</b>	<b>0,17</b>	<b>0,82*</b>	<b>0,16</b>	<b>0,97*</b>	<b>-0,21</b>
$\tau$	<b>0,10</b>	<b>0,64</b>	<b>0,29</b>	<b>0,27</b>	<b>0,28</b>	<b>0,24</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>-0,15</b>
$TA_1$	<b>0,09</b>	<b>0,21</b>	<b>0,30</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,34</b>
$A'_1$	<b>0,85*</b>	<b>0,26</b>	<b>0,34</b>	<b>0,89*</b>	<b>0,22</b>	<b>0,97*</b>	<b>-0,04</b>	<b>0,75*</b>	<b>-0,35</b>
$TA_2$	<b>-0,02</b>	<b>0,07</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>0,50</b>	<b>0,18</b>	<b>-0,18</b>	<b>0,13</b>	<b>-0,24</b>
$VO_{2\text{final}}$	<b>0,83*</b>	<b>0,33</b>	<b>0,30</b>	<b>0,97*</b>	<b>0,10</b>	<b>0,88*</b>	<b>0,21</b>	<b>0,82*</b>	<b>-0,11</b>
$A'_2$	<b>0,18</b>	<b>0,32</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,42*</b>	<b>0,47</b>	<b>0,39</b>	<b>0,93*</b>
$VO_{2\text{líquido}}$	<b>0,97*</b>	<b>0,16</b>	<b>0,06</b>	<b>0,82*</b>	<b>0,07</b>	<b>0,87*</b>	<b>0,42*</b>	<b>0,84*</b>	<b>0,02</b>
$A'_2\%$	<b>-0,22</b>	<b>0,29</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,16</b>	<b>0,27</b>	<b>0,09</b>	<b>0,92*</b>	<b>0,04</b>	<b>0,37</b>

Nota. **PLA**, **LED**, **PLA x LED**,  $A_1$  e  $A'_1$ : amplitude absoluta primária com  $y = 0$  e  $y = VO_{2\text{base}}$ ,  $\tau$ : constante de tempo,  $TA_1$  e  $TA_2$ : tempos de atraso,  $A'_2$  e  $A'_2\%$ : amplitude do componente lento expresso em valores absolutos e relativos,  $VO_{2\text{final}}$ : Média dos 15 segundos finais do teste de carga retangular de 6 minutos,  $VO_{2\text{líquido}}$ :  $VO_{2\text{final}}$  menos  $VO_{2\text{base}}$ .

## 6 DISCUSSÃO

---

---

O objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da LED terapia no comportamento do  $\text{VO}_2$  durante testes de corrida com carga incremental e retangular. Os principais resultados evidenciaram aumento do consumo máximo e submáximo de oxigênio obtido em teste de carga incremental máximo e retangular submáximo com a aplicação da LED terapia quando comparado à condição placebo. Além disso, o comportamento respiratório da transição repouso-exercício, evidenciado pela análise da cinética do  $\text{VO}_2$ , também apresentou resposta à intervenção, especialmente em relação à redução da contribuição do componente lento.

Com o intuito de determinar estratégias que modificassem a *performance* aeróbia e o comportamento respiratório no início do exercício, diversos estudos descreveram intervenções e respostas fisiológicas que poderiam influenciar a cinética do  $\text{VO}_2$  e a ocorrência, duração e amplitude de suas fases (do NASCIMENTO et al., 2014; BAILEY et al., 2009; BURNLEY et al., 2006).

As primeiras intervenções basearam-se na hipótese de que a disponibilidade de  $\text{O}_2$  alteraria a cinética do  $\text{VO}_2$  (MACDONALD et al., 1997; HUGHSON; KOWALCHUK, 1995; HUGHSON; MORRISEY, 1983), com evidências de que o exercício físico realizado sob condição de hiperóxia apresentou menor déficit de  $\text{O}_2$  (LINNARSSON et al., 1974), cinética do  $A'_1$  acelerada e menor  $A'_2$  (MACDONALD et al., 1997) e, por outro lado, os exercícios físicos realizados com reduções induzidas na capacidade de transporte de  $\text{O}_2$  tornaram as primeiras fases da cinética do  $\text{VO}_2$  mais lentas (HUGHSON et al., 1995; HUGHSON et al., 1992; HUGHSON, 1984).

Nesse contexto, os efeitos biológicos da fototerapia explicariam as respostas encontradas no grupo LED comparado ao PLA no presente estudo, referentes à menor contribuição do  $A'_2$  para o aumento líquido de  $\text{VO}_2$  no domínio pesado de esforço (tabela 8) e redução do poder de explicação do  $A'_2$  para o  $\text{VO}_{2\text{final}}$  do grupo Placebo (18%) para o grupo LED (4%) .

Uma das respostas da fototerapia que poderia associar-se à maior disponibilidade de oxigênio, mesmo com duração de apenas alguns minutos após a aplicação da luz (LARKIN et al., 2012), é a melhora da vasodilatação promovida pelo aumento da microcirculação e hiperemia no local de aplicação, além dos efeitos sistêmicos e em cascata no metabolismo aeróbio após essa resposta circulatória (LARKIN et al., 2012; MAK; CHEING, 2012; XU et al., 2008; TULLBERG et al., 2003; MAEGAWA et al., 2000).

Os resultados do presente estudo referentes ao maior  $VO_{2máx}$ ,  $VO_{2LV}$  e  $VO_{2sub}$  dos testes de carga incremental e retangular (Tabelas 2 e 7, Figura 11) com a aplicação do LED em comparação à condição PLA são similares aos de outros poucos estudos que verificaram efeito da fototerapia em parâmetros respiratórios (FERRARESI et al., 2015; ALVES et al., 2014, de MARCHI et al., 2012) e que evidenciaram a maior disponibilidade e uso de oxigênio durante exercícios físicos aeróbios após a aplicação da luz. Sendo assim, um ganho no transporte sanguíneo e fornecimento de oxigênio para as células musculares poderia modular a resposta do  $VO_2$  durante o exercício e conseqüentemente o comportamento do  $VO_2$  na transição repouso–exercício.

No entanto, outras respostas fisiológicas ganharam força como possíveis influenciadores do comportamento respiratório em estudos que realizaram uma sessão prévia de exercício físico como intervenção para aprimoramento da *performance* muscular, especialmente quando foram verificados efeitos robustos na cinética do  $VO_2$ , como o aumento do  $A'_1$  e a redução da contribuição do  $A'_2$  (do NASCIMENTO et al., 2014; BAILEY et al., 2009; BURNLEY et al., 2006).

Apesar de outros estudos mostrarem que o  $VO_2$  retorna a valores basais nos primeiros minutos após a intervenção (aproximadamente 10 minutos), o efeito residual da sessão prévia de exercício nos parâmetros de cinética do  $VO_2$  permaneceram alterados, reduzindo gradativamente na primeira hora após o esforço (BURNLEY et al., 2006). Sendo assim, não somente a maior disponibilidade de  $O_2$ , mas também outros fatores, especialmente os periféricos, começaram a ser descritos para explicar essas respostas no comportamento respiratório, como: modificações na atividade enzimática, temperatura corporal, concentração de lactato sanguíneo, dissociação de oxiemoglobina, além do padrão de recrutamento de fibras musculares (BAILEY

et al., 2009; PRINGLE et al., 2003; BURNLEY et al., 2002; BURNLEY et al., 2000).

Para verificar quais dessas respostas efetivamente influenciaram a cinética do  $VO_2$ , Fukuba et al. (2002) realizaram uma série prévia de exercício físico em um grupo muscular diferente do músculo alvo (cicloergômetro de braço e perna, respectivamente), e as respostas evidenciaram que apesar do protocolo ter apresentado pouca hiperemia no músculo alvo e não ter modificado significativamente o comportamento da cinética do  $VO_2$ , as concentrações de lactato sanguíneo foram similares às obtidas em protocolo de série prévia no mesmo grupo muscular.

A importância do lactato sanguíneo tão somente como marcador, e não como modulador do comportamento respiratório (POOLE et al., 1991; POOLE et al., 1988; ROSTON et al., 1987), é confirmada em estudos com modelo animal e infusão de lactato no músculo ativo, sem efeito no  $VO_2$  durante exercício de carga constante (POOLE et al., 1994; POOLE et al., 1991). Em humanos, as concentrações de lactato sanguíneo já se apresentaram significativamente elevadas no sangue venoso momentos antes da ocorrência do  $A'_2$ , mostrando que a maior dependência anaeróbia demonstrada pela cinética do  $VO_2$  não é modulada exclusivamente por esse metabólito (BARSTOW, 1994).

Outras respostas fisiológicas descritas como possíveis influenciadores do comportamento respiratório na transição repouso-exercício também foram testadas. Bailey et al. (2009) verificaram que a cinética do  $VO_2$  permanece acelerada mesmo após a hiperemia e as concentrações de hemoglobina e mioglobina no músculo ativo retornarem a valores basais 20 minutos após a série prévia de exercício físico, e Koga et al. (1997) demonstraram que um aumento de até  $3,5^\circ\text{C}$  na temperatura do músculo, sem alteração na temperatura central, não afeta os componentes da fase II da cinética do  $VO_2$ .

Além disso, di Menna et al. (2010) verificaram que valores de FC e  $VO_2$  aumentados no início do exercício físico não alteraram os componentes da cinética quando não acompanhados de uma maior taxa de trabalho muscular, e Wilkerson et al. (2005) não encontraram efeito da administração de eritropoietina e a consequente elevação da concentração de eritrócitos nas fases da cinética do  $VO_2$  para qualquer domínio de intensidade.

Apesar da fototerapia modificar significativamente as variáveis descritas anteriormente com resultados evidentes na literatura e no presente estudo como: menores valores de  $LA_{\text{pico}}$  e melhor remoção de lactato sanguíneo após exercícios máximos e submáximos (tabela 3 e 4), menor  $FC_{\text{máx}}$  e  $FC_{\text{sub}}$  (Tabela 5 e Figura 10), maior  $VO_{2\text{máx}}$  e  $VO_{2\text{sub}}$  (Tabelas 2 e 7, e Figura 11), modulação da temperatura corporal e da atividade enzimática (BORSA et al., 2013; PAOLILLO et al., 2013; FERRAREZI et al., 2012; DIAS et al., 2011; LEAL JUNIOR, et al., 2010; SILVEIRA et al., 2009; LEAL JUNIOR et al., 2009b; LEAL JUNIOR et al., 2009c), aparentemente não são esses os principais determinantes da cinética do  $VO_2$ . Sendo assim, outros efeitos biológicos da LED terapia poderiam influenciar as modificações do comportamento respiratório no início do exercício físico descritos pelo presente estudo por meio da cinética do  $VO_2$  (Tabela 8).

Respostas periféricas relacionadas a alterações no padrão de recrutamento de fibras musculares explicam parte dessas modificações respiratórias e apresentam efeito pontual na cinética do  $VO_2$ . Burnley et al. (2002) verificaram que maiores amplitudes de  $A'_1$  estão fortemente associadas à maiores atividades eletromiográficas causadas por séries prévias de exercício físico.

Além disso, a maior ativação de fibras musculares do tipo II mostrou-se diretamente associada ao início precoce do  $A'_2$  bem como suas maiores amplitudes, e indiretamente relacionada à contribuição do  $A'_1$  no tempo total da cinética do  $VO_2$  (BAILEY et al., 2009; PRINGLE et al., 2003; BURNLEY et al., 2002; CARTER et al., 2002a; KOPPO et al., 2002; POOLE et al., 1991). Por outro lado, o percentual de fibras do tipo I ativas no músculo vasto lateral durante exercício físico correlacionou-se negativamente à magnitude do  $A'_2$  (PRINGLE et al., 2003).

Hirai et al. (2010) verificaram o efeito da ativação muscular na cinética do  $VO_2$ , testando diferentes cadências de pedalada no cicloergômetro (35 e 115 rpm) em testes de carga constante. Os resultados evidenciaram maior ativação de fibras musculares do tipo II em maiores cadências de pedalada, e nessa condição, maiores  $A'_2$  acompanhadas pontualmente por elevação na atividade neuromuscular e aumento nas concentrações de lactato sanguíneo, resultante de maior recrutamento de fibras musculares do tipo II.

A comparação de diferentes modos de exercício reforça essa dependência periférica de recrutamento de fibras musculares para modificação dos componentes da cinética do  $\text{VO}_2$ . Roberts et al. (2005) comparando exercício no remo e cicloergômetro encontraram tempos e amplitudes similares na análise da cinética do  $\text{VO}_2$ , mesmo que a massa muscular envolvida no primeiro seja aproximadamente o dobro daquela envolvida no segundo modo de exercício, isso porque existe semelhança no padrão de contração predominantemente concêntrico das duas atividades. Esse padrão se confirma no estudo de Koga et al. (2001) para exercício físico em cicloergômetro realizado com uma ou duas pernas.

Por outro lado, diferenças significativas, especialmente no  $A'_1$  e contribuição do  $A'_2$ , são descritas na literatura para a comparação de corrida realizada em esteira rolante com e sem active (PRINGLE et al., 2002), ou até mesmo comparando-se exercícios em cicloergômetro e esteira rolante (HILL et al., 2003; SCHNEIDER et al., 2002, CARTER et al., 2000a). Isso pode ser atribuído ao perfil concêntrico de contração, predominante no cicloergômetro e na corrida em active, que favorece um maior recrutamento de fibras musculares do tipo II em função de uma relevante oclusão do fluxo sanguíneo e menor eficiência da bomba muscular, dificultando o retorno venoso e a remoção de metabólitos (PRINGLE et al., 2002; SCHNEIDER et al., 2002; CARTER et al., 2000a).

Sendo os fatores periféricos fortes influenciadores da cinética do  $\text{VO}_2$  e a LED terapia uma estratégia que efetivamente modificou o comportamento respiratório no presente estudo, alguns efeitos da fototerapia já descritos anteriormente podem explicar os resultados obtidos no presente estudo.

O efeito biológico da fototerapia apresenta-se principalmente relacionado à maior disponibilidade de energia devido ao aumento agudo e crônico da síntese de ATP por vias metabólicas lácticas e aláticas. Estudos demonstram que a atividade enzimática de todos os complexos da cadeia de transporte de elétrons da respiração mitocondrial, de enzimas relacionadas ao metabolismo aeróbio como a SDH e a NADH, e da CK na reconversão da fosfocreatina é aumentada após a aplicação da fototerapia (DIAS et al., 2011; FERRARESI et al., 2011; SILVEIRA et al., 2009), garantindo por mais tempo e em maiores intensidades, uma maior taxa de síntese de ATP pelo metabolismo oxidativo.

Francescato et al. (2013) verificaram o papel da cinética da degradação da fosfocreatina na cinética do  $VO_2$ , e encontraram um comportamento espelho (correlação inversa) dessas variáveis ao início do exercício, com uma explicação de mais de 60% entre a constante de tempo do  $A'_1$  e a degradação de fosfocreatina. Tal resultado foi atribuído ao fato de que no início do exercício físico o ajuste metabólico ao nível muscular é essencialmente dependente de fatores locais (GRASSI, 2006), sendo assim apresenta relação com o tipo de fibra muscular prioritariamente requisitado, e também com fatores centrais como o débito cardíaco.

Sob esta perspectiva, Ferraresi et al. (2011) descreveram um efeito da fototerapia que pode favorecer a ressíntese e como consequência a manutenções de altas concentrações de fosfocreatina durante o início do exercício; por meio do mecanismo de transporte de creatina mitocondrial, no qual a creatina é transportada das regiões que utilizam ATP para a mitocôndria e a fosfocreatina para o sentido oposto e, devido a presença de CK na membrana interna mitocondrial, a creatina reage com o ATP produzido pela fosforilação oxidativa, favorecendo a ressíntese de fosfocreatina.

Outros efeitos agudos e crônicos na própria estrutura e função mitocondrial como: maior biogênese, densidade, número, tamanho e potencial de membrana, também garantem que a fototerapia tenha um efeito ergogênico no metabolismo aeróbio (FERRARESI et al., 2012b; XU et al., 2008; MAINTEFEL; KARU, 2005; AMARAL et al., 2001; MANTEIFEL et al., 1997).

Essa capacidade extra de produção de energia por vias aeróbias e manutenção de estoques elevados de fosfocreatina possibilita que uma maior ativação de fibras musculares do tipo II seja evitada, tornando tardia (durante testes de carga retangular) ou em maiores intensidades (durante testes de carga incremental) a requisição extra e a maior dependência metabólica da ressíntese de ATP por vias anaeróbias. Na análise do comportamento respiratório, isso pode significar menor dependência do  $A'_2$  no aumento líquido do  $VO_2$  e conseqüentemente uma cinética do  $VO_2$  acelerada, tal qual foi verificado no presente estudo.

Tal efeito torna-se mais plausível ao constatar-se a maior sensibilidade dos tecidos musculares oxidativos em relação aos glicolíticos à atividade biomoduladora da fototerapia (HAYWORTH et al., 2010), especialmente na

atividade enzimática do complexo IV da cadeia de transporte de elétrons (citocromo oxidase), à qual apresenta um aumento de 18% para fibras musculares do tipo II, 36% para as intermediárias e de até 54% para as do tipo I. Além disso, verifica-se que, muito similar ao efeito do próprio treinamento físico, a fototerapia favorece uma maior taxa de oxidação de ácidos graxos no músculo ativo e também uma transição de fibras musculares do tipo II para tipo I, mais oxidativas (FERRARESI et al., 2012b; COFFEY; HAWLEY, 2007).

Até onde temos conhecimento apenas um estudo além do nosso verificou o efeito da fototerapia na cinética do  $\text{VO}_2$ . Ferraresi et al. (2015) pesquisaram um único corredor de elite brasileiro ( $\text{VO}_{2\text{máx}} = 67,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ), e encontraram um maior  $t_{\text{lim}}$  para exercício em carga constante (Placebo = 983 s; Fototerapia = 1428 s), menor déficit de  $\text{O}_2$  (Placebo = 139 L; Fototerapia = 131 L),  $A'_1$  acelerado (Placebo = 32 s; Fototerapia = 24 s), e maior  $A'_2$  (Placebo = 220 ml; Fototerapia = 415 ml) na condição fototerapia comparada à placebo.

Esses resultados corroboram parcialmente os do presente estudo; no entanto, Ferraresi et al. (2015) utilizaram cargas no domínio severo de esforço para a análise do comportamento respiratório e nessa alta intensidade de esforço a possibilidade de ativação predominante de fibras musculares oxidativas mostra-se reduzida quando comparada ao domínio de intensidade pesado utilizado no nosso estudo (PRINGLE et al., 2003), aumentando a demanda anaeróbia do exercício e minimizando a chance de efeitos evidentes da fototerapia em algumas fases da cinética do  $\text{VO}_2$  que foram verificados no presente estudo, como é o caso do  $A'_2$ , além disso, a análise de um único sujeito não permite conclusões que possam ser generalizadas e ou extrapoladas.

Grassi (2006) apontou que a avaliação da capacidade funcional cardiovascular em transportar  $\text{O}_2$  aos músculos ativos é especialmente relacionada ao  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , enquanto a análise do metabolismo oxidativo muscular, perante diferentes padrões de recrutamento de unidade motoras, determina a cinética do  $\text{VO}_2$ . Como descrito pelo presente estudo e pelos poucos estudos encontrados na literatura que verificaram parâmetros respiratórios em humanos (FERRARESI et al., 2015; ALVES et al., 2014, de MARCHI et al., 2012), a fototerapia apresenta efeitos em ambos os comportamentos.

Alves et al. (2014) realizaram testes incrementais em cicloergômetro nas condições placebo e fototerapia e encontraram efeito significativo nos valores picos de  $VO_2$  (Placebo =  $31 \pm 9$  e Laser =  $33 \pm 10$  ml·kg·min<sup>-1</sup>). Mas, apesar das respostas cardiorrespiratórias similares ao do nosso estudo, os autores não encontraram efeito na *performance* do teste incremental (Placebo =  $185 \pm 51$  e Laser =  $182 \pm 48$  W de potência pico), creditando isso aos poucos pontos de aplicação do laser (três pontos no quadríceps e um ponto no gastrocnêmio) e ao protocolo intenso no cicloergômetro.

No entanto, apesar de ficar claro que a maior extração de  $O_2$  pela musculatura esquelética após a aplicação do laser não resultou em melhor *performance* muscular em um modo de exercício prioritariamente dependente de fatores periféricos, o estudo de Alves et al. (2014) não pontuou como limitação a utilização de uma amostra mista de homens e mulheres que, mesmo apresentando aptidão física semelhante, possuem diferentes características fisiológicas e volumes musculares (KANG et al., 2006), podendo comprometer a homogeneidade dessa resposta periférica e o resultado do estudo.

Por outro lado, de Marchi et al. (2012) conduziram o primeiro estudo que objetivou verificar o efeito da fototerapia utilizando-se laser de baixa intensidade em parâmetros respiratórios durante teste incremental de corrida em homens e, similar aos resultados do presente estudo, encontraram na condição fototerapia: maior tempo em esforço (Placebo =  $697,3 \pm 83,6$  e Laser =  $711,4 \pm 87,5$  segundos) e  $VO_{2máx}$  relativo (Placebo =  $48,04 \pm 5,27$  e Laser =  $49,14 \pm 5,09$  ml·kg·min<sup>-1</sup>) comparado à condição placebo. Os autores atribuíram as melhoras em parâmetros respiratórios e de *performance*, dentre outros fatores de otimização do metabolismo aeróbio, às respostas positivas da fototerapia sobre o estresse oxidativo, reduzindo os danos oxidativos e aumentando a concentração de antioxidantes (da FONSECA et al., 2012; SILVEIRA et al., 2011; ALBERTINI et al., 2007).

Ainda que os mecanismos de fadiga relacionados ao estresse oxidativo não estejam totalmente elucidados (ALLEN et al., 2008), sabe-se que um maior dano oxidativo está associado a uma redução aguda na função contrátil muscular, favorecendo a fadiga muscular precoce (REID et al., 1992). Esse efeito pode ter contribuído com o aumento de 24 segundos do tempo em

esforço no teste incremental da condição LED comparada à PLA do presente estudo, efeito significativo, clinicamente relevante e com grande projeção para o rendimento esportivo.

Todos esses mecanismos podem auxiliar na explicação de respostas significativas do LED nos parâmetros respiratórios máximos ( $VO_{2máx}$ ) e submáximos ( $VO_{2sub}$ ) do presente estudo, no entanto, sem efeito nas intensidades associadas como o LV e a  $vVO_2$ . Apesar de outros estudos não terem calculado e apresentado a  $vVO_2$ , as intensidades submáximas de limiar aeróbio e anaeróbio, além do próprio  $VO_{2sub}$ , também não apresentaram efeito do laser de baixa intensidade quando comparado à condição placebo em testes incrementais em esteira (de MARCHI et al., 2012) ou cicloergômetro (ALVES et al., 2014).

Essas respostas levam a crer que as modificações causadas pela fototerapia em parâmetros respiratórios, bioquímicos e fisiológicos geram um efeito muito maior de contenção dos mecanismos de fadiga muscular em intensidades máximas do que em *performances* submáximas por meio da modificação de vias de produção de energia marcadas pelos limiares metabólicos. Estudos que verificaram o efeito da fototerapia em séries de contrações musculares máximas auxiliam na confirmação dessa resposta (de ALMEIDA et al., 2012; VIEIRA et al., 2012; de ALMEIDA et al., 2011).

Como demonstrado por Vieira et al. (2012), nove semanas de treinamento físico em cicloergômetro foram suficientes para aprimorar parâmetros máximos de trabalho muscular mensurados em dinamometria isocinética; no entanto, apenas o grupo de sujeitos que combinou treinamento à aplicação de laser obteve melhoras significativas em índice de fadiga das musculaturas extensoras de joelho. Os autores creditaram essa resposta aos efeitos da fototerapia na produção de ATP por vias aeróbias e anaeróbias.

Em acordo com essas respostas, Leal Junior et al. (2009c) encontraram em atletas de voleibol maior número de repetições durante um protocolo de exaustão de exercícios de flexão e extensão de ombros na condição laser quando comparado à condição placebo, concluindo que a fototerapia pode retardar o início da fadiga muscular e a exaustão por mecanismos relacionados à redução do estresse oxidativo e maior fornecimento de energia.

Por meio de uma revisão sistemática com metanálise, Leal Junior et al. (2015) encontraram efeito significativo em favor da fototerapia ( $P = 0,005$ ) quando comparado às condições placebo ou controle para o tempo total de permanência em exercício até a exaustão, confirmando a eficácia do método para a manutenção do esforço em intensidades máximas.

No entanto, o efeito biológico da luz no atraso da fadiga e aumento da *performance* muscular máxima parece não ter efeito imediato após a aplicação da fototerapia. Leal Junior et al. (2010) encontraram efeito do laser em contrações tetânicas estimuladas eletricamente em ratos, o protocolo consistiu em contrações realizadas a cada 10 minutos com duração de 60 minutos, porém somente a partir da segunda contração houve diferenças entre grupo controle e laser para pico de trabalho muscular realizado e para perda de força. Esse tempo é compatível com as respostas máximas de *performance* encontradas no teste incremental do presente estudo (mais que 10 minutos), garantindo a obtenção dos efeitos do LED sobre a fadiga e *performance* muscular não somente em testes de contração máxima, mas também em testes cíclicos de corrida.

Outra variável que no presente estudo apresentou amplas alterações na condição LED comparada à PLA foi a  $FC_{max}$ , com redução média de dois batimentos por minuto, mesmo tendo sido obtida em maiores intensidades de  $V_{pico}$  (PLA = 13,4 e LED = 13,6  $km \cdot h^{-1}$ ) e valores de  $VO_{2max}$  (PLA = 47,2 e LED = 48,0  $ml \cdot kg \cdot min^{-1}$ ), resultando o maior TE das variáveis analisadas no teste incremental (TE da  $FC_{max}$  PLA vs LED = 0,53; efeito moderado); e também a  $FC_{sub}$ , com uma redução média significativa de até sete batimentos por minutos nos estágios intermediários do teste incremental, além de valores estatisticamente menores em aproximadamente 75% do teste de carga retangular da condição LED comparado à PLA.

Apesar desse efeito relevante, foram poucas as pesquisas que analisaram o comportamento de variáveis cardiovasculares após a utilização da fototerapia. Paolillo et al. (2013) realizaram o estudo longitudinal com a aplicação de fototerapia de maior duração já descrito na literatura. Foram seis meses de treinamento em esteira rolante em grupos controle e LED terapia; os principais resultados mostraram que tanto o treinamento isolado em esteira como o combinado com fototerapia melhoraram a FC e o duplo produto

mensurados em uma intensidade submáxima de teste incremental. No entanto, apenas o grupo LED obteve melhoras na velocidade de recuperação da FC após teste incremental máximo, além de maior delta (diferença pré e pós seis meses de treinamento) da FC medida durante o teste incremental, indicando um maior efeito do treinamento combinado à luz na redução do estresse cardíaco (LED = 39 e Controle = 29 b·min<sup>-1</sup>).

Os autores creditaram essa resposta crônica da aplicação da luz aos efeitos repetitivos da vasodilatação periférica e uma maior indução à angiogênese como resposta da maior liberação de óxido nítrico e melhora na circulação por efeitos termais (PAOLILLO et al., 2011; KARU et al., 2005). O próprio treinamento aeróbio é responsável por uma redução do esforço cardíaco, como visto no estudo de Paolillo et al. (2013) pela melhora do duplo produto; no entanto, os mecanismos de ação da fototerapia favoreceram melhor recuperação pós-exercício desses parâmetros, possivelmente como resposta de melhores adaptações autonômicas da FC e atividade barorreflexora (LAMBERTS et al., 2010; OSTOJIC et al., 2010).

Entretanto, não é possível generalizar as respostas encontradas por Paolillo et al., (2013), uma vez que a população estudada tem características peculiares (mulheres na pós-menopausa com idade entre 50 e 60 anos), a aplicação do LED foi diferente da metodologia do presente estudo e de outros estudos com humanos (FERRARESI et al., 2015; ALVES et al., 2014; de MARCHI et al., 2012), sendo realizada durante o exercício com placas de diodos emitindo energia continuamente, mas sem grande controle da energia absorvida pelo músculo alvo, além de limitações relacionadas à homogeneidade da amostra no período pré-treinamento, com diferenças entre grupos de até 10 batimentos por minuto para FC<sub>sub</sub>, 6 mmHg para pressão arterial sistólica de repouso e 42 segundos para tempo de recuperação da FC pós-exercício, o que pode ter influenciado na magnitude das respostas encontradas em cada grupo após os seis meses.

Alves et al. (2014) também investigaram o efeito da fototerapia em variáveis cardiorrespiratórias durante teste incremental máximo em esteira rolante e, apesar de não terem descrito efeitos na FC<sub>máx</sub> (Laser = 183 ± 10 e Placebo = 183 ± 11 b·min<sup>-1</sup>), encontraram melhoras na eficiência cardiovascular comparada à condição placebo, por meio da relação linear entre

FC e  $VO_2$  (Laser =  $56 \pm 24$  e Placebo =  $66 \pm 30$  b·L·min<sup>-1</sup>), relacionando essa resposta também aos efeitos circulatórios locais, com maior vascularização promovida por vasodilatação e surgimento de novos capilares.

A redução de 10 b·L·min<sup>-1</sup> descrita pelo estudo citado acima sugere ganhos na eficiência cardiovascular como indicativo de melhor oferta e/ou extração de  $O_2$  após a aplicação da luz (COOPER; STORER, 2001), resposta que é dependente de um aumento no volume cardíaco sistólico ou na extração de  $O_2$  pela musculatura periférica e, apesar do estudo de Alves et al. (2014) não ter utilizado nenhuma metodologia para quantificar essas variáveis, sugeriu-se que a fototerapia aprimorou essencialmente a capacidade muscular periférica de extração de  $O_2$  uma vez que é improvável ter ocorrido uma melhora aguda do volume sistólico.

Esse efeito periférico da fototerapia na musculatura esquelética é relevante para as análises cardiorrespiratórias e engloba: maior atividade enzimática (complexos da cadeia de transporte de elétrons, SDH e NADH), modificações estruturais e funcionais da mitocôndria, maior biogênese mitocondrial e oxidação de ácidos graxos no músculo ativo, além de maior proteção aos danos oxidativos (BURAVLEV et al., 2013; de MARCHI et al., 2012; FERRERESI et al., 2012b; DIAS et al., 2011; SILVEIRA et al., 2011; HAYWORTH et al., 2010; XU et al., 2008; MAINTEIFEL et al., 1997).

A redução da  $FC_{m\acute{a}x}$  e  $FC_{sub}$ , e aumento do  $VO_{2m\acute{a}x}$  e  $VO_{2sub}$  pontualmente descritos pelo presente estudo no grupo LED comparado ao PLA (Tabelas 2, 5 e 7; Figuras 10 e 11), fortalecem as respostas de maior eficiência periférica do  $VO_2$  da musculatura ativa em esforços máximos e submáximos, diretamente relacionadas à redução do trabalho cardíaco.

Diferentemente da escassez de estudos sobre o efeito da fototerapia em variáveis cardiorrespiratórias (FERRERESI et al., 2015; ALVES et al., 2014; de MARCHI et al., 2012; PAOLILO et al., 2013), são muitas as pesquisas que buscaram verificar o efeito da luz sobre variáveis de análise sanguínea e marcadores bioquímicos, em especial o lactato sanguíneo (MACIEL et al., 2014; BORSA et al., 2013; DENIS et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2011).

A principal resposta descrita foi uma menor concentração de lactato sanguíneo logo após exercícios que induziram a fadiga muscular na condição fototerapia comparada à placebo, em ratos (LEAL JUNIOR et al., 2010), em

humanos fisicamente ativos (LEAL JUNIOR et al., 2009c) e em atletas (LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009d), além de melhores respostas da fototerapia até mesmo quando comparada a outros métodos de recuperação muscular, como a crioterapia (LEAL JUNIOR et al., 2011).

Esse efeito de aprimoramento da recuperação pós-exercício tem relação com a maior capacidade de remoção de lactato sanguíneo devido a melhora na microcirculação após a utilização da fototerapia (LARKIN et al., 2012; MAK; CHEING, 2012; XU et al., 2008), e também em função de uma menor produção de lactato durante protocolos de exercício físico com aplicação prévia da luz, uma vez que a fototerapia promove um aumento da capacidade oxidativa por modificações enzimáticas, mitocondriais e sistêmicas, facilitando a ressíntese de ATP por vias não glicolíticas (BURAVLEV et al., 2013; LARKIN et al., 2012; DIAS et al., 2011; SILVEIRA et al., 2009).

No presente estudo a produção pico de lactato não apresentou diferença entre as condições LED e PLA, com concentrações similares de  $LA_{pico}$  pós-teste incremental máximo, no entanto na condição LED os sujeitos realizaram esforços significativamente mais prolongados (em média 24 s) e mais intensos (em média  $0,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Além disso, a condição LED apresentou maior capacidade de remoção de lactato sanguíneo comparado ao grupo PLA, com valores significativamente menores de  $LA_{13min}$  e  $LA_{15min}$ , além de valores de lactato mais próximos do pré-teste após 15 minutos de recuperação passiva ( $\Delta LA_{15min} - LA_{pré}$ ).

Os momentos de obtenção do  $LA_{pico}$  após teste incremental, expostos na tabela 4, também evidenciam uma contenção do aumento de concentrações de lactato sanguíneo após o esforço na condição LED comparada à PLA, com 77% dos sujeitos atingindo o  $LA_{pico}$  até o 3º minuto pós-teste na condição LED. Já na condição PLA, 42% dos sujeitos ainda tiveram concentrações de  $LA_{pico}$  atingidas entre o 5º e 9º minuto.

Denis et al. (2014) compararam as condições controle e laser em um protocolo de exercícios intensos (*Wingate* e *Yo-Yo test*); diferentemente do presente estudo, os autores não encontraram diferenças nas concentrações de lactato sanguíneo e na remoção de lactato pós-esforços, e atribuíram essa resposta ao arranjo de fibras musculares predominantemente oxidativos do músculo quadríceps. No entanto, o procedimento de aplicação do laser foi

diferente do presente estudo e de outros estudos que obtiveram resultados positivos na remoção do lactato sanguíneo (FERRARESI et al., 2015; ALVES et al., 2014; LEAL JUNIOR et al., 2009a), com a aplicação posterior à execução dos esforços físicos.

Aparentemente o efeito da fototerapia sobre o esforço físico também causa melhoras na remoção de lactato, e o tempo para obtenção de respostas sistêmicas na circulação após a aplicação da luz é maior que apenas alguns minutos, como esperado por Denis et al., (2014). Sendo assim, sugere-se que a utilização da fototerapia previamente a esforços físicos possibilita respostas mais evidentes na microcirculação e conseqüentemente na remoção de metabólitos (MAK; CHEING, 2012; TULLBERG et al., 2003; MAEGAWA et al., 2000).

Além dos resultados relacionados aos parâmetros fisiológicos, bioquímicos e de *performance* descritos, uma das respostas evidentes da fototerapia no presente estudo foi na PSE, com menores valores médios nos momentos de mensuração da condição LED comparada à PLA, especialmente em momentos de esforço submáximo do teste de carga retangular e estágios intermediários do teste de carga incremental.

Poucos estudos verificaram o efeito da fototerapia na PSE, com resultados inconclusivos (FELISMINO et al., 2014, PAOLILLO et al., 2013), sendo que nenhuma pesquisa utilizou a escala de Borg 6-20 como no presente estudo. Felismino et al. (2014) realizaram um protocolo de indução ao dano muscular composto de 10 séries de 10 repetições de flexão e extensão de ombros à 50% de uma repetição máxima e intervalos de dois minutos entre séries nas condições placebo e laser; a PSE (CR-10) foi mensurada após cada série e não foram verificadas diferenças significativas entre condições; no entanto, os resultados apresentaram-se com maiores valores numéricos de PSE da série um à quatro para a condição placebo, e para a condição laser da série sete à 10.

Após seis meses de treinamento em esteira rolante, Paolillo et al. (2013) encontraram redução significativa da PSE (CR-10) submáxima obtida em teste incremental para a condição treinamento associado à aplicação do LED (pré-treino:  $7 \pm 2$  e pós-treino:  $3 \pm 1$ ), mas também para o treinamento isolado (pré-

treino:  $8 \pm 2$  e pós-treino:  $5 \pm 1$ ), mostrando que para essa variável o uso da fototerapia não maximizou os efeitos isolados do treinamento físico.

Diversos estudos evidenciaram uma redução da percepção subjetiva de dor muscular avaliada por escala visual analógica, (0 mm = nenhuma dor e 100 mm = muita dor) após a utilização da fototerapia, com relação direta à redução de marcadores inflamatórios (ANTONIALLI et al., 2014; BORGES et al., 2014; BARONI et al., 2010). Porém, a resposta da luz sobre a PSE em exercícios máximos e submáximos de corrida ainda não foi amplamente verificada além dos dados expostos pelo presente estudo.

A principal diferença entre o nosso estudo e os estudos que já foram descritos e utilizaram a PSE para verificar efeitos na aplicação da fototerapia, foi a utilização da escala de Borg 6-20. Esta escala foi primeiramente elaborada para ser utilizada durante testes aeróbios de carga incremental (cicloergômetro, com incrementos de carga de quatro a seis minutos), uma vez que a escala com âncoras numéricas e seus descritores fornece respostas que aumentam linearmente em função da demanda aeróbia: intensidade e tempo de esforço, FC e  $VO_2$ ; sendo que a amplitude de respostas numéricas entre seis e 20 correspondem fortemente à amplitude máxima de FC de um adulto jovem saudável, entre 60 e 200 bpm (BORG, 2007; BORG, 1970; 1998).

O padrão de respostas após a aplicação do LED na FC, mensurada no presente estudo, linearmente modificado pela intensidade e duração dos testes de carga retangular e incremental, foi similar à PSE, sugerindo que a escala de Borg 6-20 é sensível às modificações de demanda aeróbia e consequentemente aos efeitos da fototerapia.

# 7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados no presente estudo referentes aos efeitos da LED terapia no comportamento do  $VO_2$  durante testes de corrida com carga incremental e retangular em esteira rolante, confirmamos nossa hipótese, visto que:

- a) A LED terapia apresentou efeito na cinética do  $VO_2$  durante exercício de corrida no domínio pesado de esforço, especialmente no  $A'_2$ ;
- b) A LED terapia apresentou efeito nas variáveis máximas obtidas em teste de carga incremental de corrida em esteira rolante: aumentando o  $VO_{2máx}$  relativo e absoluto, e a  $V_{pico}$ ; reduzindo a  $FC_{máx}$ ; e acelerando o momento de ocorrência do  $LA_{pico}$  pós-teste incremental;
- c) A LED terapia apresentou efeito nas variáveis submáximas obtidas em estágios intermediários do teste de carga incremental e retangular de corrida em esteira rolante: aumentando o  $VO_{2LV}$  e o  $VO_{2sub}$ , reduzindo a  $FC_{sub}$  e a  $PSE_{sub}$ , além de apresentar efeito na remoção de lactato sanguíneo.

Com os resultados obtidos, conclui-se que a utilização da LED terapia modifica o comportamento do  $VO_2$ , além de alterar significativamente a  $FC_{máx}$  e  $FC_{sub}$ , parâmetros psicofisiológicos e a remoção de metabólitos, afetando diretamente a *performance* de corrida em testes de carga incremental e retangular. Sugerimos a utilização da LED terapia previamente ao exercício físico em sujeitos saudáveis e fisicamente ativos como estratégia de pré-ativação do metabolismo oxidativo e músculo alvo.

## REFERÊNCIAS

---

---

ALBERTINI, R.; VILLAVERDE, A.B.; AIMBIRE, F. Anti-inflammatory effects of low-level laser therapy (LLLT) with two different red wavelengths (660 nm and 684 nm) in carrageenan-induced rat paw edema. *J Photochem Photobiol B*, 89:50–55, 2007.

ALLEN, D.G.; LAMB, G.D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88: 287-332, 2008.

ALVES, M.A.S.; PINFILDI, C.E.; NETO, L.N.; LOURENÇO, R.P.; AZEVEDO, P.H.S.M.; DOURADO, V.Z. Acute effects of low-level laser therapy on physiologic and electromyographic responses to the cardiopulmonary exercise testing in healthy untrained adults. *Lasers Med Sci*, 29(6): 1945-51, 2014.

AMARAL, A.C., PARIZOTTO, N.A, SALVINI, T.F. Dose dependency of low-energy HeNe laser effect in regeneration of skeletal muscle in mice. *Lasers Med Sci*, 16:44–51, 2001.

ANTONIALLI, F.C.; de MARCHI, T.; TOMAZONI, S.S.; VANIN, A.A.; GRANDINETTI, C.S.; de PAIVA, P.R.V.; PINTO H.D.; MIRANDA, E.F.; de CARVALHO, P.T.C.; LEAL-JUNIOR, E.C.P. Phototherapy in skeletal muscle performance and recovery after exercise: effect of combination of super-pulsed laser and light-emitting diodes. *Lasers Med Sci*, 29(6): 1967:76, 2014.

ASTRAND, P.O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen: Ejnar Munksgaard, 1952.

BAILEY, S.T.; VANHATALO, A.; WILKERSON, D.P.; di MENNA, F.J.; JONES, A.M. Optimizing the “priming” effect: influence of prior exercise intensity and recovery duration on O<sub>2</sub> uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol*, 107:1743-1756, 2009.

BAKEEVA, L.E.; MANTEIFEL, V.M.; RODICHEV, E.B.; KARU, T.I. Formation of gigantic mitochondria in human blood lymphocytes under the effect of an He-Ne laser. *Mol Biol (Mosk)*, 27(3):608-17, 1993.

BARONI, B.M.; LEAL JUNIOR, E.C.P.; de MARCHI, T.; LOPES, A.L.; SALVADOR, M.; VAZ, M.A. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *Eur J Appl Physiol*, 110(4):789-96, 2010.

BARSTOW, T.J. Characterization of VO<sub>2</sub> kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 26: 1327-34, 1994.

BARSTOW, T.J.; CASABURI, R.; WASSERMAN, K. O<sub>2</sub> uptake kinetics and the O<sub>2</sub> deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *J Appl Physiol*, 75: 755–762, 1993.

BARSTOW, T. J.; LAMARRA, N.; WHIPP, B. J. Modulation of muscle and pulmonary O<sub>2</sub> uptakes by circulatory dynamics during exercise. *J Appl Physiol*, 68:979-989, 1990.

BELL, C.; PATERSON, D.H.; KOWALCHUK, J.M.; CUNNINGHAM, D.A. Oxygen uptake kinetics of older humans are slowed with age but are unaffected by hyperoxia. *Exp Physiol*, 84:747–759, 1999.

BERGER, N.J.; TOLFREY, K.; WILLIAMS, A.G.; JONES, A.M. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Med Sci Sports Exerc*, 38:504-512, 2006.

BILLAT, V.; RICHARD, R.; BINSSE, V.; KORALSZTEIN, J.P.; HAOUZI, P. VO<sub>2</sub> slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *J Appl Physiol*, 85: 2118–2124, 1998.

BILLAT, V.; RENOUX, J.C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. Reproducibility of running time to exhaustion at VO<sub>2</sub>max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc*, 26(2): 254-7, 1994a.

BILLAT, V.; BERNARD, O.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. Time to exhaustion at VO<sub>2</sub>max and lactate steady state velocity in sub elite long-distance runners. *Arch Int Physiol Biochem Biophys*, 102: 215-9, 1994b.

BORG, E. On perceived exertion and its measurement. Stockholm. Tese (Doutorado em Psicologia) – Stockholm University, 2007.

BORG, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehab Med*, 2(2-3):92-98, 1970.

BORG, G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14:377–381, 1982.

BORG, G. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Champaign, IL: Human Kinetics, 1998.

BORGES, L.S.; CERQUEIRA, M.S.; ROCHA, J.A.S.; CONRADO, L.A.L.; MACHADO, M.; PEREIRA, R.; PINTO NETO, O. Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. *Lasers Med Sci*, 29:1139-1144, 2014.

BORSA, P.A.; LARKIN, K.A.; TRUE, J.M. Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. *J Athl Train*, 48(1):57-67, 2013.

BURAVLEV, E.A.; ZHIDKOVA, T.V.; VLADIMIROV, Y.A.; OSIPOV, A.N. Effects of laser and LED radiation on mitochondrial respiration in experimental endotoxic shock. *Lasers Med Sci*, 28:785-790, 2013.

BURNLEY, M.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur J Sport Sci*, 7(2): 63-79, 2007.

BURNLEY, M.; DOUST, J.H.; JONES, A.M. Time required for the restoration of normal heavy exercise  $\text{VO}_2$  kinetics following prior heavy exercise. *J Appl Physiol*, 101: 1320-1327, 2006.

BURNLEY, M.; DOUST, J.H.; BALL, D.; JONES, A.M. Effects of prior heavy exercise on  $\text{VO}_2$  kinetics during heavy exercise are related to changes in muscle activity. *J Appl Physiol*, 93:167-174, 2002.

BURNLEY, M.; JONES, A.M.; CARTER, H.; DOUST, J.H. Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol*, 89(4):1387-96, 2000.

CAMARGO, M.Z.; SIQUEIRA, C.P.C.M.; PRETI, M.C.P.; NAKAMURA, F.Y.; de LIMA, F.M.; DIAS, I.F.L.; TOGINHO FILHO, D.O.; RAMOS, S.P. Effects of light emitting diode (LED) therapy and cold water immersion therapy on exercise-induced muscle damage in rats. *Lasers Med Sci*, 27(5):1051-8, 2012.

CAPUTO, F.; STELLA, S.G.; MELLO, M.T.; DENADAI, B.S. Indexes of power and aerobic capacity obtained in cycle ergometry and treadmill running: comparisons between sedentary, runners, cyclists and triathletes. *Rev Bras Med Esporte*, 9(4):231-237, 2003.

CARTER, H.; PRINGLE, J.S.M.; JONES, A.M.; DOUST, J.H. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains *Eur J Appl Physiol*, 86: 347–354, 2002a.

CARTER, H.; JONES, A.M.; MAXWELL, N.S.; DOUST, J.H. The effect of interdiurnal and diurnal variation on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Sports Sci*, 20: 901-9, 2002b.

CARTER, H.; JONES, A.M.; BARSTOW, T.J.; BURNLEY, M.; WILLIAMS, C.A.; DOUST, J.H. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol*, 89: 899–907, 2000a.

CARTER, H.; JONES, A.M.; BARSTOW, T.J.; BURNLEY, M.; WILLIAMS, C.; DOUST, J.H. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol*, 89:1744-1752, 2000b.

CASABURI, R.; BARSTOW, T.J.; ROBINSON, T.; WASSERMAN, K. Dynamic and steady-state ventilatory and gas exchange responses to arm exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 24:1365-1374, 1992.

CHENG, B.; KUIPERS, H.; SNYDER, A.C.; KEIZER, H.A.; JEUKENDRUP A.; HESSELINK, M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med*, 13:518-522, 1992.

CLAUSEN, J.P. Circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and in patients with coronary artery disease. *Prog Cardiovasc Dis*, 18, 459–495, 1976.

COFFEY, V.G.; HAWLEY, J.A. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med*, 37(9):737– 63, 2007.

COGGAN, A.R.; SPINA, R.J.; KING, D.S.; ROGERS, M.A.; BROWN, M.; NEMETH, P.M.; HOLLOSZY, J.O. Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-year-old men and women. *J Appl Physiol*, 72(5): 1780-6, 1992.

COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates, 1988.

COOPER, C.B.; STORER, T.W. *Exercise testing and interpretation: practical approach*. Cambridge University Press: Cambridge, 2001.

CUI, Y.; GUO, Z.; ZHAO, Y.; ZHENG, Y.; QIAO, Y.; CAI, J.; LIU, S. Reactive effect of low-intensity He-Ne laser upon damaged ultrastructure of human erythrocyte membrane in Fenton system by atomic force microscopy. *Acta Biochim Biophys Sin (Shanghai)*, 39:484–489, 2007.

da FONSECA, A.S.; PRESTA, G.A.; GELLER, M.; de PAOLI, F.; VALENÇA, S.S. Low-intensity infrared laser increases plasma proteins and induces oxidative stress in vitro. *Lasers Med Sci*, 27:211-217, 2012.

DALMONTE, M.E.; FORTE, E.; GENOVA, M.L.; GIUFFRÉ, A.; SARTI, P.; LENAZ, G. Control of respiration by cytochrome c oxidase in intact cells: Role of the membrane potential. *J Biol Chem*, 284:32331–32335, 2009.

de ALMEIDA, P.; LOPES-MARTINS, R.A.; de MARCHI, T.; TOMAZONI, S.S.; ALBERTINI, R.; CORRÊA, J.C.; ROSSI, R.P.; MACHADO, G.P.; DA SILVA, D.P.; BJORDAL, J.M.; LEAL JUNIOR, E.C. Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? *Lasers Med Sci*, 27(2):453-8, 2012.

de ALMEIDA, P.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; TOMAZONI, S.S.; SILVA JUNIOR, J.A.; DE CARVALHO, P.T.C.; BJORDAL, J.M.; LEAL JUNIOR, E.C.P. Low-level laser therapy improves skeletal muscle performance, decreases skeletal muscle damage and modulates mRNA expression of COX-1 and COX-2 in a dose-dependent manner. *Photochem Photobiol*, 87:1159–1163, 2011.

de MARCHI, T.; LEAL JUNIOR, E.C.P.; BORTOLI, C.; TOMAZONI, S.S.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; SALVADOR, M. Low-level laser therapy (LLLT) in

human progressive-intensity running: effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. *Lasers Med Sci*, 27(1):231-6, 2012.

DENIS, R.; O'BRIAN, C.; DELAHUNT, E. The effects of light emitting diode therapy following high intensity exercise. *Phys Ther Sport*, 14:110-115, 2013.

DIAS, F.J.; ISSA, J.P.M.; VICENTINI, F.T.M.C.; FONSECA, M.J.V.; LEÃO, J.C.; SIÉSSERE, S.; REGALO, S.C.H.; IYOMASA, M.M. Effects of low-level laser therapy on the oxidative metabolism and matrix proteins in the rat masseter muscle. *Photomed Laser Surg*, 29(10): 677-684, 2011.

di MENNA F.J.; BAILEY, S.J.; VANHATALO, A.; CHIDNOK, W.; JONES, A.M. Elevated baseline  $VO_2$  per se does not slow  $O_2$  uptake kinetics during work-to-work exercise transitions. *J Appl Physiol*, 109:1148-1154, 2010.

do NASCIMENTO, P.A.; LUCAS, R.D.; SOUZA, K.M.; AGUIAR, R.A.; DENADAI, B.D.; GUGLIELMO, L.G.A. The effect of prior exercise intensity on oxygen uptake kinetics during high-intensity running exercise in trained subjects. *Eur J Appl Physiol*, 115(1):147-56, 2015.

DRUST, B.; WATERHOUSE, J.; ATKINSON, G.; EDWARDS, B.; REILLY, T. Circadian rhythms in sports performance – an update. *Chronobiol Int*, 22(1):21-44, 2005.

ENWEMEKA, C.S. Light is light. *Photomed Laser Surg*, 23(2):159-60, 2005.

ENWEMEKA, C.S.; PARKER, J.C.; DOWDY, D.S.; HARKNESS, E.E.; SANFORD, L.E.; WOODRUFF, L.D. The efficacy of low-power lasers in tissue repair and pain control: a meta-analysis study. *Photomed Laser Surg*, 22(4):232:9, 2004.

FELISMINO, A.S.; COSTA, E.C.; AOKI, M.S.; FERRARESI, C.; LEMOS, T.M.A.M.; VIEIRA, W.H.B. Effect of low-level laser therapy (808 nm) on markers of muscle damage: a randomized double blind placebo-controlled trial. *Lasers Med Sci*, 29(3): 933-8, 2014.

FERRARESI, C.; BELTRAME, T.; FABRIZZI, F.; do NASCIMENTO, E.S.P.; KARSTEN, M.; FRANCISCO, C.O.; BORGHI-SILVA, A.; CATAI, A.M.; CARDOSO, D.R.; FERREIRA, A.G.; HAMBLIN, M.R.; BAGNATO, V.S.; PARIZOTTO, N.A. Muscular pre-conditioning using light-emitting diode therapy (LEDT) for high-intensity exercise: a randomized double-blind placebo-controlled trial with a single elite runner. *Physiother Theory Pract*, 1-8, 2015.

FERRARESI, C.; HAMBLIN, M.R.; PARIZOTTO, N.A. Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. *Photonics Lasers Med*, 1(4):267-286, 2012a.

FERRARESI, C.; PANEPUCCI, R.; REIFF, R.; JUNIOR, E.; BAGNATO, V.; PARIZOTTO, N. Molecular effects of low-level laser therapy (808 nm) on human muscle performance. *Phys Ther Sport*, 13(3), 2012b.

FERRARESI, C.; de BRITO OLIVEIRA, T.; de OLIVEIRA ZAFALON, L.; de MENEZES REIFF, R.B.; BALDISSERA, V.; de ANDRADE PEREZ, S.E.; MATHEUCCI JÚNIOR, E.; PARIZOTTO, N.A. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. *Lasers Med Sci*, 26(3):349-58, 2011.

FRANCESCATO, M.P.; CETTOLO, V.; di PRAMPERO, PE. Oxygen uptake kinetics at work onset: Role of Cardiac output and of phosphocreatine breakdown. *Resp Physiol Neurobiol*, 185: 287-295, 2013.

FUKUBA, Y.; HAYASHI, N.; KOGA, S.; YOSHIDA, T.  $VO_2$  kinetics in heavy exercise is not altered by prior exercise with a different muscle group. *J Appl Physiol*, 92:2467-2474, 2002.

GAESSER, G.A.; POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev*, 24:35-71, 1996.

GASKILL, S.E.; RUBI, B.C.; WALKER, A.J.; SANCHEZ, O.A.; SERFASS, R.C.; LEON, A.S. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11): 1841- 1848, 2001.

GERBINO, A.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. Effects of prior exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol*, 80: 99–107, 1996.

GRASSI, B. Oxygen uptake kinetics: why are they so slow? And what do they tell us? *J Physiol Pharmacol*, 57(10):53-56, 2006.

GRASSI, B.; HOGAN, M.C.; GREENHAFF, P.L.; HAMANN, J.J.; KELLEY, K.M.; ASCHENBACH, W.G.; CONSTANTIN-TEODOSIU, D.; GLADDEN, L.B. Oxygen uptake on-kinetics in dog gastrocnemius in situ following activation of pyruvate dehydrogenase by dihaloroacetate. *J Physiol*, 538:195–207, 2002.

GRASSI, B.; POOLE, D.C.; RICHARDSON, R.S.; KNIGHT, D.R.; ERICKSON, B.K.; WAGNER, P.D. Muscle  $O_2$  uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J Appl Physiol* 80: 988–998, 1996.

HAYWORTH, C.R.; ROJAS, J.C.; PADILLA, E.; HOLMES, G.M.; SHERIDAN, E.C.; GONZALEZ-LIMA, F. In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. *Photochem Photobiol*, 86(3):673-80, 2010.

HILL, D.W.; HALCOMB, J.N.; STEVENS, E.C. Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. *Eur J Appl Physiol*, 89: 612–618, 2003.

HILL, D.W.; POOLE, D.C.; SMITH, J.C. The relationship between power and the time to achieve  $VO_{2max}$ . *Med Sci Sports Exerc*, 34:709-714, 2002.

HILL, D.W. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 36: 155-60, 1996.

HIRAI, D.M.; ROSEGUINI, B.T.; DIEFENTHAELER, F.; CARPES, F.P.; VAZ, M.A.; FERLIN, E.L.; RIBEIRO, J.P.; NAKAMURA, F.Y. Effect of altering pedal frequency on the slow component of pulmonary  $\text{VO}_2$  kinetics and EMG activity. *Int J Sports Med*, 31:529-536, 2010.

HOWLETT, R.A.; HOGAN, M.C. Dichloroacetate accelerates the fall in intracellular  $\text{PO}_2$  at onset of contractions in *Xenopus* single muscle fibers. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 284: R481–R485, 2003.

HOWLEY, E.T., BASSETT JR, D.R., WELCH, H.G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9):1292–1301, 1995.

HUANG, Y.Y.; CHEN, A.C.; CARROLL, J.D.; HAMBLIN, M.R. Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose Response*, 7(4):358-383, 2009.

HUDSON, D.E.; HUDSON, D.O.; WININGER, J.M.; RICHARDSON, B.D. Penetration of laser light at 808 and 980 nm in bovine tissue samples. *Photomed Laser Surg*, 31(4):163-168, 2013.

HUGHSON, R.L.; O'LEARY, D.D.; BETIK, A.C.; HEBESTREIT, H. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. *J Appl Physiol*, 88(5):1812-9, 2000.

HUGHSON, R. L.; KOWALCHUK, J.M. Kinetics of oxygen uptake for submaximal exercise in hyperoxia, normoxia, and hypoxia. *Can J Appl Physiol*, 20:199-211, 1995.

HUGHSON, R. L.; XING, H.C.; BORKOFF, C.; BUTLER, G.C. Kinetics of ventilation and gas exchange during supine and upright cycle exercise. *Eur J Appl Physiol*, 63:300-307, 1991.

HUGHSON, R. L. Alteration in the oxygen deficit-oxygen debt relationships with b-adrenergic receptor blockade in man. *J Physiol (Lond)*, 349:375-387, 1984.

HUGHSON, R. L.; MORRISSEY, M.A. Delayed kinetics of  $\text{VO}_2$  in the transition from prior exercise. Evidence for  $\text{O}_2$  transport limitation of  $\text{VO}_2$  kinetics. A review. *Int J Sports Med*, 11:94-105, 1983.

KANG, J.; HOFFMAN, J.R.; CHALOUPKA, E.C.; RATAMESS, N.A.; WEISER, P.C. Gender differences in the progression of metabolic responses during incremental exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(1): 71-8, 2006.

KARU, T. I. *Low-Power Laser Therapy*. Troitsk, Moscow Region, 2003.

KELENCZ, C. A.; MUÑOZ, I. S. S.; AMORIM, C. F.; NICOLAU, R. A. Effect Of Low-Power Gallium-Alluminium-Arsenium Noncoherent Light (640 nm) on Muscle Activity: A Clinical Study. *Photomed Laser Surg*, 28(5): 647–652, 2010.

KNEEBONE, W. J. Practical Applications of Low Level Laser Therapy. *Pract Pain Manag*, 6(8):34-40, 2006.

KOGA, S.; BARSTOW, T.J.; SHIOJIRI, T.; TAKAISHI, T.; FUKUBA, Y.; KONDO, N.; SHIBASAKI, M.; POOLE, D.C. Effect of muscle mass on  $VO_2$  kinetics at the onset of work. *J Appl Physiol*, 90:461-468, 2001.

KOGA, S.; SHIOJIRI, T.; KONDO, N.; BARSTOW, T.J. Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol*, 83:1333-8, 1997.

KOGA, S.; SHIOJIRI, T.; SHIBASAKI, M.; FUKUBA, Y.; FUKUOKA, Y.; KONDO, N. Kinetics of oxygen uptake and cardiac output at onset of arm exercise. *Respir Physiol*, 103:195-202, 1996.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J. The decrease in the  $VO_2$  slow component induced by prior exercise does not affect the time to exhaustion. *Int J Sports Med*, 23:262-7, 2002.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics during high-intensity arm and leg exercise. *Respir Physiol Neurobiol*, 133(3):241-50, 2002.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J. The effect of prior high-intensity cycling exercise on the kinetics during high-intensity cycling exercise is situated at the additional slow component. *Int J Sports Med*, 22:21-6, 2001.

KUIPERS, H.; RIETJENS, G.; VERSTAPPEN, F.; SCHOENMAKERS, H.; HOFMAN, G. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *Int J Sports Med*, 24:486-491, 2003.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*, 40(3):497-504, 1978.

JOHNSON, M.A.; POLGAR, J.; WEIGHTMAN, D.; APPLETON, D. Data on the distribution of fiber types in thirty-six human muscles: an autopsy study. *J Neurol Sci*, 18:111-129, 1973.

JONES, A.M.; BURNLEY, M. Oxygen Uptake Kinetics: An Underappreciated Determinant of Exercise Performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 4: 524-532, 2009.

JONES, A.M.; POOLE, D.C. Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. Routledge Taylor and Francis Group: Abingdon, 2005a.

JONES, A.M.; POOLE, D.C. Oxygen uptake dynamics: From muscle to mouth - An introduction on the symposium. *Med Sci Sports Exerc*, 37: 1542-50, 2005b.

JONES, A.M.; WILKERSON, D.P.; WILMSHURST, S.; CAMPBELL, I.T. Influence of L-NAME on pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics during heavy-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol*, 96: 1033–1038, 2004.

JONES, A.M.; WILKERSON, D.P.; KOPPO, K.; WILMSHURST, S.; CAMPBELL, I.T. Inhibition of nitric oxide synthase by L-NAME speeds phase II pulmonary VO<sub>2</sub> kinetics in the transition to moderate-intensity exercise in man. *J Physiol*, 552: 265–272, 2003.

JONES, A.M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*, 29: 373-86, 2000.

JONES, A.M.; MCCONNELL, A.M. Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(3):213–219, 1999.

KARU, T.I.; PIATYBRAT, L.V.; AFANASYEVA, N.I. Cellular effects of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide. *Lasers Surg Med*, 36:307-314, 2005.

KRUISTRUP, P.; SÖDERLUND, K.; MOHR, M.; BANGSBO, J. The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflugers Arch*, 447(6):855-66, 2004.

LAMBERTS, R.P.; SWART, J.; CAPOSTAGNO, B.; NOAKES, T.D.; LAMBERT, M.I. Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scand J Med Sci Sports*, 20:449-457, 2010.

LARKIN, K.A.; MARTIN, J.S.; ZEANA, E.H.; TRUE, J.M.; BRAITH, R.W.; BORSA, P.A. Limb blood flow after class 4 laser therapy. *J Athl Train*, 47(2):178-83, 2012.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; VANIN, A.A.; MIRANDA, E.F.; de CARVALHO, P.T.C.; DAL CORSO, S.; BJORDAL, J.M. Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 30:925-939, 2015.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; DE GODOI, V.; MANCALOSSO, J.L.; ROSSI, R.P.; DE MARCHI, T.; PARENTE, M.; GROSSELI, D.; GENEROSI, R.A.; BASSO, M.; FRIGO, L.; TOMAZONI, S.S.; BJORDAL, J.M.; LOPES-MARTINS, R.A.B. Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes--preliminary results. *Lasers Med Sci*, 26(4):493-501, 2011.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; de ALMEIDA, P.; RAMOS, L.; IVERSEN, V.V.; BJORDAL, J.M. Effect of low-level laser therapy (GaAs 904 nm) in skeletal muscle fatigue and biochemical markers of muscle damage in rats. *Eur J appl Physiol*, 108:1083-1088, 2010.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; ROSSI, R.P.; de MARCHI, T.; BARONI, B.M.; DE GODOI, V.; MARCOS, R.L.; RAMOS, L.; BJORDAL, J.M. Effect of Cluster Multi-Diode Light Emitting Diode Therapy (LEDT) on Exercise-Induced Skeletal Muscle Fatigue and Skeletal Muscle Recovery in Humans. *Lasers Surg Med*, 41:572–577, 2009a.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; BARONI, B.M.; de MARCHI, T.; ROSSI, R.P.; GROSSELLI, D.; GENEROSI, R.A.; de GODOI, V.; BASSO, M.; MANCALOSSI, J.L.; BJORDAL, J.M. Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLTL) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. *Photomed Laser Surg*, 27(4):617-23, 2009b.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; VANIN, A.A.; BARONI, B.M.; GROSSELLI, D.; de MARCHI, T.; IVERSEN, V.V.; BJORDAL, J.M. Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Lasers Med Sci*, 24:425–431, 2009c.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.B.; BARONI, B.M.; de MARCHI, T.; TAUFER, D.; MANFRO, D.S.; RECH, M.; DANNA, V.; GROSSELLI, D.; GENEROSI, R.A.; MARCOS, R.L.; RAMOS, L.; BJORDAL, J.M.. Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. *Lasers Med Sci*, 24(6):857-63, 2009d.

LINNARSSON, D. Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol Scand Suppl*, 415:1-68, 1974.

LINNARSSON, D.; KARLSSON, J.; FAGRAEUS, L.; SALTIN, B. Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *J Appl Physiol*, 36:399-402, 1974.

MACDONALD, M.; PEDERSEN, P.K.; HUGHSON, R.L. Acceleration of  $VO_2$  kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *J Appl Physiol*, 83(4):1318-25, 1997.

MACHADO, F.A.; KRAVCHYCHYN, A.C.P.; PESERICO, C.S.; DA SILVA, D.F.; MEZZARROBA, P.V. Effect of stage duration on maximal heart rate and post-exercise blood lactate concentration during incremental treadmill tests. *J Sci Med Sport*, 16(3):276-80, 2013a.

MACHADO, F.A.; KRAVCHYCHYN, A.C.P.; PESERICO, C.S.; DA SILVA, D.F.; MEZZARROBA, P.V. Incremental test design, peak 'aerobic' running speed and endurance performance in runners. *J Sci Med Sport*, 2013b.

MACHADO, F.A.; GUGLIELMO, L.G.A.; GRECO, C.C.; DENADAI, B.S. Effects of Exercise Mode on the Oxygen Uptake Kinetic Response to Severe-Intensity Exercise in Prepubertal Children. *Pediatr Exerc Sci*, 21:159-170, 2009.

MACIEL, T.S.; MUÑOZ, I.S.S.; NICOLAU, R.A.; NOGUEIRA, D.V.; HAUCK, L.A.; OSÓRIO, R.A.L.; PAULA JÚNIOR, A.R. Phototherapy effect on the muscular activity of regular physical activity practitioners. *Lasers Med Sci*, 29:1145-1152, 2014.

MACINTOSH, B.R.; NEPTUNE, R.R.; HORTON, J.F. Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc*, 32:1281-1287, 2000.

MAEGAWA Y, ITOH T, HOSOKAWA T, YAEGASHI K, NISHI M. Effects of near- infrared low-level laser irradiation on microcirculation. *Lasers Surg Med*, 27(5):427-437, 2000.

MAK, M.C.; CHEING, G.L. Immediate effects of monochromatic infrared energy on microcirculation in healthy subjects. *Photomed Laser Surg*, 30:193–199, 2012.

MANTEIFEL, V.M.; KARU, T.I. Structure of mitochondria and activity of their respiratory chain in subsequent generations of yeast cells exposed to He-Ne laser light. *Izv Akad Nauk Ser Biol*, 6:672-83, 2005.

MANTEIFEL, V.; BAKEEVA, L.; KARU, T. Ultrastructural changes in chondriome of human lymphocytes after irradiation with He-Ne laser: appearance of giant mitochondria. *J Photochem Photobiol B*, 38(1):25–30, 1997.

MESQUITA-FERRARI, R.A.; MARTINS, M.D.; SILVA JUNIOR, J.A.; da SILVA, T.D.; PIOVESAN, R.F.; PAVESI, V.C.S.; BUSSADORI, S.K.; FERNANDES, K.P.S. Effects of low-level laser therapy on expression of TNF- $\alpha$  and TGF- $\beta$  in skeletal muscle during the repair process. *Lasers Med Sci*, 26: 335-340, 2011.

MEZZANI, A.; GRASSI, B.; GIORDANO, A.; CORRA, U.; COLOMBO, S.; GIANNUZZI, P. Age-related prolongation of phase I of VO<sub>2</sub> on-kinetics in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 299:R968–R976, 2010.

MIDGLEY, A.W.; MCNAUGHTON, L.R.; POLMAN, R.; MARCHANT, D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Med*, 37(12):1019–1028, 2007.

MIRANDA, E.F.; LEAL-JUNIOR, E.C.P.; MARCHETTI, P.H.; CORSO, S.D. Acute effects of light emitting diodes therapy (LEDT) in muscle function during isometric exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease: preliminary results of a randomized controlled trial. *Lasers Med Sci*, v. 29, p. 359–365, 2014.

MURIAS, J.M.; SPENCER, M.D.; KOWALCHUK, J.M.; PETERSON, D.H. Influence of phase I duration on phase II VO<sub>2</sub> kinetics parameter estimates in older and young adults. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 301:R218-R224, 2011.

OSTOJIC, S.M.; MARKOVIC, G.; CALLEJA-GONZALEZ, J.; JAKOVLJEVIC, D.G.; VUCETIC, V.; STOJANOVIC, M.D. Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 108: 1055-1059, 2010.

PAOLILLO, F.R.; CORAZZA, A.V.; BORGHI-SILVA, A.; PARIZOTTO, N.A.; KURACHI, C.; BAGNATO, V.S. Infrared LED irradiation applied during high-intensity treadmill training improves maximal exercise tolerance in postmenopausal women: a 6-month longitudinal study. *Lasers Med Sci*, 2013.

PAOLILLO, F.R.; MILAN, J.C.; ANICETO, I.V.; BARRETO, S.G.; REBELATTO, J.R.; BORGHI-SILVA, A.; PARIZOTTO, N.A.; KURACHI, C.; BAGNATO, V.S. Effects of infrared-LED illumination applied during high-intensity treadmill training. *Photomed Laser Surg*, 29(9):639-645, 2011.

PERREY, S.; BETIK, A.; CANDAU, R.; ROUILLON, J.D.; HUGHSON, R.L. Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and eccentric cycle exercise. *J Appl Physiol*, 91, 2135-2142, 2001.

PESSÔA FILHO, D.M.; ALVES, F.B.; REIS, J.F.; GRECO, C.C.; DENADAI, B.S.  $\text{VO}_2$  kinetics during heavy and severe exercise in swimming. *Int J Sports Med*, 33(9):744-8, 2012.

PICCOLI, C.; SCRIMA, R.; BOFFOLI, D.; CAPITANIO, N. Control by cytochrome c oxidase of the cellular oxidative phosphorylation system depends on the mitochondrial energy state. *Biochem. J*, 396:573–583, 2006.

PHILLIPS, S.M.; GREEN, H.; MACDONALD, M.J.; HUGHSON, R.L. Progressive effect of endurance training on  $\text{VO}_2$  kinetics at the onset of submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 79(6): 1914-20, 1995.

POOLE, D.C.; GLADDEN, L.B.; KURDAK, S.; HOGAN, M.C. L-(+)-Lactate infusion into working dog gasrocnemius: no evidence lactate per se mediates  $\text{VO}_2$  slow component. *J Appl Physiol*, 76(2): 787–792, 1994.

POOLE, D.C.; SCHAFFARTZIK, W.; KNIGHT, D.R.; DERION, T.; KENNEDY, B.; GUY, H.; PREDILETTO, R.; WAGNER, P.D. Contribution of the exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J Appl Physiol*, 71:1245–1253, 1991.

POOLE, D.C.; WARD, S.A.; GARDNER, G.W.; WHIPP, B.J. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31(9): 1265-79, 1988.

PRINGLE, J.S.M.; DOUST, J.H.; CARTER, H.; TOLFREY, K.; CAMPBELL, I.T.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *Eur J Appl Physiol*, 89: 289–300, 2003.

PRINGLE, J.S.M.; CARTER, H.; DOUST, J.H.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics during horizontal and uphill treadmill running. *Eur J Appl Physiol*, 88, 163–169, 2002.

REID, M.B.; HAACK, K.E.; FRANCKEK, K.M.; VALBERG, P.A.; KOBZIK, L.; WEST, M.S. Reactive oxygen in skeletal muscle. Intracellular oxidant kinetics and fatigue in vitro. *J Appl Physiol*, 73:1797-1804, 1992.

ROBERTS, C.L.; WILKERSON, D.P.; JONES, A.M. Pulmonary O<sub>2</sub> uptake on-kinetics in rowing and cycle ergometer exercise. *Respir Physiol Neurobiol*, 146:247-258, 2005.

ROSTON, W.L.; WHIPP, B.J.; DAVIS, J.A.; CUNNINGHAM, D.A.; EFFROS, R.M.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis*, 135(5):1080-4, 1987.

ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; KOWALCHUK, J.M.; HOWE, F.A.; GRIFFITHS, J.R.; WHIPP, B.J. Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine during high-intensity knee-extension exercise in humans. *J Physiol*, 537: 291–304, 2001.

SANTANA, M.G.; TUFIK, S.; PASSOS, G.S.; SANTEE, D.M.; DENADAI, B.S.; MELLO, M.T. Diurnal variation and VO<sub>2</sub> kinetic response of cyclists during heavy exercise. *Rev Bras Med Esporte*, 14(3):227-230, 2008

SANTANA, M.G.; TUFIK, S.; PASSOS, G.S.; SANTEE, D.M.; DENADAI, B.S.; MELLO, M.T. Comparison between different methods of analysis of slow component of oxygen uptake: a view in severe exercise domain. *Rev Bras Med Esporte*, 13(4):217-220, 2007.

SAYGUN, I.; KARACAY, S.; SERDAR, M.; URAL, A.U.; SENCIMEN, M.; KURTIS, B. Effects of laser irradiation on the release of basic fibroblast growth factor (bFGF), insulin like growth factor-1 (IGF-1), and receptor of IGF-1 (IGFBP3) from gingival fibroblasts. *Lasers Med Sci*, 23(2):211-5, 2008.

SCHNEIDER, D.A.; WING, A.N.; MORRIS, N.R. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. *Eur J Appl Physiol*, 88(1-2):100-106, 2002.

SERAFIM, K.G.G.; RAMOS, S.P.; DE LIMA, F.M.; CARANDINA, M.; FERRARI, O.; DIAS, I.F.L.; TOGINHO FILHO, D.O.; SIQUEIRA, C.P.C.M. Effects of 940 nm light-emitting diode (led) on sciatic nerve regeneration in rats. *Lasers Med Sci*, 27(1):113-9, 2012.

SILVEIRA, P.C.L.; SILVA, L.A.; FREITAS, T.P.; LATINI, A.; PINHO, R.A. Effects of low-power laser irradiation (LPLI) at different wavelengths and doses on oxidative stress and fibrogenesis parameters in an animal model of wound healing. *Lasers Med Sci*, 26:125-131, 2011.

SILVEIRA, P.C.L.; SILVA, L.A.; FRAGA, D.B.; FREITAS, T.P.; STRECK, E.L.; PINHO, R. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in muscle healing by low-level laser therapy. *J Photochem Photobiol B*, 95(2):89-92, 2009.

SIRI, W.E. *Techniques for measuring body composition*. Washington DC: National Academy Press, 1961.

SMITH, P.M.; MCCRINDLE, E.; DOHERTY, M.; PRICE, M.J.; JONES, A.M. Influence of crank rate on the slow component of pulmonary O<sub>2</sub> uptake during heavy arm-crank exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*, 31:292-301, 2006.

SMITH, K. C. Letter to the Editor Laser (and LED) Therapy Is Phototherapy. *Photomed Laser Surg*, 23(1):78–80, 2005.

SUSSAI, D.A.; de CARVALHO, P.T.C.; DOURADO, D.M.; BELCHIOR, A.C.G.; DOS REIS, F.A.; PEREIRA, D.M. Low-level laser therapy attenuates creatine kinase levels and apoptosis during forced swimming in rats. *Lasers Med Sci*, 25:115-120, 2010.

TANAKA, H., MONAHAN, K.D, SEALS, D.R. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1):153–156, 2001.

TOMA, R.L.; TUCCI, H.T.; ANTUNES, H.K.; PEDRONI, C.R.; de OLIVEIRA, A.S.; BUCK, I.; FERREIRA, P.D.; VASSÃO, P.G.; RENNO, A.C. Effect of 808 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. *Lasers Med Sci*, 8, 2013.

TSCHAKOVSKY, M.E.; HUGHSON, R.L. Interaction of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J Appl Physiol*, 86: 1101-1113, 1999.

TULLBERG, M.; ALSTERGREN, P.J.; ERNBERG, M.M. Effects of low-power laser exposure on masseter muscle pain and microcirculation. *Pain*,105(1-2):89-96, 2003.

VANHATALO, A.; POOLE, D.C.; di MENNA, F.J.; BAILEY, S.J.; JONES. A.M. Muscle fiber recruitment and the slow component of O<sub>2</sub> uptake: constant work rate vs. all-out sprint exercise . *Am J Physiol*, 300 : R700 – R707, 2011.

VIEIRA, W.H.B.; FERRARESI, C.; PEREZ, S.E.A.; BALDISSERA, V.; PARIZOTTO, N.A. Effects of low-level laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled clinical trial. *Lasers Med Sci*, 27(2):497-504, 2012.

XU, X.; ZHAO, X.; LIU, T.C.Y.; PAN, H. Low-intensity laser irradiation improves the mitochondrial dysfunction of C2C12 induced by electrical stimulation. *Photomed Laser Surg*, 26(3):197-202, 2008.

XU, F.; RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med*, 27(5):313-327, 1999.

WHIPP, B.J., ROSSITER, H. The kinetics of oxygen uptake: physiological inferences from the parameters . In: Jones, A.M.; Poole, D.C. (eds.). Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine . London and New York : Routledge, 62 – 94, 2005.

WHIPP, B.J.; WARD, S.A. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 22: 62-71, 1990.

WHIPP, B.J. Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation*, 76(S6): 18-28, 1987.

WHIPP, B.J.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol*, 33:351-356,1972.

WILDEN, L.; KARTHEIN, R. Import of radiation phenomena of electrons and therapeutic low-level laser in regard to the mitochondrial energy transfer. *J. Clin. Laser Med Surg*, 16, 159–165, 1998.

WILKERSON, D.P.; RITTWEGGER, J.; BERGER, N.J.; NAISH, P.F.; JONES, A.M. Influence of recombinant human erythropoietin treatment on pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise in humans. *J Physiol*, 15(568):639-652, 2005.

WOMACK, C.J.; DAVIS, S.E.; BLUMER, J.L.; BARRET, E.; WELTMAN, A.L.; GAESSER, G.A. Slow component of O<sub>2</sub> uptake during heavy exercise: adaptation to endurance training. *J Appl Physiol*, 79(3): 838-45, 1995.

## ANEXOS

---

---

## ANEXO I - QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA

## QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA

- FORMA LONGA-

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

Idade : \_\_\_\_ Sexo: F ( ) M ( ) Você trabalha de forma remunerada: ( ) Sim ( ) Não.

Quantas horas você trabalha por dia: \_\_\_\_

Quantos anos completos você estudou: \_\_\_\_

De forma geral sua saúde está:( ) Excelente ( ) Muito boa ( ) Boa ( ) Regular ( ) Ruim

Nós estamos interessados em saber que tipos de atividade física as pessoas fazem como parte do seu dia a dia. Este projeto faz parte de um grande estudo que está sendo feito em diferentes países ao redor do mundo. Suas respostas nos ajudarão a entender que tão ativos nós somos em relação à pessoas de outros países. As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física em uma semana **NORMAL USUAL** ou **HABITUAL**. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são **MUITO** importantes. Por favor responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação !

Para responder as questões lembre que:

- atividades físicas **VIGOROSAS** são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar **MUITO** mais forte que o normal
- atividades físicas **MODERADAS** são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar **UM POUCO** mais forte que o normal

## SEÇÃO 1- ATIVIDADE FÍSICA NO TRABALHO

Esta seção inclui as atividades que você faz no seu serviço, que incluem trabalho remunerado ou voluntário, as atividades na escola ou faculdade e outro tipo de trabalho não remunerado fora da sua casa. **NÃO** incluir trabalho não remunerado que você faz na sua casa como tarefas domésticas, cuidar do jardim e da casa ou tomar conta da sua família. Estas serão incluídas na seção 3.

1a. Atualmente você trabalha ou faz trabalho voluntário fora de sua casa?

( ) Sim ( ) Não – Caso você responda não **Vá para seção 2: Transporte**

As próximas questões são em relação a toda a atividade física que você faz em uma semana **USUAL** ou **NORMAL** como parte do seu trabalho remunerado ou não remunerado. **NÃO** inclua o transporte para o trabalho. Pense unicamente nas atividades que você faz por **pelo menos 10 minutos contínuos** :

1b. Em quantos dias de uma semana normal você gasta fazendo atividades vigorosas, por **pelo menos 10 minutos contínuos**, como trabalho de construção pesada, carregar grandes pesos, trabalhar com enxada, escavar ou subir escadas **como parte do seu trabalho**:

\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) nenhum - **Vá para a questão 1d.**

1c. Quanto tempo no total você usualmente gasta **POR DIA** fazendo atividades físicas vigorosas **como parte do seu trabalho** ?

\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

1d. Em quantos dias de uma semana normal você faz atividades moderadas, por **pelo menos 10 minutos contínuos**, como carregar pesos leves **como parte do seu trabalho** ?

\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) nenhum - **Vá para a questão 1f**

1e. Quanto tempo no total você usualmente gasta **POR DIA** fazendo atividades moderadas **como parte do seu trabalho** ?

\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

1f. Em quantos dias de uma semana normal você **anda**, durante **pelo menos 10 minutos contínuos**, **como parte do seu trabalho** ? Por favor **NÃO** inclua o andar como forma de transporte para ir ou voltar do trabalho

\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) nenhum - **Vá para a seção 2 - Transporte.**

1g. Quanto tempo no total você usualmente gasta **POR DIA** caminhando **como parte do seu trabalho** ?

\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

## SEÇÃO 2 - ATIVIDADE FÍSICA COMO MEIO DE TRANSPORTE

Estas questões se referem a forma típica como você se desloca de um lugar para outro, incluindo seu trabalho, escola, cinema, lojas e outros.

2a. Em quantos dias de uma semana normal você anda de carro, ônibus, metrô ou trem?  
 \_\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) nenhum - Vá para questão 2c

2b. Quanto tempo no total você usualmente gasta **POR DIA** andando de carro, ônibus, metrô ou trem?  
 \_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

Agora pense **somente** em relação a caminhar ou pedalar para ir de um lugar a outro em uma semana normal.

2c. Em quantos dias de uma semana normal você anda de bicicleta por **pelo menos 10 minutos contínuos** para ir de um lugar para outro? (**NÃO** inclua o pedalar por lazer ou exercício)  
 \_\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) Nenhum - Vá para a questão 2f.

2d. Nos dias que você pedala quanto tempo no total você pedala **POR DIA** para ir de um lugar para outro?  
 \_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

2e. Em quantos dias de uma semana normal você caminha por **pelo menos 10 minutos contínuos** para ir de um lugar para outro? (**NÃO** inclua as caminhadas por lazer ou exercício)  
 \_\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) Nenhum - Vá para a Seção 3.

2f. Quando você caminha para ir de um lugar para outro quanto tempo **POR DIA** você gasta? (**NÃO** inclua as caminhadas por lazer ou exercício)  
 \_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

**SEÇÃO 3 – ATIVIDADE FÍSICA EM CASA: TRABALHO, TAREFAS DOMÉSTICAS E CUIDAR DA FAMÍLIA**

Esta parte inclui as atividades físicas que você faz em uma semana **NORMAL** na sua casa e ao redor da sua casa, por exemplo trabalho em casa, cuidar do jardim, cuidar do quintal, trabalho de manutenção da casa ou para cuidar da sua família. Novamente pense **somente** naquelas atividades físicas que você faz **por pelo menos 10 minutos contínuos**.

**3a.** Em quantos dias de uma semana normal você faz atividades físicas **vigorosas** no jardim ou quintal por pelo menos 10 minutos como carpir, lavar o quintal, esfregar o chão:

\_\_\_\_\_ dias por **SEMANA**                      ( ) Nenhum - Vá para a questão 3c

**3b.** Nos dias que você faz este tipo de atividades vigorosas no quintal ou jardim quanto tempo no total você gasta **POR DIA**?

\_\_\_\_\_ horas    \_\_\_\_\_ minutos

**3c.** Em quantos dias de uma semana normal você faz atividades **moderadas** por pelo menos 10 minutos como carregar pesos leves, limpar vidros, varrer, rastelar com no jardim ou quintal

\_\_\_\_\_ dias por **SEMANA**                      ( ) Nenhum - Vá para questão 3e.

**3d.** Nos dias que você faz este tipo de atividades quanto tempo no total você gasta **POR DIA** fazendo essas atividades moderadas no jardim ou no quintal?

\_\_\_\_\_ horas    \_\_\_\_\_ minutos

**3e.** Em quantos dias de uma semana normal você faz atividades **moderadas** por pelo menos 10 minutos como carregar pesos leves, limpar vidros, varrer ou limpar o chão **dentro da sua casa**.

\_\_\_\_\_ dias por **SEMANA**                      ( ) Nenhum - Vá para seção 4

**3f.** Nos dias que você faz este tipo de atividades moderadas **dentro da sua casa** quanto tempo no total você gasta **POR DIA**?

\_\_\_\_\_ horas    \_\_\_\_\_ minutos

#### SEÇÃO 4- ATIVIDADES FÍSICAS DE RECREAÇÃO, ESPORTE, EXERCÍCIO E DE LAZER

Esta seção se refere às atividades físicas que você faz em uma semana **NORMAL** unicamente por recreação, esporte, exercício ou lazer. Novamente pense somente nas atividades físicas que faz **por pelo menos 10 minutos contínuos**. Por favor **NÃO** inclua atividades que você já tenha citado.

**4a. Sem contar qualquer caminhada que você tenha citado anteriormente**, em quantos dias de uma semana normal, você caminha **por pelo menos 10 minutos contínuos no seu tempo livre**?

\_\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) Nenhum - Vá para questão 4d

**4b. Nos dias em que você caminha no seu tempo livre**, quanto tempo no total você gasta **POR DIA**?

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

**4c. Em quantos dias de uma semana normal**, você faz atividades **vigorosas no seu tempo livre** por pelo menos 10 minutos, como correr, fazer aeróbicos, nadar rápido, pedalar rápido ou fazer jogging :

\_\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) Nenhum - Vá para questão 4f

**4e. Nos dias em que você faz estas atividades vigorosas no seu tempo livre** quanto tempo no total você gasta **POR DIA**?

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

**4f. Em quantos dias de uma semana normal**, você faz atividades **moderadas no seu tempo livre** por pelo menos 10 minutos, como pedalar ou nadar a velocidade regular, jogar bola, vôlei, basquete, tênis :

\_\_\_\_\_ dias por **SEMANA** ( ) Nenhum - Vá para seção 5

**4g. Nos dias em que você faz estas atividades moderadas no seu tempo livre** quanto tempo no total você gasta **POR DIA**?

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

#### SEÇÃO 5 - TEMPO GASTO SENTADO

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto des-cansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

**5a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um dia de semana?**

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

**5b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um dia de final de semana?**

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_\_ minutos

## ANEXO II - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### **Caro participante,**

Gostaríamos de convidá-lo a participar como voluntário do estudo de tese de doutorado intitulado “EFEITO DA *LED* TERAPIA NA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO”, desenvolvido pelo doutorando Paulo Victor Mezzaroba sob a orientação da Profa. Dra. Fabiana Andrade Machado do Departamento de Educação Física da Universidade Estadual de Maringá. O objetivo do estudo é verificar o efeito da *LED* terapia como recurso ergogênico para o metabolismo aeróbio, além de facilitação da recuperação tecidual pós-exercício. Os resultados do estudo contribuirão para verificar a possibilidade da aplicação do *LED* como recurso para aprimorar o desempenho aeróbio com fins a saúde e desempenho.

### **Local de realização dos testes**

Os testes de laboratório e demais procedimentos serão realizados no Laboratório de Fisiologia do Esforço (LABFISE – UEM, Bloco H-79 Sala 107) junto ao Departamento de Ciências Fisiológicas da Universidade Estadual de Maringá (DFS/UEM), e no Laboratório de Biologia do Exercício (LAMM – UEL) junto ao Departamento de Educação Física da Universidade Estadual de Londrina em datas previamente agendadas devendo os participantes comparecerem devidamente alimentados e preparados para tal.

### **Procedimentos dos testes**

Serão necessários cinco dias de avaliações, sendo respeitado um intervalo mínimo de 48 h em um período máximo de um mês. Inicialmente, serão aferidas medidas antropométricas referentes à massa corporal, estatura e percentual de gordura corporal e, os participantes serão familiarizados ao ergômetro específico de avaliação, a esteira rolante. Todos os participantes realizarão dois testes de intensidade incremental até exaustão voluntária e dois testes de carga retangular para determinação da cinética do consumo de oxigênio, com e sem aplicação do *LED*, em intensidade pesada. Serão coletadas amostras de sangue (25 $\mu$ l), por punção, do lóbulo da orelha com equipamentos devidamente esterilizados, ao início e fim dos testes incrementais e aos 3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15 minutos após os testes incrementais.

### **Testes laboratoriais**

Os testes laboratoriais serão realizados em esteira rolante (INBRAMED Super ATL, Porto Alegre-BR). O protocolo incremental na esteira será precedido por um aquecimento de 3 min a 6 km·h<sup>-1</sup> e iniciará a uma velocidade de 8 km·h<sup>-1</sup> com incrementos de 1 km·h<sup>-1</sup> a cada 3 min, sendo mantida inclinação constante de 1%. Todos serão encorajados a permanecerem em esforço pelo maior tempo possível até exaustão voluntária; a frequência cardíaca será constantemente monitorada (Polar<sup>®</sup> RS800), além do controle do consumo de oxigênio por espirometria (Cortex Metalyzer<sup>®</sup>, Biophysik, DE) e coleta de 25 $\mu$ l de sangue do lóbulo da orelha para determinação da concentração de lactato sanguíneo. O consumo máximo de oxigênio e o limiar ventilatório verificados no teste incremental serão utilizados para determinação das intensidades fixas e individuais dos testes de cinética. Serão dois testes de cinética do consumo de oxigênio, com e sem a aplicação do *LED* e no domínio de esforço pesado; após aquecimento, serão realizadas duas transições de 6-min na intensidade pré-determinada, com intervalo de 30-min entre elas. Os dados de respiração a respiração serão verificados e as duas transições serão alinhados para redução dos ruídos e acentuação das características fisiológicas.

### **Aplicação do *LED***

Estudos prévios com animais e humanos mostram a segurança na aplicação do *LED*, para tal procedimento será utilizado o método pontual com contato direto do

equipamento sobre o local irradiado, a aplicação ocorrerá antes dos testes, ao longo eixo de distribuição das fibras musculares do quadríceps e vasto lateral, o comprimento de onda será de 850nm com frequência contínua e energia irradiada total de 93,6J por cluster.

### **Divulgação dos resultados obtidos**

Os participantes tomarão conhecimento de todos os resultados obtidos no trabalho. Todos os dados advindos da pesquisa serão de propriedade do pesquisador e serão divulgados em congressos e revistas de caráter científico pertinentes a área de aplicação na forma de artigos, para tanto, sempre se resguardará a identidade dos participantes não havendo nenhum outro interesse que não o científico na divulgação dos resultados. Portanto, necessitamos do consentimento dos senhores tanto para a realização dos testes quanto para que os dados obtidos possam ser divulgados na literatura científica da área. Informamos que a participação é totalmente voluntária, com plena liberdade para negarem o consentimento ou retirarem-se do estudo a qualquer momento. Também informamos que os participantes não receberão nenhuma forma de pagamento como também, não possuirão despesas financeiras por participarem como sujeitos nos testes.

### **Responsabilidade sobre os procedimentos experimentais**

Os responsáveis pelos testes comprometem-se em realizá-los dentro dos padrões e normas de segurança, mostrando-se conhecedores dos procedimentos a serem realizados. Os possíveis desconfortos sentidos após a realização dos testes como cansaço, dor muscular, transpiração, dentre outros, serão semelhantes aos sentidos pelos senhores durante a prática rotineira de exercícios físicos. Ademais, será necessário a apresentação de um laudo cardiológico, atestando e assegurando plenas condições físicas de participar dos testes de esforço.

Qualquer pergunta ou dúvidas em relação aos procedimentos utilizados no projeto deverão ser dirigidas aos responsáveis pela realização do mesmo, que estarão sempre à disposição para maiores esclarecimentos: Ms. Paulo Victor Mezzaroba, Profa. Dra. Fabiana Andrade Machado; end: DEF – UEM, Bloco M06 sala 06 Tel. (44) 30115861. Dúvidas em relação aos aspectos éticos da pesquisa poderão ser esclarecidas pelo Comitê Permanente de Ética em Pesquisa (COPEP) envolvendo Seres Humanos da UEM; end: Universidade Estadual de Maringá – Av. Colombo 5790, Campus Sede da UEM. Bloco da Biblioteca Central (BCE) Tel (44) 3261 – 4444. E-mail: copep@uem.br

Eu, \_\_\_\_\_, portador do documento de identidade nº \_\_\_\_\_, após ter lido, entendido e esclarecido todas as minhas dúvidas referentes a este estudo, CONCORDO VOLUNTARIAMENTE em participar como participante do projeto autorizando a realização de todos os procedimentos e consentindo com a posterior divulgação científica dos dados obtidos.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do (a) participante

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

\_\_\_\_\_  
Ms. Paulo Victor Mezzaroba

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Fabiana Andrade Machado

## ANEXO III – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
MARINGÁ

## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

## DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** EFEITO DA LED TERAPIA NA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM CICLOERGÔMETRO E ESTEIRA ROLANTE

**Pesquisador:** FABIANA ANDRADE MACHADO

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 08636412.5.0000.0104

**Instituição Proponente:** Universidade Estadual de Maringá

## DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 147.362

**Data da Relatoria:** 22/10/2012

## Apresentação do Projeto:

A LED (light emitting diode) terapia tem sido verificada como estratégia eficaz na prevenção e recuperação de lesões musculares ocasionadas pelo exercício físico, além disso, algumas respostas orgânicas, como modificação de estrutura mitocondrial, maior atividade de enzimas oxidativas, hiperemia local, dentre outras, levantam a hipótese de que esse recurso também possa aprimorar o desempenho muscular. Sendo assim, o objetivo do presente estudo é verificar o efeito da LED terapia na cinética do consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>), uma vez que essa análise demonstra de forma detalhada o comportamento respiratório em níveis alveolares e musculares. Participarão do estudo 20 sujeitos do gênero masculino, fisicamente ativos, divididos em dois grupos de acordo com o modo de exercício: esteira rolante (n=10) e cicloergômetro (n=10). Serão necessários seis dias de avaliação, sendo respeitado um intervalo mínimo de 48h em um período máximo de um mês. Inicialmente, serão aferidas medidas antropométricas e de composição corporal e, os sujeitos serão familiarizados ao ergômetro específico do grupo que forem inseridos. Todos os participantes realizarão um teste incremental até exaustão voluntária e quatro testes de carga constante para determinação da cinética do VO<sub>2</sub>. O protocolo incremental na esteira iniciará a uma velocidade de 7 km/h com incremento de 1 km/h a cada 3 min, sendo mantida inclinação constante de 1%, no cicloergômetro, a carga inicial será de 45 W com aumento de 30 W a cada 3 min, em uma cadência constante de 60 rpm. Os sujeitos serão encorajados a permanecerem em esforço pelo maior tempo possível, tendo a frequência cardíaca monitorada, além do controle do consumo de oxigênio por espirometria e da coleta de 25ul de sangue do lóbulo da orelha para

Endereço: Av. Colombo, 5790, UEM-PPG

Bairro: Jardim Universitário

CEP: 87.020-900

UF: PR

Município: MARINGÁ

Telefone: (44)3011-4444

Fax: (44)3011-4518

E-mail: copep@uem.br

determinação da concentração de lactato sanguíneo a cada estágio. O consumo pico de oxigênio e o limiar de lactato verificados no teste incremental serão utilizados para determinação das intensidades fixas e individuais dos testes de cinética. Serão quatro testes de cinética do VO<sub>2</sub>, com e sem a aplicação do LED e nos domínios de esforço pesado e severo; após aquecimento, serão realizadas duas transições de 6 min na intensidade pré-determinada, com intervalo de 30 min entre elas. Os dados de respiração a respiração serão verificados por espirometria e as duas transições serão alinhadas para redução dos ruídos e acentuação das características fisiológicas. Para cada transição serão coletadas 25µl de sangue do lóbulo da orelha após 3, 5, 7 e 15 min, para verificar o comportamento da remoção de lactato sanguíneo. As hipóteses do estudo baseiam-se nas seguintes respostas em função da aplicação do LED: 1) redução de metabólitos musculares; 2) modificação do início e duração da fase 2 e 3 da cinética e do componente lento; 3) respostas dependentes do modo de exercício e intensidade.

#### Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Verificar o efeito da LED terapia na cinética do consumo de oxigênio;

Objetivo Secundário: Verificar a influência do modo de exercício (pedalar ou correr) perante a aplicação do LED na cinética do consumo de oxigênio; Verificar a influência da intensidade de exercício (pesada ou severa) perante a aplicação do LED na cinética do consumo de oxigênio; Verificar o efeito da aplicação do LED na redução de metabólitos celulares (lactato sanguíneo).

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Os possíveis desconfortos sentidos após a realização dos testes como cansaço, dor muscular, transpiração, dentre outros, serão semelhantes aos sentidos durante a prática rotineira de exercícios físicos. Benefícios: Os participantes receberão acompanhamento individualizado quanto à prescrição e acompanhamento de exercício físico de forma a usufruírem dos recursos mais inovadores em termos científicos que visem otimizar a performance desportiva com segurança e eficácia.

#### Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O cronograma de execução foi apresentado, prevendo uma duração total do estudo de quarenta meses, entre setembro de 2012 e dezembro de 2015, com início do convite aos participantes para janeiro de 2013. O orçamento do estudo, totalizando R\$ 2.400,00, segue com informação de que será subsidiada pela pesquisadora.

#### Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

No projeto é apresentado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) dirigido diretamente aos sujeitos da pesquisa, convidando-os para participar do projeto, com uma minuciosa descrição do projeto, esclarecendo que a participação é voluntária, podendo os participantes recusar-se ou desistir de participar a qualquer momento sem ônus ou prejuízo.

Endereço: Av. Colombo, 5790, UEM-PPG		
Bairro: Jardim Universitário		CEP: 87.020-900
UF: PR	Município: MARINGÁ	
Telefone: (44)3011-4444	Fax: (44)3011-4518	E-mail: copep@uem.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
MARINGÁ



sendo garantido o sigilo e confidencialidade. Informa que "os resultados do estudo contribuirão para verificar a possibilidade da aplicação do LED como recurso para aprimorar o desempenho aeróbio". Informa também que "possíveis desconfortos sentidos após a realização dos testes como cansaço, dor muscular, transpiração, dentre outros, serão semelhantes aos sentidos pelos senhores durante a prática rotineira de exercícios físicos" e que "será necessário a apresentação de um laudo cardiológico, atestando e assegurando plenas condições físicas de participar dos testes de esforço".

São apresentados em anexo:

- Ficha de anamnese, com dados de identificação, informações referentes à nutrição, suplementação e prática de exercícios físicos;
- Autorização para utilização do Laboratório de Fisiologia do Esforço (LABFISE) do Departamento de Ciências Fisiológicas da Universidade Estadual de Maringá (UEM), assinada por Solange Marta Franzoi de Moares, coordenadora do LABFISE;
- Autorização para utilização do Laboratório de Biologia do Exercício (LAMB) do Departamento de Educação Física da Universidade Estadual de Londrina (UEL), assinada por Fábio Y. Nakamura, coordenador do LAMB;
- Declaração de participação no projeto assinada por Geraldo Ângelo Nogueira, médico cardiologista;
- Termo de Concessão e Aceitação de Apoio Financeiro a Projeto pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

**Recomendações:**

Não há.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Face o exposto e considerando a apreciação do protocolo à luz da normativa ética vigente, este comitê de ética em pesquisa se manifesta por aprovar o protocolo na forma em que ora se apresenta.

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Face o exposto e considerando a apreciação do protocolo à luz da normativa ética vigente, este comitê de ética em pesquisa se manifesta por aprovar o protocolo na forma em que ora se apresenta.

Endereço: Av. Colombo, 5790, UEM-PPG

Bairro: Jardim Universitário

CEP: 87.020-800

UF: PR

Município: MARINGÁ

Telefone: (44)3011-4444

Fax: (44)3011-4518

E-mail: copep@uem.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ 

MARINGÁ, 15 de Novembro de 2012

---

Assinado por:  
Ieda Harumi Higuchi  
(Coordenador)

## ANEXO IV – Autorização para utilização do Laboratório de Fisiologia do Esforço da Universidade Estadual de Maringá



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
Centro de Ciências Biológicas - CCB  
Departamento de Ciências Fisiológicas – DFS



### AUTORIZAÇÃO DE USO

Em cumprimento as normas de pesquisa estabelecidas por esta instituição, pelo presente documento fica autorizada a professora **FABIANA ANDRADE MACHADO**, do Departamento de Educação Física, a utilizar o laboratório de fisiologia do esforço (LABFISE), situado no bloco H-79 sala 107, do Departamento de Ciências Fisiológicas, para desenvolver os protocolos experimentais pertinentes a seus projetos de pesquisa.

Maringá, 01 de setembro de 2010.

  
Solange Marta Franzoi de Moraes,  
Coordenadora do LABFISE

  
Maria Montserrat Diaz Pedrosa Furlan,  
Chefe do DFS

ANEXO V – Autorização para utilização do Laboratório de Biologia do Exercício da Universidade Estadual de Londrina



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA  
Centro de Educação Física e Esporte  
Departamento de Educação Física



AUTORIZAÇÃO DE USO

Em cumprimento as normas de pesquisa estabelecidas por esta instituição, pelo presente documento fica autorizada a professora FABIANA ANDRADE MACHADO, do Departamento de Educação Física da Universidade Estadual de Maringá, a utilizar o laboratório Laboratório de Biologia do Exercício, situado no LAMM, para desenvolver os protocolos experimentais pertinentes a seus projetos de pesquisa.

Maringá, 14 de setembro de 2012

Fábio Y. Nakamura

Coordenador do Laboratório de Biologia do Exercício