

Rodolfo André Dellagrana

**EFEITOS DA TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO EM  
PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, ELETROMIOGRÁFICOS E  
DE DESEMPENHO NA CORRIDA**

Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Educação Física da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Doutor em Educação Física.  
Orientador: Prof. Dr. Fernando  
Diefenthaler

Florianópolis  
2018

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

Dellagrana, Rodolfo André

Efeitos da terapia com fotobiomodulação em  
parâmetros fisiológicos, eletromiográficos e de  
desempenho na corrida / Rodolfo André Dellagrana ;  
orientador, Fernando Diefenthaler, 2018.

143 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Desportos, Programa de Pós  
Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Laserterapia de baixa  
potência. 3. Terapia com emissores . 4. Recurso  
ergogênico. 5. Desempenho de corrida. I.  
Diefenthaler, Fernando. II. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Educação Física. III. Título.

Rodolfo André Dellagrana

**EFEITOS DA TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO EM  
PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, ELETROMIOGRÁFICOS E  
DE DESEMPENHO NA CORRIDA**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Educação Física e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física

Florianópolis, 22 de fevereiro de 2018.

---

Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup> Kelly Samara da Silva  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Fernando Diefenthaler (orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina ó UFSC

---

Prof. Dr. Bruno Manfredini Baroni (Membro externo)  
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre ó UFCSPA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cintia De La Rocha Freitas (Membro interno)  
Universidade Federal de Santa Catarina ó UFSC

---

Prof. Dr. Ricardo Dantas De Lucas (Membro Interno)  
Universidade Federal de Santa Catarina ó UFSC



Este trabalho é dedicado aos meus pais, Pedro e Viviane, e a minha família.



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Pedro Irineu Dellagrana e Viviane Marta Steff Dellagrana, por todas as orientações e auxílio na minha caminhada, e principalmente pelo apoio incondicional com a minha escolha profissional.

Aos meus familiares, minha avó Rosiris, minha irmã Carolina, meu sobrinho Kalel, meu cunhado Wagner, minha tia Gisela, e minha prima Fernanda, por participarem de momentos importantes da minha vida.

Ao meu orientador, professor Fernando Diefenthaeler, primeiramente pela oportunidade de cursar o doutorado, e também, pela ótima convivência e orientação sempre presente e com total dedicação. Com certeza levarei comigo muitos dos ensinamentos compartilhados. Muito obrigado!

Impossível não expressar minha imensa gratidão aos amigos Mateus Rossato, Raphael Sakugawa e Lucas Orssatto. Sem a ajuda de vocês não seria possível finalizar as coletas de dados, e os artigos científicos que compõe a minha tese.

Aos amigos do Laboratório de Biomecânica (BIOMECC), Bruno Follmer, Jonathan Ache, Bruno Moura (Baiano), Osvaldo André (Dedé), Ewertton Bezerra, Rafael Kons, Syllas Nery, Jonathan Barth, Manoela, Morgana, Leandro, Débora e José Raphael Costa pela convivência e pelos momentos alegres compartilhados com vocês.

Aos amigos e professores da UFSC, Cassiano Rech, Diego Silva, Daniele Detânico e Juliano Dal Pupo. Assim como os membros do BIOMECC, vocês são amigos que levarei para toda a vida

Aos amigos do PPGEF/UFSC, no qual engloba vários laboratórios e núcleos de pesquisa, em especial, Luiz Augustemak de Lima, Anderson Teixeira, Valter Barbosa Filho, Renan Nunes e João Chula, pelos bons momentos vivenciados com vocês.

Aos integrantes do LAEF, uma vez que grande parte das minhas coletas de dados ocorreu dentro deste laboratório.

Aos professores da banca examinadora, Bruno Baroni, Cintia Freitas e Ricardo Dantas por aceitarem em participar da banca e pela contribuição para a finalização da minha tese de doutorado.

A Natália Caduro Silva e todos os participantes do meu estudo, sem eles não seria possível concluir o trabalho.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Pois, sozinho eu não chegaria em lugar algum.



## RESUMO

A terapia com fotobiomodulação (PBMT) tem sido utilizada como recurso ergogênico para postergar a ocorrência da fadiga muscular em diversos modos de exercícios. Apesar de sua ampla utilização, o conhecimento da dose ideal para atingir efeitos positivos na corrida, ainda são incertos. A presente tese teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação prévia da PBMT em parâmetros fisiológicos, eletromiográficos e de desempenho de corridas com testes submáximos, máximos e simuladas em campo. Para isso, três estudos foram delineados. Trinta e oito corredores recreacionais do sexo masculino participaram dos estudos caracterizados como randomizado, duplo-cego e placebo-controlado, sendo 18 nos estudos 1 e 2 (efeito da dose-resposta da PBMT no desempenho de corrida em teste submáximos e máximos no laboratório), e 20 no estudo 3 (efeito da PBMT na corrida de 1500 m). No estudo 1 os participantes realizaram um teste de corrida submáximo (nas velocidades de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e um teste incremental máximo até a exaustão em cinco visitas ao laboratório com diferentes tratamentos: controle, placebo e PBMT com 15, 30 e 60 J por ponto de aplicação. Já no estudo 2, foram utilizadas apenas as variáveis eletromiográficas durante o teste de corrida submáximo (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). O estudo 3 foi dividido em quatro sessões: 1) teste incremental máximo na esteira; 2) corrida de 1500 m na condição controle (sem aplicação da PBMT ou placebo); 3 e 4) corrida de 1500 m com aplicação da PBMT ou placebo (randomizados). Com relação a aplicação da PBMT ou placebo, nos estudos 1 e 2, imediatamente antes dos testes de corrida diferentes dosagens da PBMT (15, 30 e 60 J por ponto, assim 28 pontos totalizando 420, 840 e 1680 J, respectivamente) foram aplicadas. Enquanto que no estudo 3, apenas a dose de 30 J por ponto (28 pontos com dose total de 840 J) foi aplicada antes da corrida. Em todos os estudos o efeito positivo da PBMT foi considerado quando superior a condição placebo. Assim, nos estudos 1 e 2, a PBMT com 15 J por ponto melhorou a economia de corrida (EC) na velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (2,98%), economia neuromuscular na velocidade de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (5,86% e 16,80%, respectivamente), percepção subjetiva de esforço (PSE) na velocidade de 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (4,80%), pico de velocidade (PV) ó 1,33% e tempo total de exaustão (TTE) no teste incremental (3,06%). A PBMT com dose de 30 J por ponto melhorou a EC nas velocidades de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (3,01% e 3,03%, respectivamente), economia neuromuscular na velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (7,56%), PSE na velocidade de 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (7,86%), velocidade associada ao consumo máximo de oxigênio ( $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$  ó

3,07%), PV (1,49%) e TTE (3,41%). Já a PBMT com dose de 60 J por ponto melhorou apenas a EC e economia neuromuscular na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (3,87% e 10,33%, respectivamente). No estudo 3, a PBMT não melhorou o tempo total da corrida simulada de 1500 m. Por outro lado, considerando a resposta individual, 12 corredores responderam positivamente à PBMT (redução do tempo em pelo menos 1 segundo na prova em comparação ao placebo), e foram considerados responsivos. Os corredores responsivos a PBMT apresentaram melhores parâmetros aeróbios em comparação aos não responsivos a PBMT. Em conclusão, a PBMT com dose de 30 J por ponto é a mais efetiva para aprimorar o desempenho em corridas dentro do laboratório com ambiente controlado. No entanto, na corrida de 1500 m em campo, a efetividade PBMT com dose de 30 J por ponto parece estar associada com o nível de condicionamento aeróbio no corredor irradiado.

**Palavras-chave:** Laserterapia de baixa potência. Terapia com diodos emissores de luz. Recurso ergogênico. Desempenho de corrida.

## ABSTRACT

Photobiomodulation therapy (PBMT) had been used as ergogenic aid to delay the onset of muscular fatigue in several exercises modes. However, the knowledge about ideal dose to reach positive effects in the running remains unclear. The aim of present study was to verify the effect of PBMT applied before running tests on physiological, electromyography (EMG), and performance during running submaximal and maximal protocols, and field test. Thus, three studies were developed. Thirty eight male recreational runners participate in a randomized, double-blind, and placebo-controlled trial, which 18 participated of studies 1 and 2 (PBMT dose-response effects on running performance during submaximal and maximal protocols), and 20 participated of study 3 (PBMT effects on time trial run over 1,500 m). In the study 1, the participants performed a submaximal (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) and maximal protocols, in five conditions: control, placebo, and PBMT with doses of 15, 30 and 60 J per site. The EMG variables during submaximal protocol (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) were used in the study 2. The study 3 was divided in four sessions: 1) incremental maximal running test; 2) 1,500 m run control (without PBMT or placebo); 3 and 4) PBMT or placebo before 1,500 m run (randomized). In the studies 1 and 2, PBMT or placebo were applied immediately before running tests, with different dosages (15, 30 and 60 J per site, 28 sites with total dose of 420, 840 and 1680 J, respectively). While in the study 3, only the PBMT with 30 J per site (total dose of 840 J) was applied before 1,500 m run. All studies the positive effect of PBMT was considered when comparing with placebo condition. Therefore, in the studies 1 and 2, PBMT with 15 J per site improved running economy (RE) at 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (2.98%), neuromuscular economy at 8 and 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (5.86% and 16.80%, respectively), rate of perceived exertion (RPE) at 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (4.80%), peak of velocity (PV) (1.33%), and total time to exhaustion (TTE) (3.06%). PBMT with 30 J per site improved RE at 8 and 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (3.01% and 3.03%, respectively), neuromuscular economy at 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (7.56%), RPE at 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (7.86%), velocity at  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  (3.07%), PV (1.49%), and TTE (3.41%). PBMT with 60 J only improved RE and neuromuscular economy at 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (3.87% and 10.33%, respectively). In the study 3, PBMT did not improve the total time trial run over 1,500 m. On the other hand, according to individual responsiveness analysis, 12 runners positively responded to PBMT (reduction of 1 seg in comparison to placebo), and they were considered responders. Responders presented better aerobic parameters in comparison with non-responders. In

conclusion, PBMT with dose of 30 J per site is the most effective to improve the running performance in laboratory-controlled environment. However, the effectiveness of PBMT with 30 J per site on 1,500 m in a noncontrolled environment seems be related with aerobic conditioning level of runner.

**Keywords:** Low-level laser therapy. Light-emitting diode therapy. Ergogenic aid. Running performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ó Espectro eletromagnético.....	26
Figura 2 ó Desenho do estudo (Artigo 1).....	51
Figura 3 ó Parâmetros e pontos (círculos pretos nos músculos) de aplicação da terapia com fotobiomodulação (Artigo 1).....	53
Figura 4 ó Efeitos da PBMT com três diferentes doses (15, 30 e 60 J por ponto) nas variáveis de economia de corrida (EC), concentração de lactato ([Lac]), percepção subjetiva de esforço (PSE), limiar anaeróbio individual (IAT), consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), pico da concentração de lactato sanguíneo ( $[Lac]_{pico}$ ), velocidade associada ao $VO_{2MAX}$ ( $vVO_{2MAX}$ ), pico de velocidade (PV), tempo total de exaustão (TTE) e distância total percorrida no teste incremental (DT). Todas as doses de PBMT foram comparadas com a condição placebo.....	59
Figura 5 ó Desenho do estudo (Artigo 2).....	69
Figura 6 ó Parâmetros e pontos (círculos pretos nos músculos) de aplicação da terapia com fotobiomodulação (Artigo 2).....	70
Figura 7 ó Efeito da PBMT com três diferentes doses (15, 30 e 60 J por ponto), no RMS de cinco músculos ( <i>vastus medialis</i> , <i>vastus lateralis</i> , <i>rectus femoris</i> , <i>biceps femoris</i> e <i>gastrocnemius lateralis</i> ) e na soma destes músculos durante corridas com velocidades de 8 e 9 $km \cdot h^{-1}$ . Todas as doses de PBMT foram comparadas com o placebo.....	75
Figura 8 ó Parâmetros e pontos (círculos pretos nos músculos) de aplicação da terapia com fotobiomodulação (Artigo 3).....	87
Figura 9 ó Tempo total nas corridas de 1500 m nas condições placebo e terapia com fotobiomodulação (PBMT).....	90
Figura 10 ó Efeito da terapia com fotobiomodulação (PBMT) nos tempos parciais, frequência cardíaca (FC), percepção subjetiva de esforço do membros inferiores (PSE) e concentrações de lactato sanguíneo durante as corridas de 1500 m nas condições placebo e PBMT. Análise com todos os corredores (n=19).....	91
Figura 11 ó Efeito da terapia com fotobiomodulação (PBMT) de acordo com a análise da resposta individual para o tempo, frequência cardíaca (FC), percepção subjetiva de esforço dos membros inferiores (PSE) e concentrações de lactato [Lac] durante a corrida de 1500 m. * diferença significativa em seu respectivo ponto no tempo.....	94



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 ó Estudos com seres humanos com aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação em exercícios de curta duração em um ou vários grupamentos musculares.....	36
Quadro 2 ó Estudos com seres humanos com aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação em exercícios de longa duração.....	44
Quadro 3 ó Artigos que compõe a presente tese.....	46
Quadro 4 ó Efeitos de todas as doses de energia da PBMT em comparação ao placebo para as variáveis dos estudos um e dois.....	81



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 ó Tratamentos (placebo e PBMT) e melhor desempenho* por sessão.....	56
Tabela 2 ó Economia de corrida (EC), percepção subjetiva de esforço (PSE) e concentração de lactato sanguíneo ([Lac]) durante teste submáximo de corrida nas velocidades de 8 km·h <sup>-1</sup> e 9 km·h <sup>-1</sup> .....	56
Tabela 3 ó Parâmetros fisiológicos e de desempenho durante teste incremental máximo em esteira.....	57
Tabela 4 ó Média e desvio padrão dos valores de pico de torque e ativação muscular durante as contrações isométricas voluntárias máximas para extensores (EXT) e flexores (FLEX) de joelho, e flexores plantares (PFLEX) em todas as condições avaliadas.....	73
Tabela 5 ó Média e desvio padrão do RMS normalizado pela contração isométrica voluntária máxima (%CIVM) durante as corridas submáximas (8 e 9 km·h <sup>-1</sup> ) para os músculos <i>vastus medialis</i> (VM), <i>vastus lateralis</i> (VL), <i>rectus femoris</i> (RF), <i>biceps femoris</i> (BF), <i>gastrocnemius lateralis</i> (GL) e a soma destes músculos (PERNA).....	74
Tabela 6 ó Relação da vVO <sub>2MÁX</sub> , PV e vPCR com as corridas de 1500 m nas condições controle, placebo e PBMT.....	89
Tabela 7 ó Análise da resposta individual para o tempo total na corrida de 1500 m, e comparações entre responsivos e não responsivos para as variáveis fisiológicas e melhor tempo na corrida de 1500 m.....	93



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\lambda$  ó Comprimento de Onda  
 [Lac] ó Concentração de Lactato Sanguíneo  
 [Lac]<sub>pico</sub> ó Pico da Concentração de Lactato Sanguíneo  
 ADP ó Adenosina Difosfato  
 ATP ó Adenosina Trifosfato  
 BF ó Músculo Bíceps Femoral  
 Ca<sup>2+</sup> ó Cálcio  
 CK ó Creatina Cinase  
 CO<sub>2</sub> ó Dióxido de Carbono  
 CTE ó Cadeia Transportadora de Elétrons  
 CIVM ó Contração Isométrica Voluntária Máxima  
 DPOC ó Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica  
 DT ó Distância Total Percorrida no Teste Incremental  
 EC ó Economia de Corrida  
 EMG ó Eletromiografia  
 ERN ó Espécies Reativas de Nitrogênio  
 ERO ó Espécies Reativas de Oxigênio  
 FC ó Frequência Cardíaca  
 FC<sub>MAX</sub> ó Frequência Cardíaca Máxima  
 GL ó Músculo Gastrocnêmio Lateral  
 H<sup>+</sup> ó Hidrogênio  
 IAT ó Limiar Anaeróbio Individual  
 K<sup>+</sup> ó Potássio  
 LASER ó Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação  
 LBP ó Laserterapia de Baixa Potência  
 LDH ó Lactato Desidrogenase  
 LEDs ó Diodos Emissores de Luz  
 LEDT ó Terapia com Diodos Emissores de Luz  
 MASER ó Amplificação de Micro-ondas por Emissão Estimulada de Radiação  
 MDF ó Mediana da Frequência  
 Mg<sup>2+</sup> ó Magnésio  
 Na<sup>+</sup> ó Sódio  
 NAD ó Nicotinamida e Adenina  
 O<sub>2</sub> ó Oxigênio  
 PBMT ó Terapia com Fotobiomodulação (*Photobiomodulation therapy*)  
 PCR ó Ponto de Compensação Respiratória  
 Pi ó Fosfato Inorgânico

PSE ó Percepção Subjetiva de Esforço

PV ó Pico de Velocidade

RF ó Músculo Reto Femoral

RMS ó *Root Mean Square*

TE ó Tamanho do Efeito

TTE ó Tempo Total de Exaustão no Teste Incremental

vIAT ó Velocidade Referente ao Limiar Anaeróbio Individual

VL ó Músculo Vasto Lateral

VM ó Músculo Vasto Medial

vPCR ó Velocidade Referente ao Ponto de Compensação Respiratória

VO<sub>2</sub> ó Consumo de Oxigênio

VO<sub>2</sub>IAT ó Consumo de Oxigênio Referente ao Limiar Anaeróbio Individual

VO<sub>2</sub>MAX ó Consumo Máximo de Oxigênio

vVO<sub>2</sub>MAX ó Velocidade Associada ao Consumo Máximo de Oxigênio

VO<sub>2</sub>PCR ó Consumo de Oxigênio Referente ao Ponto de Compensação Respiratória

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>23</b>
1.1	INTRODUÇÃO .....	23
1.2	OBJETIVOS .....	28
1.2.1	<i>Objetivo geral</i> .....	28
1.2.1.1	Objetivos específicos (estudo 1) .....	28
1.2.1.2	Objetivos específicos (estudo 2) .....	28
1.2.1.3	Objetivos específicos (estudo 3) .....	28
1.3	HIPÓTESES .....	29
1.3.1	<i>Hipótese geral</i> .....	29
1.3.2	<i>Primeiro estudo</i> .....	29
1.3.3	<i>Segundo estudo</i> .....	29
1.3.4	<i>Terceiro estudo</i> .....	30
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>31</b>
2.1	REVISÃO DE LITERATURA .....	31
2.1.1	<i>Fotobiomodulação ó um pouco da história</i> .....	31
2.1.2	<i>Fotobiomodulação ó princípios e parâmetros de irradiação</i> .	33
2.1.3	<i>Fotobiomodulação ó efeitos ergogênicos</i> .....	36
2.1.3.1	Exercícios de curta duração .....	40
2.1.3.2	Exercícios de longa duração .....	49
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>53</b>
3.1	RESULTADOS .....	53
3.1.1	<i>Artigo 1 ó PBMT e respostas fisiológicas e de desempenho</i> ... 55	
3.1.2	<i>Artigo 2 ó PBMT e economia neuromuscular</i> .....	75
3.1.3	<i>Artigo 3 ó PBMT e desempenho na prova de 1500 m</i> .....	93
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>117</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	117
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>119</b>



# 1 CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO

Processos relacionados à fotobiomodulação são associados ao uso da luz para induzir alterações bioquímicas (estimulo ou inibição) nas células por intermédio de fotorreceptores capazes de absorver as partículas de luz (BORSA et al., 2013; HUANG et al., 2011). Dispositivos fototerapêuticos como a laserterapia de baixa potência (LBP) empregam luz visível (geralmente de cor vermelha) e não visível (infravermelho) por meio de diodos emissores de luz (LEDs) ou lasers (HUANG et al., 2011). Neste contexto, a terapia com fotobiomodulação tradicionalmente tem sido utilizada como alternativa terapêutica de diversas condições patológicas (BORSA et al., 2013). Deste modo, o uso desta terapia tem demonstrado resultados benéficos no tratamento de distúrbios musculoesqueléticos agudos e crônicos, incluindo controle da dor (ENWEMWKA et al., 2004; FERREIRA et al., 2005), aumento da circulação sanguínea (IHSAN, 2005), efeito anti-inflamatório e reparo tecidual (ENWEMWKA et al., 2004).

Apesar dos resultados promissores relacionados à capacidade do tratamento ou terapia com fotobiomodulação em modular processos bioquímicos e fisiológicos na célula, os mecanismos que explicam os resultados benéficos deste tratamento (ENWEMWKA et al., 2004; FERREIRA et al., 2005; IHSAN, 2005) ainda não estão totalmente esclarecidos. Contudo, o mecanismo da fotobiomodulação no que diz respeito à célula pode ser atribuído à absorção de radiação monocromática visível ou infravermelho por componentes da cadeia celular respiratória (KARU et al., 1989). A absorção das partículas de luz (fótons) ocorre por intermédio de cromóforos endógenos, e como consequência ocorre transformação de energia luminosa em energia química dentro da membrana plasmática ou organela citoplasmática (REDDY, 2004). Assim, a luz absorvida no tecido interage com a mitocôndria celular, promovendo mudanças estruturais (aumento do tamanho da mitocôndria) e metabólicas (aumento da atividade de enzimas oxidativas), aumentando dessa forma a síntese de adenosina trifosfato (ATP) para os processos metabólicos (MANTEIFEL; KARU, 2005).

Levando em consideração os possíveis mecanismos da fotobiomodulação, recentemente vem sendo adotada uma nova perspectiva para os estudos desta área, especialmente no que tange a

capacidade de postergar a ocorrência da fadiga (BORSA et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2015). Vale ressaltar que a fadiga é um fenômeno de grande complexidade que envolve fatores periféricos e centrais, e pode ser caracterizado como a redução da capacidade de gerar força (AMENT; VERKERKE, 2009). Desta forma, estudos envolvendo humanos buscaram analisar os efeitos da terapia com fotobiomodulação (*Photobiomodulation therapy* ó PBMT) aplicada antes do exercício físico, em diversos parâmetros de desempenho e dano muscular (LEAL JUNIOR et al., 2015), incluindo variáveis de torque e potência muscular (ANTONIALLI et al., 2014; BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b), número de repetições em exercícios resistidos até exaustão (HIGASHI et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2008), tempo de exaustão em exercícios de alta intensidade (FERRARESI et al., 2015a; LEAL JUNIOR et al., 2009a), concentrações de lactato sanguíneo (HIGASHI et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2009b; LEAL JUNIOR et al., 2010), atividade muscular elétrica (DELLAGRANA et al., 2017b; HIGASHI et al., 2013; MIRANDA et al., 2014; TOMA et al., 2013) e concentrações de creatina cinase (CK) (BARONI et al., 2010b; DE MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2015a; LEAL JUNIOR et al., 2011a). Em geral, estes resultados promissores foram observados em atividades musculares de curta duração e alta intensidade (BORSA et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2015).

Em atividades com predominância do metabolismo oxidativo a PBMT parece exercer influência positiva, uma vez que a PBMT apresenta efeito anti-inflamatório, reduz o estresse oxidativo (DE MARCHI et al., 2012), melhora o transporte sanguíneo e entrega de oxigênio para as células (MAK; CHEING, 2012), junto com o aumento da atividade dos complexos (especialmente o complexo IV) da cadeia transportadora de elétrons (CTE) da mitocôndria (KARU, 2010; SILVEIRA et al., 2009), e consequente melhora na cinética do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) (FERRARESI et al., 2015a) e síntese de ATP (ORON et al., 2007). Embora a PBMT apresente alguns efeitos similares ao treinamento aeróbio, pouco se sabe sobre os efeitos da aplicação prévia da PBMT em atividades de média e longa duração. Na modalidade corrida, por exemplo, o estudo de caso conduzido por Ferraresi et al. (2015a), que avaliou um corredor de elite, demonstrou que a PBMT aplicada durante o exercício foi capaz de reduzir o déficit de oxigênio e aumentar o tempo em exercício. De Marchi et al. (2012) realizaram a aplicação prévia de PBMT e encontraram reduções do estresse oxidativo, aumento do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), retardo no processo de fadiga e aumento no desempenho

durante teste de corrida incremental em esteira. Da maneira similar, Miranda et al. (2016) observaram aumento do tempo total de exaustão durante teste incremental em esteira, porém sem aumento significativo no  $VO_{2MAX}$ .

De acordo com Ferraresi et al. (2012), além da melhora da função mitocondrial, outros mecanismos podem estar envolvidos na ação da fotobiomodulação em reduzir a fadiga e melhorar o desempenho, incluindo a modulação positiva dos canais de cálcio, a melhora na formação de pontes cruzadas para produzir força contrátil, e aumento da atividade da bomba de sódio e potássio para reduzir o excesso de potássio extracelular garantido a despolarização da fibra muscular em exercícios contínuos. Portanto, os efeitos da PBMT na atividade elétrica muscular em exercícios contínuos de intensidades moderada e alta podem ser relevantes. Seguindo este contexto, Miranda et al. (2014) avaliaram os músculos do quadríceps em teste de força isométrica de mulheres com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Segundo os autores, os resultados demonstram que com a PBMT os valores de mediana da frequência (MDF) apresentaram menor declínio durante um teste de resistência a 80% da contração isométrica voluntária máxima (CIVM). Em contraposição, estudos com homens (ROSSATO et al., 2016), mulheres jovens (HIGASHI et al., 2013) e idosas (TOMA et al., 2013) não observaram diferenças significativas entre PBMT e a condição placebo para a variável MDF durante protocolos de fadiga em um dinamômetro isocinético.

A PBMT pode ser considerada um método inovador e não invasivo para atenuar a fadiga e aumentar o desempenho muscular. Entretanto, ainda não existe consenso com relação aos parâmetros de irradiação ideais na sua utilização. Segundo Huang et al. (2011), dentre os parâmetros de irradiação da PBMT, a penetração efetiva da luz no tecido e o comprimento de onda ( ) da luz absorvida são os mais importantes. Vários estudos têm demonstrado resultados positivos utilizando a PBMT com comprimentos de onda variando entre 630 e 950 nm (ALBUQUERQUE-PONTES et al., 2015; ANTONIALLI et al., 2014; BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b; BORGES et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2008; LEAL JUNIOR et al., 2009a). De Almeida et al., (2012) realizaram um estudo envolvendo humanos e compararam a PBMT utilizando comprimentos de onda de 660 (vermelho) e 830 nm (infravermelho). De acordo como os autores, ambos os tratamentos foram efetivos em retardar a ocorrência da fadiga e aumentar o desempenho muscular em exercício com contração isométrica de flexores do cotovelo.

Por outro lado, diferentes doses de energia aplicadas no músculo podem resultar em diferentes respostas, uma vez que o efeito da fotobiomodulação apresenta um padrão de dose-resposta bifásica ou curva de Arndt-Schulz (HUANG et al., 2011). Em outras palavras, este padrão indica que doses situadas dentro de uma janela terapêutica estimulam efeitos biológicos no tecido, em contrapartida, doses abaixo ou acima desta janela terapêutica podem apresentar efeitos nulo ou inibitório, respectivamente (HUANG et al., 2011). Confirmando esta hipótese, Antonialli et al. (2014) compararam o efeito da aplicação prévia de PBMT com diferentes doses de energia no desempenho muscular de homens destreinados em um protocolo de fadiga de contrações excêntricas do quadríceps. Os autores demonstraram que a dose de 30 J por ponto (6 pontos = 180 J) apresentou melhores resultados em comparação as doses de 10 (6 pontos = 60 J) e 50 J (6 pontos = 300 J) por ponto. De maneira similar, Larkin-Kaiser et al. (2016) observaram que uma dose de 240 J foi mais eficaz em postergar o início da fadiga no movimento de abdução do dedo indicador quando comparado a condição placebo, enquanto que a PBMT com o dobro da dose (480 J) não apresentou resultado significativo (versus placebo). Já Lanferdini et al. (2017a) avaliaram ciclistas treinados durante teste até a exaustão em cicloergômetro, comparando o efeito da PBMT com três diferentes doses de energia, 15 J (9 pontos = 135 J), 30 J (9 pontos = 270 J) e 45 J (9 pontos = 405 J). Os autores demonstraram que todas as doses foram efetivas em aumentar o tempo de exaustão, no entanto, a PBMT com 15 J por ponto apresentou os melhores resultados.

Diversos estudos foram realizados com o objetivo de testar os efeitos da aplicação prévia de PBMT com diferentes parâmetros de irradiação em atividades de curta duração e alta intensidade, incluindo testes em cicloergômetro (FERRARESI et al., 2015a; LANFERDINI et al., 2017a; LEAL JUNIOR et al., 2009a), exercícios com contrações dinâmicas (HIGASHI et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2008), isométricas (MIRANDA et al., 2014; ROSSATO et al., 2016) e isocinéticas (ANTONIALLI et al., 2014; BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b). No entanto, ainda faltam evidências no que tange os parâmetros ótimos de irradiação em atividades que envolvem grandes grupos musculares com intensidade moderada e/ou alta, especialmente no que se refere à dose de energia, que inclui as variáveis de densidade de potência (irradiância), densidade de energia (fluência) e tempo de irradiação.

Vale ressaltar que várias estratégias são observadas na literatura para o aumento do desempenho muscular, incluindo algumas drogas que

são proibidas por serem consideradas *doping* (FERRARESI et al., 2015b; HOFFMAN et al., 2009). Neste sentido, a PBMT não apresenta riscos à saúde, e também não viola o código de espírito esportivo descrito pela WADA (*World Anti-Doping Agency*). Embora muitas lacunas necessitam ser preenchidas com relação aos efeitos ergogênicos da PBMT, a aplicação deste recurso previamente ao exercício físico pode ser uma alternativa interessante para a melhora no desempenho muscular. E ainda, além de um melhor entendimento com relação aos parâmetros ótimos de irradiação, mais pesquisas de campo que envolvam aplicações da PBMT podem ser fundamentais para aumentar a validade externa e compreender os efeitos positivos deste método em atividades esportivas.

O desempenho em corridas de média e longa duração é caracterizado como o menor tempo de execução de determinada distância, ou pelo menos a finalização da prova antes do adversário (BARNES; KILDING, 2015). Tomando como exemplo, no último Campeonato Mundial de Atletismo da IAAF (International Association of Athletics Federation), foi possível observar que a diferença entre o primeiro e o terceiro colocado para a corrida de 1500 m foi de 0,27 s (0,13%). Ademais, de acordo com revisão sistemática e meta-análise desenvolvida por Leal Junior et al. (2015) a PBMT aplicada previamente ao exercício físico apresentou resultados favoráveis quando comparado ao placebo, aumentando o tempo de exaustão em atividades máximas em 4,12 s (IC95% = 1,2167,02). Portanto, considerando a pequena variação no desempenho dos primeiros colocados em provas oficiais de 1500 m, e os resultados positivos encontrados na literatura com o PBMT, a utilização de recursos ergogênicos lícitos para aprimorar o desempenho neste tipo de atividade pode ser fundamental para corredores de nível regional, nacional e/ou internacional.

Além do mais, o desempenho efetivo em corridas de média e longa duração depende de alguns atributos fisiológicos, incluindo: a) elevado débito cardíaco e entrega de oxigênio para os músculos ativos, ou seja, altos valores de  $VO_{2MAX}$  (BASSETT; HOWLEY, 2000; FOSTER; LUCIA, 2007); b) habilidade de suportar por período prolongado altos percentuais do  $VO_{2MAX}$  (BARNES; KILDING, 2015); c) baixo acúmulo de lactato em altas intensidades de exercício (BERG, 2003); e d) habilidade de se mover eficientemente, ou seja, maior economia de corrida (BARNES; KILDING, 2015). Embora os mecanismos envolvidos na aplicação da PBMT sejam relacionados ao aumento do transporte de oxigênio (MAK; CHEING, 2012), atividade mitocondrial (KARU, 2010) e síntese de ATP (ORON et al., 2007),

nenhum estudo foi realizado buscando analisar os efeitos da PBMT aplicada previamente a atividades esportivas com predominância aeróbia, como por exemplo, provas de corridas de 1500 m (contribuição do sistema aeróbio de 77%) (BILLAT et al., 2001).

Diante do exposto, os seguintes problemas de pesquisa foram elaborados: 1) Qual é a dose de energia ótima na aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação em corridas submáximas e máximas com incremento da intensidade? 2) Após conhecer os parâmetros de irradiação ótimos, a aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação é capaz de aumentar o desempenho em prova de corrida de meia duração?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de uma aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação em parâmetros fisiológicos, eletromiográficos e de desempenho de corridas em testes submáximos, máximos e simulados em campo.

#### 1.2.1.1 Objetivos específicos (estudo 1)

Verificar o efeito da terapia com fotobiomodulação de três diferentes dosagens de energia (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação) em variáveis fisiológicas e de desempenho durante teste incremental de corrida em esteira.

#### 1.2.1.2 Objetivos específicos (estudo 2)

Verificar o efeito da terapia com fotobiomodulação de três diferentes dosagens de energia (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação) na economia neuromuscular.

#### 1.2.1.3 Objetivos específicos (estudo 3)

Analisar o efeito da melhor dosagem de energia da terapia com fotobiomodulação em variáveis fisiológicas e de desempenho durante prova simulada de corrida de 1500 m.

### 1.3 HIPÓTESES

As hipóteses foram desenvolvidas para os três estudos, de acordo com os objetivos estipulados.

#### 1.3.1 Hipótese geral

A aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação contendo dosagem de energia de 30 J (considerando a curva de Arndt- Schultz) por ponto de aplicação apresentará os melhores resultados para as variáveis fisiológicas, eletromiográficas e de desempenho nas corridas em esteira e em campo (prova de 1500 m).

#### 1.3.2 Primeiro estudo

H1: A terapia com fotobiomodulação com doses de energia de 15, 30 e 60 J (por ponto de aplicação) terão efeito positivo nas variáveis fisiológicas e de desempenho durante teste incremental de corrida em esteira.

H2: Apenas a terapia com fotobiomodulação com dose de energia de 15 J (por ponto de aplicação) terá efeito positivo nas variáveis fisiológicas e de desempenho durante teste incremental de corrida em esteira.

H3: Apenas a terapia com fotobiomodulação com dose de energia de 30 J (por ponto de aplicação) terá efeito positivo nas variáveis fisiológicas e de desempenho durante teste incremental de corrida em esteira.

H4: Apenas a terapia com fotobiomodulação com dose de energia de 60 J (por ponto de aplicação) terá efeito positivo nas variáveis fisiológicas e de desempenho durante teste incremental de corrida em esteira.

#### 1.3.3 Segundo estudo

H1: A terapia com fotobiomodulação com doses de energia de 15, 30 e 60 J (por ponto de aplicação) terão efeito positivo na economia neuromuscular (eletromiografia) durante teste submáximo de corrida de corrida em esteira.

H2: Apenas a terapia com fotobiomodulação com dose de energia de 15 J (por ponto de aplicação) terá efeito positivo na economia

neuromuscular (eletromiografia) durante teste submáximo de corrida de corrida em esteira.

H3: Apenas a terapia com fotobiomodulação com dose de energia de 30 J (por ponto de aplicação) terá efeito positivo na economia neuromuscular (eletromiografia) durante teste submáximo de corrida de corrida em esteira.

H4: Apenas a terapia com fotobiomodulação com dose de energia de 60 J (por ponto de aplicação) terá efeito positivo na economia neuromuscular (eletromiografia) durante teste submáximo de corrida de corrida em esteira.

### **1.3.4 Terceiro estudo**

H1: A terapia com fotobiomodulação com a dose ideal (dependente dos resultados dos dois primeiros estudos) terá efeito positivo no desempenho durante prova simulada de corrida de 1500 m.

## 2 CAPÍTULO II

### 2.1 REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1.1 Fotobiomodulação ó um pouco da história

Por volta de 1917, Albert Einstein utilizou conceitos da teoria quântica de Mark Plank da terceira integração da matéria, no qual é conhecida como emissão estimulada de radiação, e desenvolveu a teoria de energia luminosa amplificada (EINSTEIN, 1917). A partir disto, o estímulo celular fornecido por meio da irradiação LASER ganhou dimensão com o estudo publicado em 1923, pelo biologista russo Alexander Gurwitsch, que demonstrou que as células vivas emitem radiação eletromagnética atômica (comprimento de ondas similares à radiação ultravioleta), que por sua vez pode induzir a um processo biológico semelhante à mitose (CORAZZA, 2005). Após esta descoberta, muitos pesquisadores desenvolveram estudos sobre a possibilidade da irradiação luminosa artificial induzir tais processos biológicos (CORAZZA, 2005; SIMUNOVIC et al., 2000).

No início da década de 50 foram desenvolvidos os MASERS (acrônimo para *Microwave Amplifiers by the Stimulated Emission of Radiation* ou amplificação de micro-ondas por emissão estimulada de radiação). Vale ressaltar que a radiação de micro-ondas são ondas eletromagnéticas com propriedades ópticas que podem ser refratadas, difratadas e refletidas (CORAZZA, 2005). Assim, a extensão deste princípio aplicado na radiação de micro-ondas foi sugerida na amplificação e geração na região da radiação visível (SNYDER-MACKLER; SEITZ, 1990 apud CORAZZA, 2005). No entanto, somente no ano de 1960 que Theodore Maiman criou o primeiro laser de rubi com comprimento de onda de 694,3 nm, no qual foi capaz de justificar o acrônimo LASER (*light amplification by stimulated emission radiation*, ou amplificação da luz por emissão estimulada de radiação) (CORAZZA, 2005; SCHAWLOW, 1995). Sendo que, a partir disto, várias fontes de luz foram desenvolvidas, como por exemplo, apontadores de laser, leitura de códigos de preço e dispositivos militares para sistemas de definição de alvos (CHAVANTES; JATENE, 1990).

Ainda na década de 60, foram desenvolvidos os lasers de Hélio-neônio (He-Ne) e Neodímio-Ítrio-Alumínio-Granada (Nd-YAG) (CORAZZA, 2005). Atualmente é possível encontrar lasers com variedade de substâncias empregadas como fonte primária de energia elétrica ou óptica estimulando o meio ativo do dispositivo de laser. Estas

substâncias podem ser um gás (gás carbônico, argon e excimer), líquido (dye), sólido (rubí, alexandrite e KTP) ou um semicondutor (díodo) (CHAVANTES; JATENE, 1990). Além disso, os lasers podem ser classificados como de alta (acima de 1 W) e baixa (abaixo de 1 W) potência. Sendo que, o laser de alta potência geralmente é utilizado em cirurgias atuando em cortes e carbonização de proteínas por meio de um efeito fototérmico (AMIR et al., 2000; CHAVANTES; JATENE, 1990). Já para a LBP, as substâncias comumente utilizadas para produzir a radiação incluem He-Ne, Arseneto de gálio e alumínio (AsGaAl) e Arseneto de gálio (AsGa) (BECKERMAN et al., 1992), e são comumente utilizados na reparação tecidual, alívio de dor, e também na obtenção de efeitos anti-inflamatórios (DE MARCHI, 2011).

Considerando os avanços no desenvolvimento de dispositivos de laser, a LBP teve representatividade clínica no final da década de 60 e início da década de 70 com o estudo desenvolvido pelo professor Endre Mester. Este estudo foi o pioneiro em demonstrar o conceito de efeito ôbioestimulatório (MESTER, 1966). Em um de seus experimentos, Mester implantou células tumorais sob a pele de ratos e expôs o tecido à irradiação de um laser de rubí (baseado no modelo de Maiman). Como resultados as células tumorais não foram eliminadas, entretanto, foi observado em muitos casos que as incisões feitas na pele (para implantar as células tumorais) tiveram regeneração mais rápida para os ratos que sofreram a aplicação da irradiação laser. Em estudos subsequentes, Mester confirmou o efeito da irradiação laser na cicatrização de feridas e regeneração tecidual (apud GASPARG, 2009).

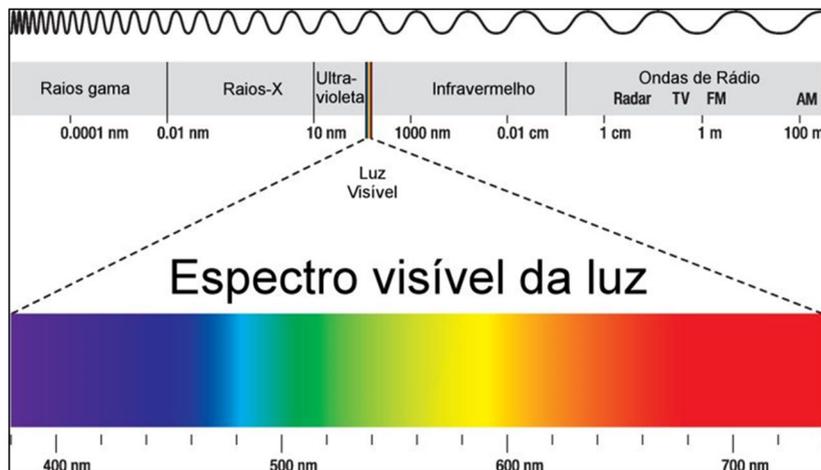
Ao longo dos anos, muitos estudos foram desenvolvidos sugerindo o uso da irradiação laser na indução de cicatrização de feridas cutâneas (CORAZZA, 2005; MINATEL et al., 2009), regeneração de diversos tipos de tecido, como por exemplo, tendinoso e muscular (ENWEMEKA; REDDY, 2000; CRESSONI et al., 2008), e também, ação anti-inflamatória (LOPES-MARTINS et al., 2005). Reddy (2003) comparou dois tipos de dispositivo laser (He-Ne versus As-Ga) na cicatrização de feridas diabéticas. O autor observou que as diferenças entre os lasers eram dependentes da resposta fotoquímica das células em cada comprimento de onda. Desta forma, uma padronização dos parâmetros de tratamento tornou-se necessária para diferentes patologias que podem ser tratadas com a irradiação laser. Baseado em pesquisas científicas, a Associação Mundial de Laserterapia (WALT - *World Association of Laser Therapy*) elaborou tabelas normativas com os parâmetros recomendados para o tratamento de condições inflamatórias (WALT, 2010), porém, diversas condições, sejam profiláticas ou

ergogênicas, ainda necessitam da determinação de parâmetros de irradiação ideais.

### 2.1.2 Fotobiomodulação ó princípios e parâmetros de irradiação

Primeiramente, vale ressaltar que no campo da fototerapia o termo laserterapia de baixa potência foi comumente usado para dispositivos que buscam efeitos ôbioestimulatórios. No entanto, considerando que a palavra ôLASERô não é adequada para caracterizar os dispositivos e mantas com LEDs, o termo terapia com fotobiomodulação foi proposto e aceito por especialistas da área (ANDERS et al., 2015). A PBMT engloba parte do espectro de emissão eletromagnética (Figura 1). O espectro eletromagnético é o conjunto de ondas eletromagnéticas, derivado de diferentes comprimentos de onda (distância entre dois picos ou vales do feixe luminoso), e consequentemente, frequências. Assim, este espectro se estende desde ondas de baixa frequência (ondas de rádio), até as de maior frequência (radiação gama). No que se refere a pesquisas com seres humanos, os dispositivos de lasers e/ou LEDs são aplicados com comprimentos de onda variando entre 600 e 1100 nm, ou seja, com configurações que variam do espectro visível (vermelho) ao não-visível (infravermelho) da luz (BECKERMAN et al., 1992; HUANG et al., 2011).

Figura 1 ô Espectro eletromagnético. Fonte: www.infoescola.com.



A radiação laser ao contrário da luz comum apresenta elevado grau de monocromaticidade, coerência e colimação (SCHAWLOW,

1995). Estas propriedades permitem que as ondas emitidas pela radiação laser sejam sincronizadas em relação ao tempo e ao espaço, viajando ordenadamente e em amplitudes iguais (LOW; REED, 2001). A propriedade monocromática da radiação laser descreve a distribuição espectral relacionada com a intensidade da mesma (PASCU, 2001). Portanto, este fenômeno é capaz de promover fótons com cores iguais e todos com o mesmo comprimento de onda (CORAZZA, 2005). Diferentemente, outras fontes de luz apresentam grande variedade de comprimentos de onda, resultando na visualização da cor branca (BAXTER, 1994). A coerência da radiação laser pode ser descrita pela capacidade de determinar a interferência das ondas eletromagnéticas quando interagem com outra emissão laser de mesmo comprimento de onda. Assim, a emissão de luz gera fótons coerentes que são capazes de somar sua energia e viajar na mesma direção no espaço (coerência espacial). E também, os vales e cristas das ondas de luz emitida se encaixam perfeitamente no tempo (coerência temporal). Por fim, a colimação descreve a propriedade unidirecional da emissão da luz laser. Em outras palavras, o feixe de luz ou fótons são todos paralelos, com baixa discrepância angular, assim denominando-se um feixe de luz colimado (CORAZZA, 2005).

A aplicação da PBMT apresenta parâmetros importantes a serem controlados, como potência, energia, densidade de potência, densidade de energia, área de irradiação e comprimento de onda (ENWEMEKA, 2009). A potência pode ser descrita como a quantidade de energia aportada por unidade de tempo (W ou J/s), entretanto, não depende da duração do tratamento para uma área. Realizando uma analogia, podemos considerar que cada fóton é um pacote de energia, e cada pacote é capaz de estimular uma ou mais células. Assim, por exemplo, um dispositivo terapêutico de laser com potência de 1440 mW pode fornecer o mesmo número de pacotes de energia em tempo mais curto comparado a um dispositivo com potência de 690 mW (LAAKSO et al., 1993). Em geral, os dispositivos terapêuticos apresentam potência fixa. A equação 1 representa o cálculo da potência (ENWEMEKA, 2009):

$$\text{Potência [W]} = \frac{\text{Energia [J]}}{\text{Tempo (s)}} \quad (1)$$

A energia (ou dose) irradiada é considerada um dos principais parâmetros de controle relacionado a efetividade da PBMT (HUANG et

al., 2011). A energia irradiada corresponde à quantidade de energia empregada durante o tratamento (J), e é calculada pela equação 2:

$$\text{Energia [J]} = \text{Potência [W]} \times \text{Tempo (s)} \quad (2)$$

Densidade de potência (ou irradiância) está relacionada à potência de saída do equipamento pela área de irradiação ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ). Em outras palavras, é a potência (W) por unidade de área do dispositivo LASER ou LED ( $\text{cm}^2$ ). De acordo com Enwemeka (2009) a densidade de potência pode ser calculada pela equação 3:

$$\text{Densidade de Potência [W}/\text{cm}^2] = \frac{\text{Potência [W]}}{\text{Área (cm}^2)} \quad (3)$$

Já a densidade de energia (ou fluência) é definida como a quantidade total de energia entregue ao tecido pela área de irradiação do equipamento ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ). Portanto, equivale a energia transmitida por unidade de área do dispositivo laser, sendo calculada pela equação 4 (ENWEMEKA, 2009; HUANG et al., 2011).

$$\text{Densidade de Energia [J}/\text{cm}^2] = \frac{\text{Potência [W]} \times \text{Tempo (s)}}{\text{Área (cm}^2)} \quad (4)$$

A área de irradiação é descrita como a área de seção transversa do spot (aplicador de fibra óptica), podendo ser chamado de área de irradiação efetiva (ENWEMEKA, 2009). Por fim, como se sabe, as partículas de luz (fótons) se propagam no espaço com forma de onda. Portanto, o comprimento de onda equivale à distância entre dois picos ou vales do feixe luminoso. Além do mais, o comprimento de onda e a frequência da vibração da partícula luminosa são inversamente proporcionais (ENWEMEKA, 2009). Vale ressaltar que o comprimento de onda é um parâmetro da irradiação laser de fundamental importância, uma vez que os tipos de tecido que serão irradiados e a profundidade de penetração depende deste parâmetro (ENWEMEKA, 2009; HUANG et al., 2011).

### 2.1.3 Fotobiomodulação ó efeitos ergogênicos

Recentemente diversas pesquisas têm demonstrado os efeitos ergogênicos da PBMT em modular processos bioquímicos e fisiológicos associados à melhora do desempenho muscular e recuperação após o exercício físico (DE ALMEIDA et al., 2012; DE MARCHI et al., 2012; LANFERDINI et al., 2017a; LEAL JUNIOR et al., 2008; LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR, 2015; MACIEL et al., 2014; MIRANDA et al., 2016). O primeiro ensaio clínico randomizado que objetivou analisar os efeitos ergogênicos da PBMT foi publicado em 2008 (LEAL JUNIOR et al., 2008), a partir deste ano muitos estudos foram realizados utilizando tratamento LASERs e/ou LEDs empregando luz visível (cor vermelha) e/ou não visível (infravermelho) (BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b; DE ALMEIDA et al., 2012; DE MARCHI et al., 2012; LANFERDINI et al., 2017a; LANFERDINI et al., 2017b; LEAL JUNIOR et al., 2008; LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009b; LEAL JUNIOR et al., 2009c; LEAL JUNIOR et al., 2009d; LEAL JUNIOR et al., 2010; MIRANDA et al., 2016).

Em primeiro lugar, quando os músculos ativos de determinado tipo de exercício físico são utilizados intensamente, é possível observar um declínio progressivo no desempenho desta musculatura, ou seja, redução da função contrátil. Este fenômeno é complexo e pode ser entendido como fadiga muscular (ALLEN et al., 2008). Em síntese, a contração muscular inicia no sistema nervoso central quando o motoneurônio alfa é ativado, lembrando que cada motoneurônio ativa um determinado número de fibras, e juntos eles representam a menor unidade do sistema motor, a unidade motora (WESTERBLAD et al., 2010). Neste sentido, a fadiga pode ocorrer devido a um prejuízo na ativação do motoneurônio alfa, e assim chamada de fadiga central (GANDEVIA, 2001). Já a chamada fadiga periférica está relacionada aos fatores internos do músculo que podem causar prejuízos na função contrátil durante exercícios extenuantes (WESTERBLAD et al., 2010). Estes fatores envolvem desde o potencial de ação que chega à junção neuromuscular, mudanças de configuração miofibrilar que permitem a actina se ligar à miosina (formação das pontes cruzadas) para iniciar a contração muscular até o relaxamento da musculatura (DULHUNTY, 2006; WESTERBLAD et al., 2010).

De acordo com evidências científicas, após exercícios físicos extenuantes diversas alterações fisiológicas podem ser observadas, incluindo a redução das quantidades de fosfocreatina, glicogênio

muscular e sensibilidade de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) por parte das miobríbrilas, e também, pode ser observado aumento das quantidades de fosfato inorgânico (Pi), adenosina difosfato (ADP),  $\text{Ca}^{2+}$ , magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ),  $\text{H}^+$ , lactato, e por fim, maior produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) e espécies reativas de nitrogênio (ERN) (ALLEN et al., 2008; WESTERBLAD et al., 2010). No entanto, vale ressaltar que as adaptações e alterações fisiológicas podem ocorrer diferentemente dependendo do tipo de exercício. Em geral, exercícios de alta intensidade dependem em grande parte da energia advinda do metabolismo anaeróbio, e adaptações como os aumentos na força e ativação muscular são comuns após treinamento nestes tipos de atividades (AAGAARD, 2004; FRY, 2004). Em contrapartida, a energia recrutada para exercícios de longa duração e intensidade moderada é predominantemente entregue pelo sistema aeróbio, com adaptações de treino relacionadas ao aumento na quantidade de mitocôndrias e enzimas oxidativas (COFFEY; HAWLEY, 2007; TONKONGONI; SAHLIN, 2002).

Os efeitos biológicos relacionados a PBMT são mediados por cromóforos endógenos que são capazes de absorver os fótons e transformar energia luminosa em energia química (REDDY, 2004). Portanto, a PBMT apresenta efeitos biológicos tanto na membrana celular quanto na mitocôndria. No que se refere às modulações na membrana celular, os cromóforos ligados à membrana agem como fotossensibilizadores que induzem mudanças na permeabilidade e mecanismos de transporte da membrana celular, resultando em alterações intracelulares no pH, concentração de íons e excitabilidade da membrana (KEBLANOV et al., 2001). Na mitocôndria, os fótons penetram na membrana celular e são absorvidos por citocromos dentro da mitocôndria, especialmente o citocromo C oxidase da CTE (KARU et al., 1999). Este processo vai acarretar respostas fisiológicas para a produção de ERO, aumento da taxa de ATP e síntese proteica (KARU, 1999; SILVEIRA et al., 2009).

Além do mais, a PBMT parece ser capaz de prevenir efeitos relacionados a disfunção mitocondrial e de dano muscular mediado pelos ERO e ERN (BORSA et al., 2013; LEAL JUNIOR et al., 2015). Em geral, na célula muscular os efeitos da PBMT estão especialmente ligados à mitocôndria, uma vez que a mitocôndria apresenta grande sensibilidade à radiação laser (MANTEIFEL; KARU, 2005). Com a aplicação da PBMT podem ocorrer alterações fotoquímicas e fotofísicas nas mitocôndrias celulares, como o aumento do potencial de membrana mitocondrial e maior atividade enzimática da CTE (HAYWORTH et al.,

2010; HUANG et al., 2011). Com relação às mudanças estruturais, a radiação laser pode formar o que é chamado por alguns pesquisadores de ômitocôndria gigante, por meio de fusão com mitocôndrias vizinhas e menores (MANTEIFEL; KARU, 2005).

Levando em consideração os possíveis mecanismos abordados anteriormente, a aplicação prévia de PBMT pode ser vantajosa em atividades de curta e longa duração. Em eventos de curta duração e alta intensidade o sistema anaeróbico de energia é predominante (ALLEN et al., 2008; GASTIN, 2001), assim de acordo com Ferraresi et al. (2012) três mecanismos parecem estar envolvidos nos efeitos ergogênicos para este tipo de atividade:

- 1) **Ressíntese ATP mitocondrial:** A PBMT pode aumentar a atividade mitocondrial, fornecendo maiores níveis de respiração celular e ressíntese de ATP (HUANG et al., 2011; SILVEIRA et al., 2009).
- 2) **Ressíntese de fosfocreatina:** Atividades de alta intensidade são dependentes da quantidade de ATP hidrolisado pela fosfocreatina, este mecanismo produz um excesso de creatina, ADP e Pi no sarcoplasma das fibras musculares (ALLEN et al., 2008; WESTERBLAD et al., 2010), fato este que estimula a síntese de ATP mitocondrial, acarretando na integração entre sistema aeróbico e anaeróbico por meio do sistema de oñançadeiraã de fosfocreatina pela mitocôndria (TONKONOIGI; SAHLIN, 2002). Assim, o aumento da atividade mitocondrial fornecido pela PBMT poderia acarretar na ressíntese de fosfocreatina que ocorre durante os intervalos do exercício, bem como durante o exercício de alta intensidade e de curta duração (FERRARESI et al., 2012).
- 3) **Aumento na oxidação do lactato pela mitocôndria:** Considerando a teoria de Brooks et al. (1999) a PBMT também poderia auxiliar na oxidação de lactato devido a maior atividade mitocondrial, uma vez que o piruvato é reduzido em lactato no final da via glicolítica, e o lactato transportado para a mitocôndria por meio de transportadores monocarboxílicos, em seguida o lactato será oxidado a piruvato por meio da ação do dinucleótido de nicotinamida e adenina (NAD) e a enzima lactato desidrogenase mitocondrial. Por fim, o piruvato é oxidado em acetil coenzima A no ciclo de Krebs para dar continuidade na produção de ATP pela CTE (FERRARESI et al., 2012).

Já para as atividades de média e longa duração o metabolismo aeróbio de energia é predominante (GASTIN, 2001). Portanto, sabe-se que as mitocôndrias são organelas celulares que podem oxidar energia de substratos para a síntese de ATP durante contrações musculares, e que a capacidade oxidativa das fibras musculares é proporcional a sua densidade mitocondrial (TONKONOJI; SAHLIN, 2002; WESTERBLAD et al., 2010). Além do mais, exercícios de média e longa duração são eficientes em aumentar a biogênese mitocondrial favorecendo o metabolismo aeróbio e reduzindo a fadiga muscular (COFFEY; HAWLEY, 2007). Desta forma, a aplicação prévia da PBMT pode incrementar os efeitos do exercício aeróbio, uma vez que uma mitocôndria gigante (mudança estrutural) e mais funcional (maior atividade enzimática) pode fornecer maior respiração celular e ressíntese de ATP durante este tipo de atividade (HUANG et al., 2011; SILVEIRA et al., 2009).

Além do metabolismo enérgico, a contração muscular depende da excitação elétrica das fibras musculares, este processo inicia quando é gerado um potencial de ação que se propaga por meio do sarcolema e túbulos T. Em outras palavras, essa contração envolve a liberação de  $\text{Ca}^{2+}$  que está ligado aos canais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) (ALLEN et al., 2008). Assim, repetidas contrações musculares estão relacionadas à fadiga devido ao desequilíbrio de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  intra e extracelular no músculo, o qual prejudica a despolarização da fibra muscular pelo acúmulo de  $\text{K}^+$  fora da célula (ALLEN et al., 2008). Este desequilíbrio é evitado pela bomba de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , que leva  $\text{K}^+$  para dentro e  $\text{Na}^+$  para fora da célula. Considerando que a bomba de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  é ATP dependente, a PBMT poderia modular indiretamente a bomba de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  com o aumento da síntese de ATP por meio das mitocôndrias que cercam os túbulos T (FERRARESI et al., 2012; NIELSEN; PAOLI, 2007).

Embora os mecanismos que explicam os efeitos ergogênicos benéficos da fotobiomodulação não estejam totalmente esclarecidos, a PBMT aplicada como pré-condicionamento para exercícios de curta e longa duração têm sido amplamente estudada nos últimos anos (BARONI et al., 2010a; DE MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2015a; LEAL JUNIOR et al., 2015). A PBMT tem demonstrado efetividade para o aumento do desempenho muscular sendo aplicado com diferentes equipamentos e parâmetros de aplicação (comprimento de onda e dose) (BARONI et al., 2010a; DE ALMEIDA et al., 2012; DE MARCHI et al., 2012; LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009b; LEAL JUNIOR et al., 2009d; LEAL JUNIOR et al., 2010).

### 2.1.3.1 Exercícios de curta duração

Na história recente de estudos com seres humanos que aplicaram PBMT previamente a exercícios físicos, a grande maioria dos estudos analisou os seus efeitos com aplicação em apenas um grupo muscular (ANTONIALI et al., 2014; BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b; DE ALMEIDA et al., 2012; DOS REIS et al., 2014; FRITSCH et al., 2016; GORGEY et al., 2008; HEMMINGS et al., 2017; HIGASHI et al., 2013; LARKIN-KAISER et al., 2015; LEAL JUNIOR et al., 2008; LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009b; LEAL JUNIOR et al., 2009c; LEAL JUNIOR et al., 2009d; LEAL JUNIOR et al., 2010; MACIEL et al., 2014; MIRANDA et al., 2014; REIS et al., 2015; ROSSATO et al., 2016; TOMA et al., 2013; VANIN et al., 2016; VASSÃO et al., 2016). No Quadro 1, é possível observar de maneira geral os parâmetros de aplicação da PBMT e os principais resultados dos estudos.

O estudo desenvolvido por Leal Junior et al. em 2008 foi o primeiro a demonstrar os efeitos da PBMT em postergar a fadiga. Os autores avaliaram jogadores de voleibol que realizaram um protocolo de fadiga isotônico de flexão e extensão do cotovelo em um banco Scott com carga de 75% da CIVM nas situações placebo e/ou com PBMT no músculo *biceps brachii* (sessões separadas por 7 dias). Os resultados demonstraram que com a aplicação prévia da PBMT o número de contrações e tempo total do exercício aumentou em comparação a condição placebo. Outro estudo apresentou resultados similares utilizando um protocolo de fadiga de flexão e extensão do cotovelo, também com carga de 75% da CIVM (LEAL JUNIOR et al., 2009d). Este estudo (LEAL JUNIOR et al., 2009d) utilizou um equipamento com lasers ( $\lambda = 830$  nm).

Leal Junior et al. (2010) realizaram aplicação da PBMT ( $\lambda = 810$  nm) no *biceps brachii* de jogadores profissionais de voleibol, e também demonstraram resultados positivos no número de repetições e tempo de exaustão de um protocolo isotônico de fadiga de flexão e extensão de cotovelo. Além disso, os autores apresentaram resultados adicionais de marcadores bioquímicos relacionados à recuperação muscular. Os resultados sugerem que com a aplicação da PBMT os níveis de lactato sanguíneo, CK e proteína C reativa foram significativamente menores após protocolo de fadiga quando comparado com a condição placebo (LEAL JUNIOR et al., 2010).

De Almeida et al. (2012) compararam os efeitos da aplicação prévia da PBMT no espectro visível (vermelho,  $\lambda = 660$  nm) e não-visível (infravermelho,  $\lambda = 830$  nm) da luz aplicado no *biceps brachii* de homens saudáveis. Os avaliados realizaram um protocolo isométrico de fadiga (60% da CIVM) de flexão do cotovelo em um banco Scott com utilização de uma célula de carga. Os resultados indicaram que ambos os tratamentos (vermelho e infravermelho) foram efetivos em retardar o desenvolvimento da fadiga. Em contrapartida, Higashi et al. (2013) avaliaram mulheres saudáveis e observaram que a PBMT aplicado no *biceps brachii* apresenta efeitos limitados em postergar o processo de fadiga (i.e., número de repetições e lactato sanguíneo) após protocolo de exercício de flexão e extensão do cotovelo em um dinamômetro isocinético. No entanto, os autores observaram maiores reduções no *ôslopeö* da atividade elétrica muscular para o grupo placebo, indicando efeito positivo para o grupo que recebeu a PBMT na atividade elétrica muscular.

Os estudos citados anteriormente analisaram os efeitos da aplicação prévia da PBMT nos membros superiores, de maneira similar, outros estudos foram desenvolvidos buscando analisar os mesmos efeitos em membros inferiores (ANTONIALLI et al., 2014; BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b; DOS REIS et al., 2014; HEMMINGS et al., 2017; MACIEL et al., 2014; MIRANDA et al., 2014; REIS et al., 2015; TOMA et al., 2013; VANIN et al., 2016; VASSÃO et al., 2016). Assim, comparando a PBMT aplicada nos músculos do quadríceps (*rectus femoris*, *vastus lateralis* e *vastus medialis*) com a condição placebo, foi possível observar menor redução do torque após realização de um protocolo concêntrico de fadiga de flexão e extensão do joelho (30 repetições a  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ) na condição PBMT (BARONI et al., 2010a).

O uso da PBMT também foi avaliada durante protocolos envolvendo contrações excêntricas. Baroni et al. (2010b) observaram que o grupo que recebeu a aplicação de PBMT em seis pontos do quadríceps foi capaz de reduzir os efeitos do dano muscular, ou seja, redução do incremento dos níveis séricos de CK e lactato desidrogenase (LDH). Da mesma forma, Antonalli et al. (2014) demonstraram que a PBMT com doses de 10, 30 ou 50 J também reduziram os efeitos deletérios do dano muscular, assim como a atividade da enzima CK imediatamente, 1, 24, 48 e 72 horas após a realização do protocolo excêntrico de fadiga. Além do mais, os autores concluíram que a irradiação com dose de 30 J (por ponto de aplicação) de seis pontos do quadríceps apresentou melhores resultados, quando comparado ao grupo placebo, 10 e 50 J (ANTONALLI et al., 2014). E também, Hemmings et

al. (2017) aplicou três diferentes doses de energia (41,7 J, 83,4 J e 166,8 J por ponto) em seis pontos do quadríceps, demonstrando que a dose de 83,4 e 166,8 J por ponto foram as melhores para aumentar o desempenho em teste de resistência muscular.

Alguns estudos testaram os efeitos da PBMT em populações especiais (MIRANDA et al., 2014; REIS et al., 2015; TOMA et al., 2013). Em pacientes com DPOC, a PBMT aplicada no quadríceps foi efetivo em minimizar o efeito da fadiga após protocolo de contração isométrica a 60% da CIVM (MIRANDA et al., 2014). Em pacientes hemiparéticos espásticos a PBMT aplicada no quadríceps aumentou o pico de torque do teste de contração isométrica (REIS et al., 2015). De maneira similar, Toma et al., (2013) demonstraram que a PBMT aplicada no quadríceps de mulheres idosas foi capaz de aumentar o número de repetições em protocolo de fadiga de extensão e flexão do joelho.

Nos estudos supracitados é possível observar os efeitos da PBMT em postergar a fadiga e reduzir as concentrações de alguns marcadores bioquímicos para exercícios de força isométrica, concêntrica e excêntrica de um grupamento muscular específico. Considerando aspectos práticos da atividade esportiva, exercícios de alta intensidade são realizados com o envolvimento de vários grupamentos musculares (DE MARCHI, 2011). Desta forma, dois estudos analisaram os efeitos da PBMT em exercício anaeróbio realizado em cicloergômetro (teste de Wingate). Os resultados sugerem que a PBMT pode aumentar a remoção de lactato (LEAL JUNIOR et al., 2009a) e reduzir o dano muscular (LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009d), entretanto, sem melhoras no desempenho. De maneira similar, Malta et al. (2016) observaram o efeito da PBMT em teste de corrida supra máxima (115% da  $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ) em esteira. Os autores demonstraram que a PBMT não alterou o déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD) e o tempo total até exaustão. Já Pinto et al. (2016) observaram que a PBMT aplicada em jogadores de Rugby previamente a um teste de campo (*Bangsbø sprint test*), foi efetiva em aumentar o desempenho no teste e reduzir as concentrações de lactato.

Quadro 1 ó Estudos com seres humanos com aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação em exercícios de curta duração em um ou vários grupamentos musculares.

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>Leal Junior et al. (2008)</b>	12 jogadores profissionais de voleibol.	= 655 nm (laser); P = 50 mW; DP = 5 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 5 J/ponto; DE = 500 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 4; DT = 20 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão do cotovelo (banco Scott).	PBMT aumentou o n° de repetições e tempo de contração.
<b>Gorgey et al. (2008)</b>	5 homens ativos	= 808 nm (laser por meio de scanner); P = 500 mW; DP = 8,3 mW/cm <sup>2</sup> ; dose = 3 ou 7 J/ponto; n° de pontos (dois grupos) = 1; DT = 3 ou 7 J.	Quadríceps/protocolo de fadiga induzida por estimulação elétrica (dinamômetro isocinético).	PBMT não teve efeito na fadiga induzida por estimulação elétrica.
<b>Leal Junior et al. (2009a)</b>	9 jogadores de voleibol e 11 jogadores de futebol	= 830 nm (laser); P = 100 mW; DP = 35,71 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 4 J/ponto (voleibol) e 3 J/ponto (futebol); DE = 1428,57 J/cm <sup>2</sup> (voleibol) e 1071,43 J/cm <sup>2</sup> (futebol); n° de pontos = 10; DT = 40 J (voleibol) e 30 J (futebol).	<i>Rectus femoris</i> (nas duas coxas)/teste de Wingate.	PBMT pode aumentar a remoção de lactato e reduzir o dano muscular (CK) após exercício de alta intensidade.
<b>Leal Junior et al. (2009b)</b>	10 jogadores profissionais de voleibol.	= 660 e 850 nm (LEDs); P = 10 mW (660nm) e 30 mW (850nm); DP = 0,05 W/cm <sup>2</sup> e 0,15 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 41,7 J/ponto; DE = 1,5 J/cm <sup>2</sup> e 4,5 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 1; DT = 41,7 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão do cotovelo (banco Scott).	PBMT aumentou o n° de repetições e tempo de contração. PBMT reduziu as concentrações de lactato.
<b>Leal Junior et al. (2009c)</b>	10 jogadores profissionais de voleibol.	= 850 nm (laser); P = 100 mW; DP = 35,7 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 5 J/ponto; DE = 1,785 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 4; DT = 20 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão do cotovelo (banco Scott).	PBMT aumentou o n° de repetições.

Quadro 1 ó (Continuação).

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>Leal Junior et al. (2009d)</b>	8 jogadores de voleibol.	Laser: = 810 nm; P = 200 mW; DP = 5,5 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 6 J/ponto; DE = 164,84 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 2; DT = 12 J. LEDs: = 660 e 850 nm; P = 10 e 30 mW; DP = 0,05 e 0,15 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 41,7 J/ponto; DE = 1,5 e 4,5 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 2; DT = 83,4 J.	<i>Rectus femoris</i> (nas duas coxas)/teste de Wingate.	PBMT (LEDs com mais energia) reduziu os níveis de CK pós teste.
<b>Leal Junior et al. (2010)</b>	9 jogadores de voleibol.	= 810 nm (laser); P = 200 mW; DP = 5,495 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 30 J/ponto; DE = 164,85 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 2; DT = 60 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão do cotovelo (banco Scott).	PBMT aumentou o n° de repetições e tempo de contração. PBMT reduziu os níveis de CK e proteína C reativa pós exercício.
<b>Baroni et al. (2010a)</b>	17 homens ativos.	= 660 nm (LEDs, vermelho) e 850 nm (LEDs infravermelho); P = 10 mW (vermelho) e 30 mW (infravermelho); DP = 0,05 e 0,15 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 41,7 J/ponto; DE = 1,5 J/cm <sup>2</sup> (vermelho) e 4,5 J/cm <sup>2</sup> (infravermelho); n° de pontos = 3; DT = 125,1 J.	Quadríceps/protocolo de fadiga de flexão e extensão de joelho (dinamômetro isocinético).	PBMT reduziu a diminuição do torque isométrico após protocolo de fadiga.
<b>Baroni et al. (2010b)</b>	36 homens (18 grupo PBMT e 18 grupo placebo).	= 810 nm (laser); P = 200 mW; área do diodo = 0,029 cm <sup>2</sup> ; dose = 30 J/ponto; n° de pontos = 6; DT = 180 J.	Quadríceps/protocolo de exercício (extensão de joelho) excêntrico (isocinético).	PBMT atenua os efeitos deletérios do dano muscular (LDH e CK).

Quadro 1 ó (Continuação).

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>De Almeida et al. (2012)</b>	10 homens destreinados.	= 660 nm (laser) vs. 830 nm (laser); P = 50 mW; DP = 17,85 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 5 J/ponto; DE = 1,785 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 4; DT = 20 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão do cotovelo (banco Scott).	PBMT (660 e 830 nm) aumentaram o pico de força.
<b>Higashi et al. (2013)</b>	20 mulheres.	= 808 nm (laser); P = 100 mW; DP = 35,7 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 7 J/ponto; DE = 250 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 8; DT = 56 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão do cotovelo (dinamômetro isocinético).	PBMT não foi capaz de postergar o início da fadiga.
<b>Toma et al. (2013)</b>	24 mulheres idosas.	= 808 nm (laser); P = 100 mW; DP = 12,7 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 7 J/ponto; DE = 892 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 8; DT = 56 J.	<i>Rectus femoris</i> /protocolo de fadiga (cadeira extensora).	PBMT aumentou o n° de repetições durante o protocolo.
<b>Antoniali et al. (2014)</b>	40 homens destreinados.	= 905 nm (laser), 640 e 875 (LEDs); P = 130,125 mW (total); DP = 144,68 W/cm <sup>2</sup> (total); dose = 10, 30 e 50 J/ponto; n° de pontos = 6; DT = 60, 180 e 300 J.	Quadríceps/Protocolo excêntrico de fadiga (dinamômetro isocinético).	PBMT aumentou o desempenho (pico de torque) PBMT reduziu os níveis de CK. PBMT de 30 J foi mais efetivo.
<b>Maciel et al. (2014)</b>	12 mulheres ativas.	= 780 nm (manta de laser); P = 30 mW; DP = 0,15 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 0,81 J/ponto; DE = 4 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = ~29; DT = 23,49 J.	<i>Tibialis anterior</i> /protocolo de contrações concêntricas (dinamômetro isocinético).	PBMT pode aumentar o torque. PBMT não apresentou correlação com o recrutamento de fibras musculares.

Quadro 1 ó (Continuação).

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>Miranda et al. (2014)</b>	10 indivíduos com DPOC (7 homens e 3 mulheres).	= 660 nm (LEDs, vermelho) e 850 nm (LEDs, infravermelho); P = 10 mW (vermelho) e 30 mW (infravermelho); DP = 6,95 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 41,7 J/ponto; DE = 208,5 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 3; DT = 125,1 J.	Quadriceps/protocolo isométrico de fadiga (cadeira extensora de joelho).	PBMT aumentou o tempo de contração no protocolo.
<b>Dos Reis et al. (2014)</b>	27 jogadores de futebol.	= 830 nm (manta de laser); P = 60 mW; DP = 21,42 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 3,6 J/ponto; DE = 214,28 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 7; DT = 25,2 J.	Quadríceps/protocolo de fadiga (cadeira extensora).	PBMT não teve efeito no número de repetições e redução dos níveis de lactato e CK.
<b>Larkin-Kaiser et al. (2015)</b>	39 indivíduos (21 homens e 18 mulheres)	= 800 e 970 nm (laser); dose = 24 J/ponto; n° de pontos = 15; DT = 360 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo de flexão de cotovelo (dinamômetro isocinético)	PBMT atenuou a perda de força após exercício resistido.
<b>Reis et al. (2015)</b>	15 indivíduos com hemiplegia espástica (6 homens e 9 mulheres).	= 880 nm (manta de laser); P = 100 mW; DP = 3,18 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 4 J/ponto; DE = 4,77 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 30; DT = 120 J.	Quadríceps/protocolo isométrico de extensão de joelho (dinamômetro isocinético).	PBMT aumentou o torque. PBMT promoveu menores concentrações de lactato pós exercício.
<b>Vassão et al. (2016)</b>	30 mulheres idosas.	= 808 nm (laser); P = 100 mW; DP = 35,7 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 7 J/ponto; DE = 250 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 8; DT = 56 J.	<i>Rectus femoris</i> /protocolo concêntrico de extensão-flexão de joelho (dinamômetro isocinético).	PBMT atenuou a fadiga no protocolo (concentração de lactato e EMG).

Quadro 1 ó (Continuação).

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>Fritsch et al. (2016)</b>	24 homens ativos.	= 810 nm (laser); P = 200 mW; DP = 6,9 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 30 J/ponto; DE = 206,9 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 8; DT = 240 J.	Quadríceps/exercício pliométrico (salto contra-movimento).	PBMT promoveu menor dano muscular (intensidade do eco).
<b>Vanin et al. (2016)</b>	28 jogadores de futebol.	= 810 nm (laser); P = 200 mW; DP = 5,495 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 10, 30 e 50 J/ponto; DE = 54,95, 164,84 e 274,73 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 6; DT = 60, 180 e 300 J.	Quadríceps/protocolo de contração isométrica (dinamômetro isocinético).	PBMT aumentou o desempenho e reduziu os níveis de CK e IL-6. PBMT com dose de 50 J apresentou os melhores resultados
<b>Rossato et al. (2016)</b>	10 homens ativos.	<i>Cluster</i> grande: = 837,5 nm (laser e LEDs); P = 100 mW (laser) e 16,6 mW (LEDs); DP = 1666,6 W/cm <sup>2</sup> e 12,15 W/cm <sup>2</sup> ; <i>Cluster</i> pequeno: = 760 nm (laser e LEDs); P = 100 mW (laser) e 10 mW (LEDs); DP = 1666,6 W/cm <sup>2</sup> e 15,62 W/cm <sup>2</sup> ; Dose = 30 J/ponto; n° de pontos = 2; DT = 60 J.	<i>Biceps brachii</i> /protocolo isométrico de flexão do cotovelo (dinamômetro isocinético).	PBMT (com os dois clusters) aumentou o tempo de exaustão.

Quadro 1 ó (Continuação).

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>Pinto et al. (2016)</b>	12 atletas de Rugby.	= 640 e 875 nm (LEDs) e 905 nm (laser); P = 15 e 17,5 mW (LEDs) e 0,3125 mW (laser); DP = 16,66 e 19,44 mW/cm <sup>2</sup> e 0,71 mW/cm <sup>2</sup> ; dose = 30 J/ponto; DE = 3,8 e 4,43 J/cm <sup>2</sup> e 0,162 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 8; DT = 510 J por membro.	<i>Quadriceps, biceps femoris e gastrocnemius/Bangsbo Sprint test.</i>	PBMT aumentou o tempo médio de sprints. PBMT diminuiu o índice de fadiga. PBMT reduziu os níveis de lactato.
<b>Malta et al. (2016)</b>	15 homens ativos.	= 660 e 850 nm (LEDs); P = 10 mW (660) e 30 mW (850); DP = 50 e 150 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 60 J/ponto; DE = 1,5 e 4,5 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 10; DT = 600 J (300 por perna).	<i>Quadriceps, biceps femoris e gastrocnemius/corrida supramáxima em esteira (115% da vVO<sub>2MAX</sub>)</i>	PBMT não foi capaz de alterar o desempenho na corrida supramáxima.
<b>Hemmings et al. (2017)</b>	34 indivíduos (18 homens e 16 mulheres).	= 660 e 850 nm (LEDs); P = 10 mW (660 nm) e 30 mW (850 nm); DP = 0,05 W/cm <sup>2</sup> (média); dose = 41,7; 83,4 e 166,8 J/ponto; n° de pontos = 6; DT = 250,2; 500,4 e 1000,8 J.	Quadríceps/protocolo de fadiga (dinamômetro isocinético).	PBMT aumentou o n° de repetições no protocolo. PBMT com dose de 83,4 J/ponto foi recomendada.

= Comprimento de onda; P = Potência; DP = Densidade de potência; DE = Densidade de energia; DT = Dose total; PBMT = Terapia com fotobiomodulação.

### 2.1.3.2 Exercícios de longa duração

Poucos estudos foram desenvolvidos com exercícios aeróbios ou de longa duração que envolve vários grupamentos musculares (DA SILVA ALVES et al., 2014; DE MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2015a; LANFERDINI et al., 2017a; LANFERDINI et al., 2017b; MIRANDA et al., 2016). No quadro 2, é possível observar de maneira geral os parâmetros de aplicação da PBMT e os principais resultados dos estudos.

De Marchi et al. (2012) analisaram o efeito da PBMT aplicada no *quadriceps*, *isquiotibiales* e *gastrocnemius* de ambas as pernas previamente a um teste incremental máximo de corrida em esteira. Os autores observaram que a PBMT foi capaz de aumentar o desempenho de corrida (tempo de exaustão) e o  $VO_{2MÁX}$ , além de reduzir o estresse oxidativo, no qual postergou o desenvolvimento da fadiga.

Já Da Silva Alves et al. (2014) avaliaram homens e mulheres que realizaram um teste incremental máximo no cicloergômetro e os resultados demonstraram que a aplicação prévia da PBMT apresentou efeito positivo no desempenho do teste incremental máximo, uma vez que com a aplicação da PBMT os indivíduos atingiram valores significativamente maiores de  $VO_{2MÁX}$  comparado com a aplicação do placebo.

Ferraresi et al. (2015a) realizaram estudo de caso com um corredor profissional de longa distância e aplicaram a PBMT utilizando malhas de LEDs nos braços (*biceps brachii* e *triceps brachii*), pernas (*quadriceps*, *isquiotibiales*, *tibialis anterior*, *gastrocnemius* e *soleus*), e também na região do tronco (*obliquo externus* e *latíssimo do dorso*). Os resultados do estudo foram muito interessantes no que se refere ao desempenho. Os autores observaram que com a aplicação de PBMT o corredor apresentou melhoras na cinética do  $VO_{2MÁX}$  e tempo do teste incremental máximo em esteira, redução do dano e fadiga muscular também foram observados.

No ano de 2016, Miranda et al. realizaram um estudo com dois grupos de indivíduos (experimental e controle), sendo que o grupo experimental realizou a PBMT (aplicada previamente ao exercício físico no *quadriceps*, *isquiotibiales* e *gastrocnemius*). Os avaliados desempenharam um teste incremental máximo em esteira e o grupo experimental apresentou maiores valores na distância percorrida, tempo de exaustão e ventilação pulmonar durante o teste quando comparado ao grupo controle.

Recentemente, Lanferdini et al. (2017a; 2017b) avaliaram ciclistas treinados, estes que realizaram testes até a exaustão (no pico de potência) com aplicação prévia de PBMT com diferentes doses de energia (15, 30 e 45 J por ponto de aplicação). Os autores observaram que todas as doses aumentaram o tempo de exaustão e a cinética do  $VO_{2MÁX}$ , entretanto, apenas PBMT com dose de 15 J por ponto de aplicação foi capaz de aumentar a ativação muscular das bandas de alta frequência durante o teste de exaustão.

Contudo, apesar dos estudos citados demonstrarem resultados promissores relacionados à aplicação prévia da PBMT em exercícios físicos de longa duração com predominância do metabolismo aeróbio de energia, pouco se sabe sobre quais são as características ótimas de aplicação da PBMT (por exemplo, doses de energia), e também, pouco foi explorado sobre os efeitos da PBMT em exercícios realizados fora do ambiente laboratorial.

Quadro 2 ó Estudos com seres humanos com aplicação prévia da terapia com fotobiomodulação em exercícios de longa duração.

<b>Referência</b>	<b>Amostra</b>	<b>Parâmetros PBMT</b>	<b>Músculo/exercício</b>	<b>Principais resultados</b>
<b>De Marchi et al. (2012)</b>	22 homens destreinados.	= 810 nm (laser); P = 200 mW; DP = 5,495 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 30 J/ponto; DE = 164,85 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 12; DT = 360 J.	<i>Quadriceps, biceps femoris e gastrocnemius</i> /teste incremental em esteira.	PBMT aumentou o tempo até exaustão e o VO <sub>2MAX</sub> . PBMT reduziu o estresse oxidativo.
<b>Da Silva Alves et al. (2014)</b>	18 homens destreinados.	= 850 nm (laser); P = 100 mW; DP = 2 W/cm <sup>2</sup> ; dose = 14 J/ponto; DE = 40 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 4; DT = 56 J.	<i>Quadriceps e gastrocnemius</i> /protocolo incremental em cicloergômetro.	PBMT aumenta o VO <sub>2MAX</sub> .
<b>Ferraresi et al. (2015a)</b>	1 corredor de elite.	= 850 nm (malhas de LEDs); P = 50 mW; DP = 250 mW/cm <sup>2</sup> ; dose = 37,5 J/músculo; DE = 3,75 J/cm <sup>2</sup> ; n° de músculos = 12; DT = 450 J.	<i>Biceps brachii, triceps brachii, external oblique, latissimus dorsi, quadriceps, biceps femoris, tibialis anterior, peroneus longus, gastrocnemius e soleus</i> / protocolo de carga constante em esteira.	PBMT melhora a cinética do VO <sub>2</sub> . PBMT aumenta o tempo de exercício. PBMT reduz o dano muscular e fadiga.

Quadro 2 ó (Continuação).

Referência	Amostra	Parâmetros PBMT	Músculo/exercício	Principais resultados
<b>Miranda et al. (2016)</b>	20 homens destreinados.	= 640 e 875 nm (LEDs) e 905 nm (laser); P = 15 e 17,5 mW (LEDs) e 0,3125 mW (laser); DP = 16,66 e 19,44 mW/cm <sup>2</sup> e 0,71 mW/cm <sup>2</sup> ; dose = 30 J/ponto; DE = 3,8 e 4,43 J/cm <sup>2</sup> e 0,16 J/cm <sup>2</sup> ; n° de pontos = 17 por membro inferior; DT = 510 J/membro inferior.	<i>Quadriceps, biceps femoris</i> e <i>gastrocnemius</i> /protocolo incremental em esteira.	PBMT reduziu a percepção de esforço. PBMT aumentou o tempo de exercício e distância percorrida.
<b>Lanferdini et al. (2017a)</b>	20 ciclistas treinados.	= 810 nm (laser); P = 200 mW; dose = 15, 30 e 45 J/ponto; n° de pontos = 9; DT = 135, 270 e 405 J/coxa.	Quadriceps/protocolo de tempo de exaustão (pico de potência) no cicloergômetro.	PBMT com todas as doses aumentou o tempo de exaustão. PBMT com dose de 15 J/ponto aumentou a ativação muscular na faixa de alta frequência.
<b>Lanferdini et al. (2017b)</b>	20 ciclistas treinados.	= 810 nm (laser); P = 200 mW; dose = 15, 30 e 45 J/ponto; n° de pontos = 9; DT = 135, 270 e 405 J/coxa.	Quadriceps/protocolo de tempo de exaustão (pico de potência) no cicloergômetro.	PBMT com todas as doses foi capaz de melhorar a cinética do VO <sub>2</sub> MAX (reduzindo o tau e o déficit de O <sub>2</sub> ).

= Comprimento de onda; P = Potência; DP = Densidade de potência; DE = Densidade de energia; DT = Dose total; PBMT = Terapia com fotobiomodulação.

### 3 CAPÍTULO III

#### 3.1 RESULTADOS

A seção de resultados será dividida em três partes, correspondente aos artigos que foram elaborados para responder os objetivos estabelecidos. O quadro 3 apresenta o título dos artigos, que compõe a tese, a revista que o artigo foi publicado ou submetido e o respectivo Qualis (CAPES da área 21) e fator de impacto.

Quadro 3 ó Artigos que compõe a presente tese.

<b>Artigo</b>	<b>Periódico / Qualis (Fator de Impacto)</b>
<b>1. Terapia com fotobiomodulação em parâmetros fisiológicos e de desempenho durante testes de corrida: efeitos da dose-resposta.</b>	Em avaliação no <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> / A1 (2.060)
<b>2. Efeito dose-resposta da terapia com fotobiomodulação na economia neuromuscular durante corrida submáxima.</b>	Aprovado na <i>Lasers in Medical Science</i> / A1 (2.299)
<b>3. Efeitos da terapia com fotobiomodulação na corrida de 1500 m: uma análise do desempenho e da resposta individual.</b>	Em avaliação no <i>International Journal of Sports Physiology and Performance</i> / A1 (2.654)



### 3.1.1 Artigo 1 ó PBMT e respostas fisiológicas e de desempenho

#### TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO EM PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E DE DESEMPENHO DURANTE TESTES DE CORRIDA: EFEITOS DA DOSE-RESPOSTA.

##### Resumo

O objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da terapia com fotobiomodulação (PBMT) com diferentes doses de energia (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação) em parâmetros fisiológicos e de desempenho durante testes de corrida. Quinze corredores recreacionais do sexo masculino participaram do estudo caracterizado como randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. Os participantes realizaram o teste de corrida em cinco visitas ao laboratório com diferentes tratamentos: controle, placebo, PBMT com 15, 30 e 60 J por ponto de aplicação (14 pontos em cada membro inferior). As variáveis fisiológicas e de desempenho foram avaliadas durante testes de corrida submáxima (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e máxima. Comparado ao placebo, a PBMT com 30 J por ponto de aplicação melhorou significativamente a economia de corrida (EC) nas velocidades de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (3,01% e 3,03%, respectivamente), percepção de esforço (PSE) na velocidade de 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (7,86%), velocidade associada ao consumo máximo de oxigênio ( $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$  ó 3,07%), pico de velocidade (PV ó 1,49%) e tempo total de exaustão (TTE) no teste máximo (3,41%). A PBMT com 15 J por ponto de aplicação em comparação ao placebo, melhorou a EC na velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (2,98%), PSE na velocidade de 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (4,80%), PV (1,33%) e TTE (3,06%) no teste máximo (4,01%). Já a PBMT com 60 J por ponto de aplicação melhorou apenas a EC na velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (3,87%) quando comparado ao placebo. Portanto, todas as doses de energia afetaram positivamente os parâmetros fisiológicos e de desempenho durante os testes de corrida, entretanto, a inferência baseada na magnitude demonstrou que a PBMT aplicada com 30 J por ponto apresenta maiores efeitos benéficos em comparação as doses de 15 e 60 J por ponto.

**Palavras-chave:** Economia de corrida; Recurso ergogênico; Laserterapia de baixa potência; Terapia com diodos emissores de luz.

---

\* Artigo aprovado para publicação no periódico *Journal of Strength and Conditioning Research* (Anexo I) Citação: Dellagrana RA, Rossato M, Sakugawa RL, Baroni BM, Diefenthaler F. Photobiomodulation therapy on

physiological and performance parameters during running tests: Dose-response effects. *J Strength Cond Res.* [Epub ahead of print].

## Introdução

Várias evidências indicam que o sucesso em corridas de média e longa distância podem ser atribuídas a parâmetros fisiológicos (MCLAUGHLIN et al., 2010; STRATTON et al., 2009). Dentre estes parâmetros, o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ) é frequentemente usado para determinar a aptidão aeróbia do atleta (BASSETT; HOWLEY, 2000). No entanto, o  $VO_{2MAX}$  sozinho não é capaz de explicar o sucesso durante a corrida, desta forma, índices relacionados a concentração de lactato sanguíneo ([Lac]) e economia de corrida (EC) devem ser considerados na avaliação de atletas com  $VO_{2MAX}$  similar (MCLAUGHLIN et al., 2010; MIDGLEY et al., 2007).

Estratégias e equipamentos para melhorar parâmetros de desempenho e fisiológicos de corredores, como por exemplo, calçado, condições da superfície de treino e métodos de treinamento não apresentaram mudanças significativas nas últimas três décadas (SCHUBERT, ASTORINO, 2013). Além do mais, algumas substâncias usadas como recurso ergogênico em diferentes modalidades esportivas são proibidas pelas agências *antidoping* (HOFFMAN et al., 2009). Neste contexto, a terapia com fotobiomodulação (PBMT) parece ser uma estratégia interessante para melhorar o desempenho muscular (LEAL JUNIOR et al., 2015), uma vez que a PBMT é uma técnica não farmacológica e não invasiva. Algumas evidências sugerem que a PBMT é capaz de reduzir a fadiga e/ou melhorar o desempenho em exercícios de força avaliados em um determinado grupamento muscular (BARONI et al., 2010b; LEAL JUNIOR et al., 2009d; LEAL JUNIOR et al., 2015; ROSSATO et al., 2016). No entanto, poucos estudos avaliaram os efeitos da PBMT na corrida (DE MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2015a; MIRANDA et al., 2016).

Estudos anteriores envolvendo PBMT e testes de corrida observaram melhora no desempenho em indivíduos destreinados (DE MARCHI et al., 2012; MIRANDA et al., 2016) e em um corredor de elite (FERRARESI et al., 2015). Entretanto, os mecanismos relacionados ao efeito ergogênico da PBMT na corrida ainda não estão totalmente elucidados. O ponto chave dos efeitos benéficos da PBMT está relacionado a absorção da luz monocromática pela cadeia celular respiratória por meio de cromóforos endógenos, assim transformando energia luminosa em energia química dentro da membrana plasmática

(KARU, 1989; REDDY, 2004). A energia luminosa absorvida pela célula provoca mudanças estruturais e metabólicas na mitocôndria, ou seja, aumento do tamanho mitocondrial e atividade das enzimas oxidativas, desta forma, aumentando a síntese de ATP (MANTEIFEL; KARU, 2005). Levando em consideração que a formação da chamada mitocôndria gigante é por meio da fusão com mitocôndrias menores (mudanças estruturais) depende de uma regulação na expressão gênica, maior deve ser o tempo de aplicação da PBMT para alcançar este efeito estrutural. Portanto, a PBMT pode afetar parâmetros de desempenho e fisiológicos em exercícios com alta dependência do metabolismo oxidativo devido uma série de efeitos como: redução do estresse oxidativo (DE MARCHI et al., 2012), melhora fluxo sanguíneo e entrega de oxigênio para as células (KLEBANOV et al., 2001; MAK; CHEING, 2012) e aumento da atividade da cadeia respiratória celular (KARU, 2010; SILVEIRA et al., 2009).

Considerando estes mecanismos, os parâmetros de aplicação apropriados da PBMT devem ser usados para que a energia luminosa alcance com efetividade o tecido biológico alvo. Assim, parâmetros como comprimento de onda da luz, potência do equipamento de aplicação e quantidade de energia entregue ao tecido (comumente referido como dose), entre outros, são determinantes para alcançar os efeitos esperados. No entanto, experimentos com modelo animal e cultura de células envolvendo PBMT, observaram um padrão de dose-resposta bifásico (ou curva de Arndt-Schulz) (HUANG et al., 2011). A dose-resposta bifásica indica que a energia entregue ao tecido apresenta uma janela terapêutica, ou seja, baixa e alta energia provoca efeitos nulos ou inibitórios, respectivamente (HUANG et al., 2011). Portanto, é importante descobrir qual a dose de energia ótima da PBMT para diferentes exercícios e populações, conforme estudo recente envolvendo ciclistas competitivos observou (LANFERDINI et al., 2017a). Muitos estudos envolvendo a aplicação de PBMT em humanos e desempenho de corrida têm usado apenas uma dose de energia (DE MARCHI et al., 2012, FERRARESI et al., 2015; MIRANDA et al., 2016). Desta forma, o efeito de diferentes doses de energia da PBMT em parâmetros fisiológicos e de desempenho durante a corrida permanece obscuro.

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos da PBMT com três diferentes doses de energia (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação) em parâmetros fisiológicos e de desempenho durante testes submáximos e máximos de corrida. De acordo com evidências anteriores, a hipótese do presente estudo foi que a dose de 30 J por ponto de aplicação estaria dentro da janela terapêutica para

otimizar o desempenho na corrida (DE MARCHI et al., 2012; MIRANDA et al., 2016), bem como a dose de 15 J por ponto de aplicação (LANFERDINI et al., 2017), porém, a dose de 60 J por ponto de aplicação não apresenta suporte sólido na literatura.

## Métodos

### Desenho experimental

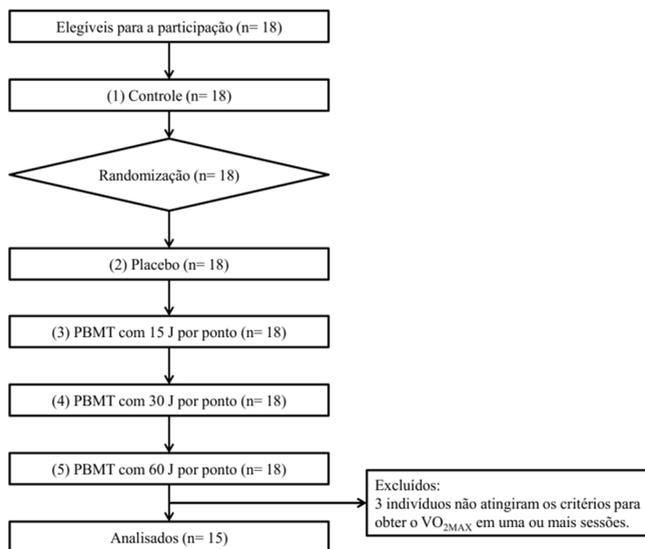
O presente estudo pode ser classificado como *crossover*, randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. Todos os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo em cinco condições diferentes: 1) controle (sem tratamento); 2) placebo; 3) PBMT aplicado com 15 J por ponto; 4) PBMT aplicado com 30 J por ponto; 5) PBMT aplicado com 60 J por ponto. Para todos os participantes a primeira sessão sempre foi a condição controle, e as demais condições foram randomizadas (Figura 2). A randomização dos participantes foi realizada por um pesquisador responsável pela aplicação da PBMT e que não participou das avaliações físicas. Este pesquisador foi instruído a não comunicar aos participantes e aos outros pesquisadores responsáveis pela aplicação dos testes físicos o tratamento que foi aplicado em cada sessão. Além disso, os participantes da pesquisa usaram óculos opacos com bloqueio da visão durante a aplicação do tratamento (placebo e PBMT). Levando em consideração que a PBMT não apresenta estímulos sensitivos como calor, frio, irritação da pele, dor, entre outros, os participantes não conseguiam distinguir qual era o tratamento aplicado.

### Participantes

Participaram do estudo 18 corredores recreacionais do sexo masculino ( $27,0 \pm 4,7$  anos,  $178,8 \pm 5,5$  cm;  $76,2 \pm 7,2$  kg). Os critérios de inclusão do estudo foram: 1) corredor do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos; 2) rotina de treinamento de 2-5 sessões por semana nos últimos 4 meses; e 3) experiência prévia com corrida em esteira. Os indivíduos que em uma ou mais sessões não atingiram os critérios para obter o  $VO_{2MAX}$ : a) ocorrência do platô nos valores mensurados de  $VO_2$ ; b) razão de troca respiratória  $\times 1,15$ ; c) frequência cardíaca máxima predita pela idade com variação  $\times 90\%$ ; d) pico de lactato  $\times 8$  mmol·L<sup>-1</sup>; e) percepção subjetiva de esforço  $>18$  (BASSET; HOWLEY, 2000); e com histórico de lesões nos membros inferiores (por exemplo, torção de

joelho ou tornozelo, dor anterior de joelho, tendinopatia no tendão do calcâneo ou patelar) nos últimos dois meses antes da coleta de dados foram excluídos do estudo. Desta forma, 15 corredores foram analisados no presente estudo (Figura 2). O número de participantes foi determinado por meio de um poder estatístico de 0,80, nível de significância de 0,05 e tamanho de efeito baseado no risco relativo de aumento no tempo de exaustão (4,12 s) a favor da PBMT (LEAL JUNIOR et al., 2015). Portanto, um mínimo de 10 indivíduos foi necessário para detectar os efeitos da PBMT versus o placebo. O *software* G\*Power versão 3.1.9.2 foi usado para determinar o tamanho da amostra. Para todos os corredores foi entregue um termo de consentimento livre e esclarecido. A aprovação ética foi obtida pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CAAE: 61599116.1.0000.0121), e o protocolo foi descrito de acordo com a Declaração de Helsinki.

Figura 2 ó Desenho do estudo.



## Procedimentos

O protocolo de avaliação foi realizado em cinco dias diferentes no mesmo período (ou horário) e com no máximo uma semana de intervalo entre as sessões. No dia anterior das avaliações, foi solicitado

aos participantes para evitarem exercícios físicos vigorosos nos membros inferiores e a ingestão de álcool e/ou caféina. Durante todas as cinco sessões, os participantes realizaram: 1) tratamento com PBMT ou placebo (exceto na primeira sessão ó condição controle); 2) teste de corrida submáximo, para avaliar a EC, [Lac] e percepção de esforço (PSE); e 3) teste incremental máximo de corrida, para avaliar o  $VO_{2MAX}$ , velocidade associada ao  $VO_{2MAX}$  ( $vVO_{2MAX}$ ), limiar anaeróbio individual (IAT), pico de velocidade (PV), pico da concentração de lactato sanguíneo ( $[Lac]_{pico}$ ), tempo total até a exaustão (TTE), e distância total percorrida no teste (DT).

### Aplicação da PBMT ou placebo

A PBMT ou placebo foram aplicados utilizando o equipamento *Chatanooga Intellect Mobile Laser 2779 system* (Chatanooga Group, Guildford Surrey, UK). A aplicação da PBMT ou placebo foram realizados nos membros inferiores direito e esquerdo imediatamente antes dos testes de corrida. Assim, os tratamentos (PBMT e placebo) foram aplicados em 14 pontos em cada membro inferior (total de 28 pontos) (DE MARCHI et al., 2012), sendo oito pontos no *quadriceps*, quatro pontos nos *isquitibiales* e dois pontos no *gastrocnemius* (Figura 3). O placebo foi aplicado exatamente da mesma forma que a PBMT, entretanto, com o equipamento desligado. Embora o tempo real de aplicação por ponto entre as doses testadas (15, 30 e 60 J) foi diferente, o *cluster* foi mantido em contato com a pele com uma leve pressão durante 64 s por ponto (tempo necessário para a dose com maior tempo de aplicação ó 60 J), assim garantindo a condição duplo-cego.

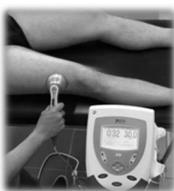
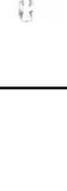
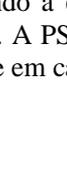
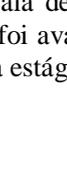
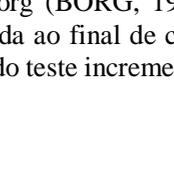
### Testes de corrida

Primeiramente, os corredores realizaram um aquecimento de 5 min caminhando com velocidade de  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Após o aquecimento, os corredores realizaram o teste de corrida submáximo em uma esteira motorizada (Imbramed Millenium Super ATL, model 10200, Porto Alegre, Brasil) em duas diferentes velocidade de corrida ( $8$  e  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) durante 5 min em cada velocidade (ACHE-DIAS et al., 2016), com inclinação de 1% e 1 min de recuperação entre as velocidades. Imediatamente após o teste de corrida submáximo, um teste incremental máximo foi realizado na esteira com inclinação de 1%, velocidade inicial de  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e incrementos de  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a cada 3 min até a exaustão voluntária.

## Economia de corrida

Durante o teste de corrida submáximo, os níveis de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) foram mensurados respiração a respiração sempre no último minuto nos testes de corridas submáximas (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), usando um sistema de espirometria computadorizado de circuito aberto (Quark PFTergo, COSMED SRL, Roma, Itália). O sistema foi calibrado antes de cada teste usando uma concentração gasosa certificada para oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e  $\text{CO}_2$  e para ventilação foi utilizada uma seringa de três litros (modelo 5530 marca Hans Rudolph, EUA).

Figura 3 ó Parâmetro e pontos (círculos pretos nos músculos) de aplicação da terapia com fotobiomodulação.

<b>LASERs (850nm)</b>		 	
Número de diodos	5		
Potência (mW)	100		
Tamanho do spot ( $\text{cm}^2$ )	0,06		
Densidade de potência ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	1666,6		
Frequência	Contínuo		
Dose (J)	1,6; 3,2 ou 6,4	 	
<b>LEDs (670nm)</b>			
Número de diodos	12		
Potência (mW)	10		
Tamanho do spot ( $\text{cm}^2$ )	1,92		
Densidade de potência ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	5,20		
Frequência	Contínuo		
Dose (J)	0,15; 0,30 ou 0,60		
<b>LEDs (880nm)</b>		 	
Número de diodos	8		
Potência (mW)	25		
Tamanho do spot ( $\text{cm}^2$ )	1,28		
Densidade de potência ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	19,53		
Frequência	Contínuo		
Dose (J)	0,40; 0,80 ou 1,60		
<b>LEDs (950nm)</b>		 	
Número de diodos	8		
Potência (mW)	15		
Tamanho do spot ( $\text{cm}^2$ )	1,28		
Densidade de potência ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	11,71		
Frequência	Contínuo		
Dose (J)	0,25; 0,50 ou 1,00		
<b>Tamanho do cluster (<math>\text{cm}^2</math>)</b>	30,2		
<b>Número de pontos</b>	28		
<b>Tempo de tratamento por ponto (s)</b>	16; 32 ou 64		
<b>Dose por ponto (J)</b>	15; 30 ou 60		
<b>Dose total (J)</b>	420; 840 ou 1680		

## Percepção subjetiva de esforço

A PSE foi mensurada usando a escala de Borg (BORG, 1982) com 15 níveis de esforço (6 a 20). A PSE foi avaliada ao final de cada corrida submáxima (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e em cada estágio do teste incremental máximo.

## Concentração de lactato sanguíneo

Foram coletadas amostras de 25  $\mu\text{L}$  de sangue do lóbulo da orelha com auxílio de capilar heparinizado, após cada estágio durante os testes de corrida (testes submáximo e máximo), e também, após o 1º, 3º, 5º, 7º e 9º minuto de recuperação. A [Lac] foi mensurada por meio de um analisador eletroquímico (YSI 1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Ohio, EUA). O analisador foi calibrado de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante.

## Determinação do $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ , $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$ , PV, TTE, DT e IAT

O  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  foi determinado durante o teste incremental máximo, sendo o  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  considerado como o maior valor obtido durante o teste em intervalos de 15 s ou na presença do platô na resposta do  $\text{VO}_2$  durante o último minuto do exercício (DAY et al., 2003). Para garantir que o indivíduo atingiu o  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  foram utilizados os critérios propostos por Basset e Howley (2000). A frequência cardíaca (FC) foi monitorada durante os testes de corrida, sendo que a FC máxima ( $\text{FC}_{\text{MAX}}$ ) foi definida como o valor mais alto observado durante o teste incremental máximo. A  $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$  foi definida como a menor velocidade no qual ocorreu o  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  (BILLAT et al., 1999). O PV foi considerado como a maior velocidade obtida no teste incremental máximo, entretanto, se um estágio não foi totalmente completado, o PV foi calculado de acordo com a equação de Kuipers (KUIPERS et al., 2003). O TTE e a DT foram anotados após o término do teste incremental máximo. O IAT foi calculado de acordo com os procedimentos descritos por Stegmann et al. (1981), utilizando a curva de lactato durante o período de recuperação passiva pós teste incremental máximo. Assim, as variáveis de velocidade no IAT ( $v\text{IAT}$ ) e consumo de oxigênio em relação ao IAT ( $\text{VO}_{2\text{IAT}}$ ).

## Análise estatística

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. As variáveis foram apresentadas como média e desvio padrão. A análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas foi usada para comparar todas as variáveis nos diferentes tratamentos (controle, placebo, 15, 30 e 60 J). Em seguida, o *post hoc* LSD foi usado para identificar as diferenças. Todas as análises foram realizadas utilizando o

*software IBM SPSS Statistics para Windows* versão 21,0 (IBM Corp, Armonk, NY, EUA), com nível de significância de 5%.

A inferência baseada na magnitude foi utilizada para determinar a significância prática. Portanto, a magnitude de diferença entre placebo e as doses da PBMT (placebo versus 15 J, placebo versus 30 J e placebo versus 60 J) foi calculada e expressa como diferenças médias. O critério de Cohen para análise do tamanho do efeito foi adotado ( $>0,2$  = efeito pequeno;  $>0,5$  = efeito moderado;  $>0,8$  = efeito grande). Para as chances de mudanças reais benéficas ou prejudiciais foi considerada diferença maior do que a menor mudança válida (0,2 multiplicado pelo desvio-padrão entre os participantes), além disso, as mudanças triviais também foram determinadas. As chances quantitativas de um efeito benéfico ou prejudicial foram avaliadas como qualitativas considerando:  $<5\%$  = muito improvável; 5-25% = improvável; 25-75% = possível; 75-95% = provável; e  $>95\%$  = muito provável. Se as chances de efeito benéfico ou prejudicial foram ambos  $>5\%$  as diferenças reais foram consideradas incertas (não está claro) (BATTERHAM; HOPKINS, 2006).

## Resultados

Com relação ao processo de randomização, a ordem e o melhor desempenho por sessão são demonstrados na tabela 1. Efeito do tratamento foi observado para a EC nas velocidades de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $F= 4,868$ ,  $p= 0,013$  e  $F= 4,908$ ,  $p= 0,002$ , respectivamente). Desta forma, os valores de EC na velocidade de 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  foram melhorados após aplicação da PBMT com 30 J ( $p= 0,008$ ) e 60 J ( $p= 0,019$ ) em comparação a condição controle, e apenas PBMT com aplicação de 30 J por ponto obteve diferença significativa com a condição placebo ( $p= 0,018$ ). De maneira similar, os valores de EC na velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  foram aprimorados com a aplicação da PBMT com 15 J (versus controle,  $p= 0,038$ ; versus placebo,  $p= 0,025$ ), 30 J (versus controle,  $p= 0,014$ ; versus placebo,  $p= 0,009$ ) e 60 J (versus controle,  $p= 0,001$ ; versus placebo,  $p= 0,024$ ) (Tabela 2).

Para a PSE nas velocidades de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  foi observado efeito do tratamento ( $F= 9,839$ ,  $p= 0,001$  e  $F= 3,682$ ,  $p= 0,010$ , respectivamente). Durante os teste submáximo com velocidade de 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , menores valores de PSE foram observados para o placebo ( $p= 0,020$ ), PBMT com aplicação de 15 J ( $p= 0,006$ ), 30 J ( $p= 0,001$ ) e 60 J ( $p= 0,001$ ) por ponto em comparação a condição controle, e ainda, o placebo apresentou maiores valores de PSE em comparação a PBMT aplicada com 15 J ( $p= 0,010$ ) e 30 J ( $p= 0,033$ ) por ponto. Já para o teste

com velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , a condição controle apresentou maiores valores de PSE em comparação a PBMT aplicada com 15 J ( $p= 0,025$ ), 30 J ( $p= 0,006$ ) e 60 J ( $p= 0,003$ ) por ponto (Tabela 2).

No que se refere a [Lac] nas velocidades de 8 e  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , efeito do tratamento foi observado ( $F= 3,373$ ,  $p= 0,016$  e  $F= 5,583$ ,  $p= 0,005$ , respectivamente). A [Lac] durante teste na velocidade de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  foi maior para a condição controle quando comparado com a PBMT aplicada com 15 J ( $p= 0,023$ ), 30 J ( $p= 0,005$ ) e 60 J ( $p= 0,007$ ) por ponto, enquanto que na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a condição controle apresentou maiores valores em comparação as condições placebo ( $p= 0,041$ ), PBMT aplicada com 15 J ( $p= 0,011$ ), 30 J ( $p= 0,013$ ) e 60 J ( $p= 0,006$ ) por ponto (Tabela 2).

Tabela 1 ó Tratamentos (placebo e PBMT) e melhor desempenho\* por sessão.

	Controle	Placebo	15 J	30 J	60 J	Desempenho*
	n (%)					
Sessão 1	15 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Sessão 2	0 (0)	6 (40)	2 (13)	4 (27)	3 (20)	5 (33)
Sessão 3	0 (0)	5 (33)	5 (33)	3 (20)	2 (13)	3 (20)
Sessão 4	0 (0)	1 (7)	4 (27)	2 (13)	8 (53)	2 (13)
Sessão 5	0 (0)	3 (20)	4 (27)	6 (40)	2 (13)	5 (33)

\* Levando em consideração o pico de velocidade.

Não foram observadas diferenças entre os tratamentos para as variáveis de  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  ( $F= 0,397$ ,  $p= 0,810$ ),  $\text{FC}_{\text{MAX}}$  ( $F= 0,869$ ,  $p= 0,457$ ),  $\text{vIAT}$  ( $F= 2,286$ ,  $p= 0,071$ ),  $\text{VO}_{2\text{IAT}}$  ( $F= 0,784$ ,  $p= 0,466$ ) e  $[\text{Lac}]_{\text{pico}}$  ( $F= 0,877$ ,  $p= 0,484$ ) (Tabela 3). Em contrapartida, efeito do tratamento foi observado para  $\text{vVO}_{2\text{MAX}}$ , PV, TTE e DT ( $F= 3,213$ ,  $p= 0,019$ ;  $F= 5,774$ ,  $p= 0,006$ ;  $F= 5,760$ ,  $p= 0,006$ ; e  $F= 5,718$ ,  $p= 0,006$ , respectivamente). A  $\text{vVO}_{2\text{MAX}}$  apresentou maiores valores em comparação ao controle quando a PBMT foi aplicada com 30 J ( $p= 0,015$ ) e 60 J ( $p= 0,009$ ) por ponto, entretanto, apenas a PBMT com 30 J por ponto apresentou diferença significativa ( $p= 0,029$ ) comparado ao placebo. O PV, TTE e DT apresentaram maiores valores para o placebo ( $p= 0,006$ ,  $p= 0,006$  e  $p= 0,007$ ), PBMT com 15 J ( $p= 0,001$ ,  $p= 0,001$  e  $p<0,001$ ), 30 J ( $p= 0,001$ ,  $p= 0,001$  e  $p= 0,004$ ) e 60 J ( $p= 0,010$ ,  $p= 0,011$  e  $p= 0,031$ ) por ponto em comparação a condição controle. Além do mais, o PV, TTE e DT sob efeito da PBMT com 15 J ( $p= 0,008$ ,  $p= 0,008$  e  $p= 0,011$ ) e 30 J ( $p= 0,035$ ,  $p= 0,036$  e  $p= 0,040$ ) por ponto

apresentaram maiores valores quando comparados ao placebo (Tabela 3).

A figura 4 demonstra a magnitude de efeito da PBMT nas variáveis analisadas no presente estudo, as doses de 15, 30 e 60 J por ponto foram comparadas com a condição placebo. Para a PBMT aplicada com 15 J por ponto, efeito *provavelmente benéfico* foi observado para EC na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , enquanto que um efeito *possivelmente benéfico* foi observado para EC na velocidade de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , [Lac] e PSE em ambas as velocidades do teste submáximo. Com relação à PBMT aplicada com 30 J por ponto, efeitos *provavelmente benéficos* foram observados para EC em ambas as velocidades do teste submáximo e para a PSE na velocidade de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , além disso, efeitos *possivelmente benéficos* foram observados para o [Lac] em ambas as velocidades do teste submáximo, PSE na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e  $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$ . Já PBMT aplicada com 60 J demonstrou efeito *provavelmente benéfico* para EC na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , e *possivelmente benéficos* para a EC na velocidade de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , [Lac] e PSE em ambas as velocidades do teste submáximo, e também, para a  $v\text{VO}_{2\text{MAX}}$  (Figura 4).

Tabela 2 ó Economia de corrida (EC), percepção subjetiva de esforço (PSE) e concentração de lactato sanguíneo ([Lac]) durante teste submáximo de corrida nas velocidades de 8 km·h<sup>-1</sup> e 9 km·h<sup>-1</sup>.

	Controle	Placebo	15 J	30 J	60 J
EC (ml·kg·min <sup>-1</sup> )					
8 km·h <sup>-1</sup>	31,46±3,15	30,68±2,20	30,15±1,92	29,76±2,45* <sup>s</sup>	30,05±1,96*
9 km·h <sup>-1</sup>	34,49±3,06	33,97±2,72	32,96±2,41* <sup>s</sup>	32,94±2,42* <sup>s</sup>	32,66±2,89* <sup>s</sup>
PSE (u.a.)					
8 km·h <sup>-1</sup>	8,70±1,85	7,63±1,54*	7,27±1,53* <sup>s</sup>	7,03±1,52* <sup>s</sup>	7,33±1,45*
9 km·h <sup>-1</sup>	10,00±2,51	9,17±2,33	8,77±1,99*	8,50±1,61*	8,70±2,10*
[Lac] (mmol·L <sup>-1</sup> )					
8 km·h <sup>-1</sup>	1,79±0,58	1,57±0,59	1,50±0,35*	1,47±0,41*	1,40±0,54*
9 km·h <sup>-1</sup>	1,94±0,74	1,58±0,58*	1,49±0,49*	1,48±0,48*	1,41±0,52*

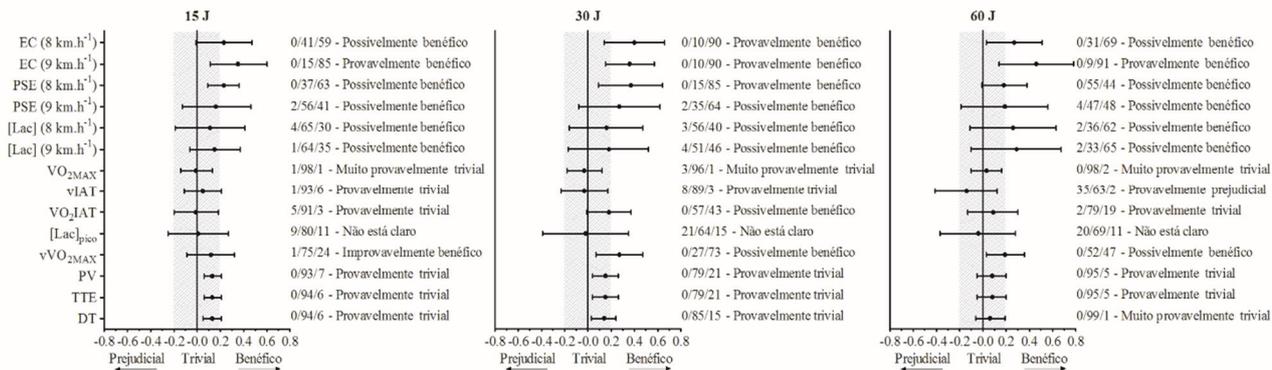
\* diferença em comparação ao controle (p<0,05); <sup>s</sup> diferença em comparação ao placebo (p<0,05).

Tabela 3 ó Parâmetros fisiológicos e de desempenho durante teste incremental máximo em esteira.

	Controle	Placebo	15 J	30 J	60 J
VO <sub>2MAX</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	48,36±4,85	48,79±5,04	48,75±4,65	48,61±4,64	48,94±5,52
FC <sub>MAX</sub> (bpm)	187,83±8,75	187,97±7,10	187,10±6,87	188,62±5,99	186,02±7,39
vIAT (km·h <sup>-1</sup> )	12,25±1,59	12,77±1,58	12,86±1,47	12,73±1,6 2	12,54±1,78
VO <sub>2</sub> IAT (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40,94±4,74	41,96±5,34	41,88±4,66	40,95±4,37	40,80±6,03
[Lac] <sub>pico</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	11,78±3,08	10,88±3,11	10,92±2,53	10,80±2,98	10,74±2,42
vVO <sub>2MAX</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	14,67±1,23	14,73±1,62	14,93±1,33	15,20±1,47* <sup>§</sup>	15,07±1,44*
PV (km·h <sup>-1</sup> )	15,53±1,47	15,67±1,52*	15,89±1,51* <sup>§</sup>	15,91±1,36* <sup>§</sup>	15,80±1,32*
TTE (s)	1174±265	1202±273*	1240±272* <sup>§</sup>	1245±244* <sup>§</sup>	1224±237*
DT (km)	4,16±1,24	4,34±1,26*	4,52±1,28* <sup>§</sup>	4,53±1,14* <sup>§</sup>	4,43±1,10*

VO<sub>2MAX</sub> = consumo máximo de oxigênio; vVO<sub>2MAX</sub> = velocidade associada ao VO<sub>2MAX</sub>; FC<sub>MAX</sub> = frequência cardíaca máxima; vIAT = velocidade no limiar anaeróbio individual; VO<sub>2</sub>IAT = consumo de oxigênio relacionado ao limiar anaeróbio individual; PV = pico de velocidade; [Lac]<sub>pico</sub> = pico concentração de lactato sanguíneo; TTE = tempo total de exaustão; DT = distância total percorrida no teste incremental máximo de corrida. \* diferença em comparação ao controle (p<0,05); <sup>§</sup> diferença em comparação ao placebo (p<0,05).

Figura 4 ó Efeitos da PBMT com três diferentes doses (15, 30 e 60 J por ponto) nas variáveis de economia de corrida (EC), concentração de lactato ([Lac]), percepção subjetiva de esforço (PSE), limiar anaeróbio individual (IAT), consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), pico da concentração de lactato sanguíneo ( $[Lac]_{pico}$ ), velocidade associada ao  $VO_{2MAX}$  ( $vVO_{2MAX}$ ), pico de velocidade (PV), tempo total de exaustão (TTE) e distância total percorrida no teste incremental (DT). Todas as doses de PBMT foram comparadas com a condição placebo.



## Discussão

O objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos ergogênicos da PBMT com diferentes doses de energia em parâmetros fisiológicos e de desempenho durante testes de corrida. Este é o primeiro estudo a reportar os efeitos de dose-reposta da PBMT em eventos de corrida. O principal achado deste estudo foi que todas as doses de PBMT testadas (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação) melhoraram algumas variáveis fisiológicas e de desempenho quando comparados com a condição placebo, assim, parece que todas as doses estão dentro de uma janela ergogênica da PBMT. Entretanto, a dose de 30 J por ponto de aplicação apresentou os maiores efeitos ergogênicos nos corredores testados, sugerindo uma típica dose-resposta bifásica.

De acordo com o desenho do estudo, a condição controle foi sempre realizada na primeira sessão de avaliação, e um efeito de familiarização não pode ser excluído para as sessões subsequentes. Este desenho de estudo pode explicar os piores resultados encontrados na condição controle quando comparado com a condição placebo. Desta forma, comparações entre as condições PBMT e placebo com a condição controle foram apresentadas apenas na seção de resultados, e não foram consideradas na discussão do presente estudo. Esta seção focou em comparar as doses de energia da PBMT com o placebo.

A EC é comumente medida pelo estado estável do  $\text{VO}_2$  em determinada velocidade (SAUNDERS et al., 2004), e pode ser considerada como um fator crítico para o sucesso em eventos de corrida (JONES, 2006; SAUNDERS et al., 2010). Diversas estratégias foram testadas para melhorar a EC, incluindo diferentes regimes de treinamento (i.e., treino contínuo, treino de força e treino intervalado de alta intensidade), alongamento, intervenções nutricionais e exposição à altitude (BARNES; KILDING, 2015). O treinamento é considerado a melhor estratégia para aprimorar a EC em corredores recreacionais (melhoras na EC de ~2,45% com o treino intervalado de alta intensidade, ~6,6% com treino de força em conjunto com o treino de *endurance* e ~3,0% com treino pliométrico em conjunto com o treino de *endurance*) (BARNES; KILDING, 2015). Os efeitos da PBMT na EC são reportados pela primeira vez no presente estudo, e interessante, os achados evidenciam que uma única aplicação de PBMT imediatamente antes do exercício melhorou a EC nas velocidades de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (~2,3%) e  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (~3,3%), com efeitos *provavelmente benéficos* em ambas as velocidades quando a PBMT foi aplicada com dose de 30 J por ponto. Este efeito ergogênico instantâneo

pode chamar a atenção de cientistas, treinadores e atletas, especialmente devido a PBMT não ser considerada como *doping*.

A percepção de esforço pode ser definida como a intensidade de esforço subjetivo e/ou fadiga durante o exercício físico (NOBLE; ROBERTSON, 1996), e ainda, a PSE é uma ferramenta muito utilizada para quantificar a percepção de esforço individual durante os testes de corrida (COQUART et al., 2014; MCLAUGHLIN et al., 2010). Índices relacionados com a [Lac] são considerados determinantes do desempenho de corrida, e comumente analisados em testes de campo e laboratório (BILLAT, 1996; MIDGLEY et al., 2007). Estudos prévios envolvendo a aplicação da PBMT antes de eventos de corrida não avaliaram a PSE e [Lac] durante corrida submáxima (DE MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2015a; MIRANDA et al., 2016), assim impossibilitando comparações com os resultados deste estudo. No presente estudo, o teste de hipótese nula forneceu resultados contraditórios para os efeitos da PBMT na PSE e [Lac] (Tabela 2). Em contrapartida, a análise de inferência qualitativa sugere que a PBMT apresenta efeitos *provavelmente* ou *possivelmente benéficos* em comparação com a condição placebo em todos os resultados do teste de corrida submáximo (Figura 3). Portanto, a PBMT foi capaz de aprimorar parâmetros fisiológicos (PSE e [Lac]) relacionados ao desempenho de corredores, especialmente quando aplicada com dose de 30 J por ponto.

Em testes incrementais máximos, estudos prévios têm apresentado achados contraditórios com relação ao efeito da PBMT no  $VO_{2MAX}$  (DE MARCHI et al., 2012; MIRANDA et al., 2016). De Marchi et al. (2012) avaliaram homens ativos com valores de  $VO_{2MAX}$  similares ao dos corredores avaliados no presente estudo ( $\sim 48 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e usaram um protocolo de aplicação da PBMT similar (12 pontos de aplicação em cada perna, com 30 J por ponto). De maneira interessante, a PBMT melhorou o  $VO_{2MAX}$  no estudo de De Marchi et al., (2012), mas não melhorou o  $VO_{2MAX}$  dos sujeitos avaliados por Miranda et al. (2016) ou dos corredores do presente estudo (efeito *provavelmente trivial* para todas as doses da PBMT). Assim, estudos que avaliaram homens fisicamente ativos têm demonstrado que o aumento no  $VO_{2MAX}$  usualmente requer quatro a oito semanas de treinamento aeróbio (SCRIBBANS et al., 2016). E ainda, embora aumentos no  $VO_{2MAX}$  sejam dependentes de adaptações centrais e periféricas (BASSETT; HOWLEY, 2000), a PBMT pode estar relacionada somente com adaptações musculares, ou seja, periféricas.

O teste de hipótese nula forneceu resultados contraditórios com relação aos efeitos da PBMT nos parâmetros de desempenho durante o

teste incremental máximo ( $vVO_{2MAX}$ ,  $vIAT$ ,  $VO_{2IAT}$ , PV, TTE e DT), no entanto, a dose de 30 J por ponto foi novamente o tratamento capaz de melhorar a maioria destes parâmetros quando comparado com o placebo. Deste modo, corredores tratados com 30 J por ponto tiveram um aumento na tolerância do exercício de 43 s (~3,4%), corroborando com achados anteriores que observaram aumentos de 14 s (DE MARCHI et al., 2012) e 38 s (MIRANDA et al., 2016). Além do mais, efeitos *possivelmente benéficos* foram observados para a  $vVO_{2MAX}$  a favor da PBMT com 30 J por ponto, assim sugerindo uma clara vantagem para corredores de média distância (por exemplo, corridas de 800 e 1500 m).

O presente estudo não fornece evidência direta dos mecanismos da PBMT responsáveis pela melhora dos parâmetros fisiológicos e de desempenho. Por outro lado, a interação do feixe de luz com o tecido biológico envolve a absorção de fótons por cromóforos endógenos e consequente transdução de energia luminosa em energia química na membrana ou organelas citoplasmáticas (REDDY, 2004). Assim, melhoras nos parâmetros fisiológicos e de desempenho por meio da PBMT aplicada imediatamente antes do exercício provavelmente está relacionado às mudanças metabólicas na mitocôndria. Uma vez que mudanças fotoquímicas aumentam o potencial da membrana mitocondrial e a atividade enzimática de todos os complexos da cadeia respiratória (FERRARESI et al., 2012; HUANG et al., 2011; KARU, 2010), especialmente o complexo IV (citocromo c oxidase), assim aumentando a síntese de ATP (MANTEIFEL; KARU, 2005). Além disso, a PBMT melhora o transporte sanguíneo e entrega de oxigênio para as células musculares por meio do aumento da vasodilatação, microcirculação e perfusão tecidual (KLEBANOV et al., 2001; MAK; CHEING, 2012). Estas respostas sugerem uma maior eficiência na síntese de ATP por meio dos metabolismos aeróbio e anaeróbio alático durante exercícios com intensidades onde não ocorre o componente lento do  $VO_2$  (FERRARESI et al., 2015a; HEPPLER, 2002). Adicionalmente, exercícios de alta intensidade (intensidades próximas do PV) acarretam em acúmulo de íons de fosfato inorgânico, ADP e  $H^+$ , no qual contribuem para o processo de fadiga muscular (AMENT; VERKERKE, 2009). Portanto, a PBMT poderia aumentar a razão ATP/ADP, e consequentemente reduzir o processo de fadiga, assim este efeito pode estar associado com o aumento da atividade mitocondrial e a melhor ressíntese de fosfocreatina pelo modelo de lançadeira de creatina (*öcreatine shuttleö*) da mitocôndria (FERRARESI et al., 2012; TONKONOIGI; SALTIN, 2002).

Embora diversos estudos demonstrarem efeitos ergogênicos da PBMT aplicada imediatamente antes de diferentes modos de exercício (BARONI et al., 2010b; DE MARCHI et al., 2012; FERRARESI et al., 2015a; LEAL JUNIOR et al., 2009d; LEAL JUNIOR et al., 2015; MIRANDA et al., 2016; ROSSATO et al., 2016), os parâmetros de irradiação ótimos para maximizar o efeito da PBMT para exercícios resistidos, bem como para exercícios aeróbios de intensidade moderada e alta ainda não são claros. O melhor tempo-resposta para a aplicação da PBMT tem sido debatido. Deste modo, Ferraresi et al., (2015b) observaram que ratos irradiados com PBMT seis horas antes de um teste de fadiga (subir escadas) apresentaram aumentos nas concentrações de ATP intramuscular e melhora no desempenho do teste. Paolillo et al. (2011) aplicaram a PBMT em mulheres na pós-menopausa durante um teste em esteira, os autores demonstraram que a PBMT foi capaz de retardar a fadiga no teste, entretanto, esta abordagem é impraticável fora do laboratório, sendo de difícil aplicação durante a corrida. Portanto, a PBMT aplicada imediatamente antes do exercício parece ser a técnica mais aplicada e com resultados benéficos encontrados em diversos estudos (LEAL JUNIOR et al., 2015).

Todas as doses testadas no presente estudo parecem estar dentro da janela terapêutica, no entanto, os achados recomendam a PBMT aplicada com 30 J por ponto (28 pontos, com dose total de 840 J) como a mais efetiva para os corredores avaliados. Levando em consideração que 40% dos participantes receberam 30 J por ponto na última sessão, os melhores resultados encontrados para esta dose poderiam ser parcialmente explicados por mudanças estruturais da mitocôndria ou efeito de treino. Estas hipóteses não foram confirmadas, uma vez que o melhor desempenho dos corredores também ocorreu com maior frequência durante a segunda sessão (Tabela 1). Portanto, os resultados benéficos para os parâmetros de corrida encontrados no presente estudo são possivelmente explicados pelas mudanças metabólicas na mitocôndria acarretadas pela ação imediata da PBMT. Como limitação do presente estudo, pode ser destacado o nível competitivo dos corredores (recreacional). Pesquisas futuras devem buscar investigar os efeitos ergogênicos da PBMT em corredores altamente treinados, bem como avaliar outras questões como tempo de aplicação da PBMT antes da corrida (FERRARESI et al., 2015a) e o efeito de diferentes fontes de luz no desempenho de corrida (DE MARCHI et al., 2017). Vale ressaltar que o entendimento dos parâmetros ótimos de irradiação é imperativo para fornecer uma diretriz da PBMT como recurso ergogênico durante eventos de corrida.

## **Conclusão**

Todas as doses testadas no presente estudo (15, 30 e 60 J por ponto) demonstraram efeitos *possivelmente benéficos* em comparação ao placebo para os parâmetros fisiológicos e de desempenho durante testes de corrida submáximos e máximos. No entanto, a dose de 30 J por ponto (dose total de 840 J) foi a mais efetiva para os corredores avaliados, evidenciando assim uma típica dose resposta bifásica da PBMT.

## **Aplicações práticas**

Nossos achados confirmam os efeitos positivos da PBMT durante a corrida. Entretanto, os resultados do presente estudo sugerem que a PBMT aplicada com 30 J por ponto (28 pontos, com dose total de 840 J por indivíduo) é a melhor dose para aprimorar parâmetros fisiológicos e de desempenho em corredores recreacionais. Levando em consideração os aspectos de treinamento, corredores recreacionais podem utilizar a PBMT (com dose por ponto de 30 J) como uma estratégia de pré-condicionamento para melhorar o desempenho em sessões de corrida submáximas e máximas.



### 3.1.2 Artigo 2 ó PBMT e economia neuromuscular

#### EFEITO DOSE-RESPOSTA DA TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO NA ECONOMIA NEUROMUSCULAR DURANTE CORRIDA SUBMÁXIMA\*

##### Resumo

O objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da terapia com fotobiomodulação (PBMT) com diferentes doses de energia na economia neuromuscular durante corridas submáximas. Dezoito corredores recreacionais do sexo masculino participaram de um estudo randomizado, duplo-cego e placebo-controlado, sendo que cada participante foi submetido ao mesmo protocolo de avaliação em cinco diferentes condições: controle, placebo e PBMT com doses de 15, 30 e 60 J por ponto de aplicação (14 pontos em cada membro inferior). Os participantes realizaram duas corridas submáximas nas velocidades de 8 e 9 km·h<sup>-1</sup>, no qual permaneceram 5 min em cada velocidade. A ativação muscular dos músculos *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM), *rectus femoris* (RF), *biceps femoris* (BF) e *gastrocnemius lateralis* (GL) foi coletada sempre no último minuto de cada velocidade de corrida. O *root mean square* (RMS) foi normalizado pela contração isométrica voluntária máxima (CIVM) realizada no teste no dinamômetro isocinético antes das corridas. A soma do RMS de todos os músculos (RMS<sub>PERNA</sub>) foi considerada como o principal parâmetro de economia neuromuscular. As aplicações da PBMT com doses de 15, 30 e 60 J por ponto [33 diodos = 5 lasers (850 nm), 12 LEDs (670 nm), 8 LEDs (880 nm) e 8 LEDs (950 nm)] ou placebo, ocorreram antes dos testes. Com relação à análise estatística, foram calculados os tamanhos de efeito, e também, foi utilizada a inferência qualitativa para determinar a magnitude de diferenças entre as condições. O pico de torque e RMS durante as CIVMs apresentaram pequenos tamanhos de efeito. De acordo com a inferência baseada na magnitude, PBMT com dose de 15 J por ponto apresentou *possíveis e prováveis benefícios* na economia neuromuscular durante as corridas nas velocidades de 8 e 9 km·h<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, PBMT com doses de 30 e 60 J por ponto apresentaram *possíveis benefícios* na economia neuromuscular somente na velocidade de 9 km·h<sup>-1</sup>. Em conclusão, PBMT melhora a economia neuromuscular e a melhor dose testada foi de 15 J por ponto (dose total de 420 J).

**Palavras-chave:** Laserterapia de baixa potência; Terapia com diodos emissores de luz; Eletromiografia; Recurso ergogênico.

---

\* Artigo publicado no periódico *Lasers in Medical Science* (Anexo II) Citação: Dellagrana RA, Rossato M, Sakugawa RL, Lazzari CD, Baroni BM, Diefenthaler F. Dose-response effect of photobiomodulation therapy on neuromuscular economy during submaximal running. *Laser Med Sci* 33(2): 329-336, 2018.

## Introdução

Vários estudos têm investigado o efeito da terapia com fotobiomodulação (PBMT) aplicada previamente ao exercício físico, no desempenho muscular e na capacidade de postergar a fadiga (LEAL JUNIOR et al., 2015). Desta forma, os efeitos da PBMT parecem estar associados com a absorção da luz por fotorreceptores mitocondriais específicos, no qual podem provocar mudanças metabólicas e estruturais na mitocôndria (MANTEIFEL; KARU, 2005), e ainda, podem aumentar a atividade da cadeia respiratória mitocondrial, consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e a síntese de ATP (MANTEIFEL; KARU, 2005; ORON et al., 2007). Levando em consideração estes efeitos, a PBMT pode também fornecer uma modulação positiva dos canais de cálcio ( $Ca^{2+}$ ), melhora na formação de pontes cruzadas e aumento da atividade da bomba de sódio ( $Na^+$ ) e potássio ( $K^+$ ) por meio da redução do excesso de  $K^+$  extracelular, assim garantindo a despolarização das fibras musculares em exercícios contínuos (FERRARESI et al., 2012).

Alguns estudos com seres humanos têm demonstrado efeitos positivos da PBMT em parâmetros relacionados à ativação muscular (KELENCZ et al., 2010; LANFERDINI et al., 2017a; MIRANDA et al., 2014), enquanto outros estudos não encontram tais efeitos (DA SILVA ALVES et al., 2014; HIGASHI et al., 2013; MACIEL et al., 2014; ROSSATO et al., 2016; TOMA et al., 2013). Estes achados contraditórios possivelmente estão relacionados com a dose-resposta bifásica da PBMT (HUANG et al., 2011), no qual indica efeito nulo, positivo ou inibitório de acordo com a dose de energia aplicada sobre o tecido alvo (curva de Arndt-Schulz). Portanto, descobrir a dose ótima para efeitos positivos pode ser o primeiro passo para pesquisadores da área, uma vez que grande parte dos estudos que buscam analisar os efeitos da PBMT em parâmetros eletromiográficos (EMG) utiliza apenas uma dose de energia (KELENCZ et al., 2010; MIRANDA et al., 2014; ROSSATO et al., 2016). Em contrapartida, estudo recente

analisou o efeito da PBMT aplicada previamente a um teste em cicloergômetro com diferentes doses (15, 30 e 45 J por ponto de aplicação), demonstrando que a energia entregue ao músculo pode afetar a ativação muscular durante o exercício (LANFERDINI et al., 2017a).

Estudos prévios envolvendo o efeito da PBMT na ativação muscular, frequentemente têm usado protocolos de contração muscular até a fadiga ou protocolos de esforço máximo (LANFERDINI et al., 2017a; MACIEL et al., 2014; ROSSATO et al., 2016), uma vez que parâmetros de EMG como *root mean square* (RMS) e mediana da frequência são usados para avaliar fatores relacionados a fadiga neuromuscular (CAMIC et al., 2015; CROZARA et al., 2015). Levando em consideração a corrida, no entanto, estudo de revisão demonstrou que a habilidade de se mover com eficiência é o principal atributo para obter sucesso nesta modalidade (FOSTER; LUCIA, 2007). Esta eficiência tradicionalmente é avaliada por meio do  $VO_2$  em velocidade de corrida constante, sendo definida como economia de corrida (SAUNDERS et al., 2004). Entretanto, outra variável que pode ser expressa como eficiência de movimento durante a corrida, é a economia neuromuscular, esta que foi definida como menor ativação muscular (avaliada pela amplitude do sinal EMG) necessária para realizar uma mesma carga absoluta (CADORE et al., 2011).

Vale ressaltar que nenhum estudo prévio investigou o efeito dose-resposta da PBMT na ativação muscular durante corridas submáximas. Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da PBMT com três diferentes doses de energia (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação) na economia neuromuscular durante corridas submáximas. A principal hipótese é baseada em estudos anteriores com ciclistas (LANFERDINI et al., 2017a), em que a dose de 15 J por ponto seria a melhor para aprimorar a economia neuromuscular na corrida.

## **Métodos**

### **Participantes**

Participaram do estudo 18 corredores recreacionais do sexo masculino ( $27,0 \pm 4,7$  anos;  $178,8 \pm 5,5$  cm;  $76,2 \pm 7,2$  kg). Os critérios de inclusão adotados foram: 1) faixa etária entre 18 e 35 anos; 2) rotina de treinamento de 2 a 5 sessões por semana, nos últimos quatro meses; 3) disponibilidade para completar todas as visitas no laboratório. Os indivíduos com histórico de lesões nos membros inferiores nos últimos 2 meses antes da coleta de dados, foram excluídos do estudo. O tamanho da amostra foi determinado com base em estudos anteriores conduzidos

com seres humanos, que envolviam os efeitos da PBMT em parâmetros de EMG, no qual foram observadas amostras variando de 10 a 18 indivíduos (DA SILVA ALVES et al., 2014; MACIEL et al., 2014; MIRANDA et al., 2014; ROSSATO et al., 2016). O fluxograma descrevendo as fases do estudo é apresentado na figura 5. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CAAE: 61599116.1.0000.0121).

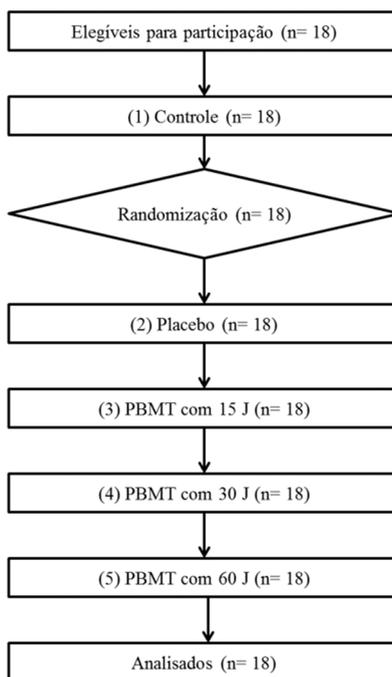
### Desenho experimental

O presente estudo pode ser classificado como *crossover*, randomizado, duplo-cego e com placebo-controlado. Os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo de avaliação em cinco diferentes condições: 1) Controle; 2) Placebo; 3) PBMT aplicada com 15 J por ponto (dose total = 420 J); 4) PBMT aplicada com 30 J por ponto (dose total = 840 J); e 5) PBMT aplicada com 60 J por ponto (dose total = 1680 J). Na primeira visita ao laboratório, os participantes sempre executaram a condição controle, enquanto os outros tratamentos (placebo e PBMT com 15, 30 e 60 J) foram randomizados. Vale ressaltar que os pesquisadores responsáveis pela administração dos testes de corrida, não sabiam qual tratamento o indivíduo recebeu antes dos testes. Um pesquisador ficou responsável pela randomização dos tratamentos, sendo que o mesmo foi instruído para não informar os participantes ou outro pesquisador com relação ao tratamento aplicado em cada visita ao laboratório. Além disso, os participantes vestiam óculos opacos para proteção e para bloquear a visão durante a aplicação do tratamento, uma vez que a aplicação da PBMT não causa nenhum estímulo sensitivo (por exemplo; calor, frio, coceira, irritação da pele e dor).

### Procedimentos

Os protocolos de avaliação foram realizados no mesmo horário em cinco dias diferentes, com intervalo de no máximo uma semana entre os testes. Foi pedido aos participantes que evitassem exercícios físicos vigorosos, ingestão de álcool e/ou cafeína, 24 horas antes dos testes. Durante todas as condições, os participantes foram submetidos a: 1) Aplicação da PBMT ou placebo (exceto na condição controle o primeiro dia); 2) teste no dinamômetro isocinético; 3) teste de corridas submáximas. Os dados de EMG foram coletados durante os testes no dinamômetro isocinético e esteira (corrida).

Figura 5 ó Desenho do estudo.



#### Aplicação da PBMT ou placebo

PBMT e placebo foram aplicados por meio de um equipamento de fototerapia multidiodos (Chatanooga Intellect Mobile Laser 2779, Chatanooga Group, Guildford Surrey, UK). PBMT ou placebo foram realizados nos membros inferiores direito e esquerdo imediatamente antes dos testes. Os tratamentos foram aplicados em 14 pontos de cada membro inferior, sendo: oito pontos no *quadriceps*, quatro pontos nos *isquitibiales* e dois pontos no *gastrocnemius* (Figura 6). O placebo foi aplicado exatamente da mesma forma do que a PBMT, no entanto, com o equipamento desligado. Considerando que o tempo de aplicação por ponto é diferente dependendo da dose aplicada, o cluster permaneceu em contato com a pele por 64 s (tempo de aplicação da PBMT com 60 J) em todas as condições.

Figura 6 ó Parâmetro e pontos (círculos pretos nos músculos) de aplicação da terapia com fotobiomodulação.

<b>LASERs (850nm)</b>				
Número de diodos	5			
Potência (mW)	100			
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )	0,06			
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )	1666,6			
Frequência	Contínuo			
Dose (J)	1,6; 3,2 ou 6,4			
<b>LEDs (670nm)</b>				
Número de diodos	12			
Potência (mW)	10			
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )	1,92			
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )	5,20			
Frequência	Contínuo			
Dose (J)	0,15; 0,30 ou 0,60			
<b>LEDs (880nm)</b>				
Número de diodos	8			
Potência (mW)	25			
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )	1,28			
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )	19,53			
Frequência	Contínuo			
Dose (J)	0,40; 0,80 ou 1,60			
<b>LEDs (950nm)</b>				
Número de diodos	8			
Potência (mW)	15			
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )	1,28			
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )	11,71			
Frequência	Contínuo			
Dose (J)	0,25; 0,50 ou 1,00			
<b>Tamanho do cluster (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>30,2</b>			
<b>Número de pontos</b>	<b>28</b>			
<b>Tempo de tratamento por ponto (s)</b>	<b>16; 32 ou 64</b>			
<b>Dose por ponto (J)</b>	<b>15; 30 ou 60</b>			
<b>Dose total (J)</b>	<b>420; 840 ou 1680</b>			



### Dinamômetro isocinético

Os participantes foram posicionados sentados na cadeira do dinamômetro com aproximadamente 85° de flexão do quadril. O eixo mecânico do aparelho foi alinhado com o epicôndilo lateral do fêmur, em seguida, os participantes foram fixados firmemente à cadeira do aparelho, com cintos na região do tronco, quadril e coxa. Para fins de reprodutibilidade das medidas, foram anotadas as dimensões da cadeira, do trilho e do braço de alavanca do dinamômetro. Inicialmente os participantes realizaram um aquecimento composto por 20 repetições envolvendo contrações concêntricas para flexores e extensores de joelho a uma velocidade de 120°·s<sup>-1</sup>. Após o aquecimento, todos os participantes realizaram uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM) de extensão e flexão de joelho, com duração de 5 s e ângulo formado pelo segmento coxa-perna próximo a 70° (0° = extensão total do joelho). Em seguida, os participantes foram posicionados sentados com o pé direito fixado na prancha de fixação para o pé, quadril e joelho flexionados a aproximadamente 80° e 30°, respectivamente. O eixo mecânico do aparelho foi alinhado com o maléolo lateral. CIVM de

flexores plantares foi avaliada a  $0^\circ$ , considerada como posição neutra, que foi determinada como aquela onde o ângulo formado entre a planta do pé e a linha da perna era igual a  $90^\circ$ . O teste foi realizado apenas no membro inferior direito.

#### Corrida submáxima

O teste de corrida foi administrado em uma esteira rolante (Imbramed Millenium Super ATL, modelo 10200, Porto Alegre, Brasil). Os participantes realizaram um aquecimento caminhando durante 5 min com velocidade de  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Em seguida, os indivíduos correram com inclinação da esteira de 1% em duas diferentes velocidades ( $8$  e  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) durante 5 min em cada, e com intervalo de 1 min entre as intensidades. Estas velocidades foram escolhidas de acordo com estudo prévio que avaliou corredores recreacionais (ACHE-DIAS et al., 2016), e também, com intuito de reduzir o desenvolvimento do componente lento do  $\text{VO}_2$  (BARNES; KILDING, 2015). Além do mais, pode-se destacar que durante as corridas os participantes não excederam 70% da frequência cardíaca máxima e 13 pontos da escala de percepção de esforço.

#### Coleta e análise da ativação muscular

A ativação muscular foi avaliada por meio de um eletromiógrafo de superfície de oito canais (Trigno Wireless EMG, Delsys, Inc., Natick, Massachusetts, USA) com frequência de amostragem de 2000 Hz (ganho = 1000x) por canal. Foram avaliados os músculos *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM), *rectus femoris* (RF), *biceps femoris* (BF) e *gastrocnemius lateralis* (GL) do membro inferior direito durante o quarto e o quinto minuto das corridas submáximas ( $8$  e  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Os eletrodos foram colocados no ventre do músculo de acordo com as técnicas descritas pela SENIAM (*Surface electromyography for non-invasive assessment of muscles*) (HERMENS et al., 1999). Anteriormente à colocação dos eletrodos, a impedância elétrica da pele foi reduzida mediante a tricotomia e a limpeza da pele com álcool, a fim de remover as células mortas e a oleosidade da pele no local do posicionamento dos eletrodos. Além disso, uma caneta dermatológica foi utilizada com intuito de garantir que os eletrodos permaneceram no mesmo local durante todas as condições.

Os sinais de EMG foram processados matematicamente por meio de uma rotina em MATLAB®7.1 (Math Works Inc., Natick, MA, USA). Os sinais brutos da EMG extraídos das contrações dinâmicas do modelo experimental, ou seja, corridas a  $8$  e  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  foram filtrados por

meio de um filtro digital recursivo passa-banda, com frequência de corte de 20-500 Hz, do tipo *Butterworth* de quinta ordem. Após a filtragem foram calculados os valores *root mean square* (RMS) de cada músculo durante o minuto final de cada velocidade submáxima, e normalizado pelos valores das CIVMs obtidas no protocolo no dinamômetro isocinético. Além disso, a soma dos valores de RMS (VL + RF + VM + BF + GL) foi realizada para representar o valor RMS de todo o membro inferior (RMS<sub>PERNA</sub>).

### Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas foi utilizada para identificar o *partial eta square* ( $\eta^2$ ) na comparação dos parâmetros das CIVMs (torque e EMG) realizadas no dinamômetro isocinético. Em seguida, o  $\eta^2$  foi utilizado para calcular o tamanho do efeito (TE). O poder estatístico foi calculado pelo programa G\*Power 3.1.7 (University of Kiel, Kiel, Germany). Para as corridas submáximas, a magnitude de diferença entre placebo e as doses da PBMT (15, 30 e 60 J) foi calculada. O critério de Cohen para análise do tamanho do efeito foi adotado ( $>0,2$  = efeito pequeno;  $>0,5$  = efeito moderado;  $>0,8$  = efeito grande). Para as chances de mudanças reais benéficas ou prejudiciais foi considerada diferença maior do que a menor mudança válida (0,2 multiplicado pelo desvio-padrão entre os participantes), além disso, as mudanças triviais também foram determinadas. As chances quantitativas de um efeito benéfico ou prejudicial foram avaliadas como qualitativas considerando:  $<5\%$  = muito improvável; 5-25% = improvável; 25-75% = possível; 75-95% = provável;  $>95\%$  = muito provável. Se as chances de efeito benéfico ou prejudicial foram ambos  $>5\%$  as diferenças reais foram consideradas incertas (não está claro) (BATTERHAM; HOPKINS, 2006).

### Resultados

A tabela 4 demonstra os valores de média e desvio padrão do pico de torque e RMS durante as CIVMs de flexores-extensores de joelho e flexores plantares. Para todas as variáveis o TE foi pequeno e o poder estatístico entre 0,57 e 0,95. O RMS normalizado pela CIVM durante as corridas submáximas (8 e 9 km·h<sup>-1</sup>) é apresentado na tabela 5.

Para a corrida com velocidade 8 km·h<sup>-1</sup>, foi observado *possível benefício* para o RMS do VL quando PBMT foi aplicada com 15, 30 ou 60 J por ponto. Entretanto, somente PBMT aplicada com 15 J por ponto apresentou *possível benefício* para o RMS<sub>PERNA</sub>. Com relação a corrida

na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , PBMT com 15 J por ponto teve efeito *possivelmente benéfico* para o RMS dos músculos VL, RF e GL, além de apresentar efeito *provavelmente benéfico* para  $\text{RMS}_{\text{PERNA}}$ . Enquanto PBMT com 30 e 60 J apresentaram efeito *possivelmente benéfico* para RMS dos músculos VL, RF, BF e para toda a perna ( $\text{RMS}_{\text{PERNA}}$ ) (Figura 7).

Tabela 4 ó Média e desvio padrão dos valores de pico de torque e ativação muscular durante as contrações isométricas voluntárias máximas para extensores (EXT) e flexores (FLEX) de joelho, e flexores plantares (PFLEX) em todas as condições avaliadas.

	<b>Controle</b>	<b>Placebo</b>	<b>15 J</b>	<b>30 J</b>	<b>60 J</b>	<b>TE (Classificação)</b>
<b>Torque (N·m)</b>						
<b>EXT</b>	225,4±44,0	226,2±45,7	218,2±38,8	216,0±41,1	224,0±44,8	0,18 (Trivial)
<b>FLEX</b>	108,9±22,5	104,7±24,7	102,0±28,4	106,7±33,3	103,2±19,1	0,24 (Pequeno)
<b>PFLEX</b>	215,5±60,5	201,9±49,6	209,7±50,0	212,0±54,3	215,9±46,0	0,34 (Pequeno)
<b>EMG (µV)</b>						
<b>RMS<sub>VM</sub></b>	137,4±54,8	135,4±63,3	132,7±66,9	127,2±68,5	127,4±61,6	0,12 (Trivial)
<b>RMS<sub>VL</sub></b>	294,6±135,7	274,6±150,2	302,9±173,2	269,6±125,1	254,3±121,1	0,28 (Pequeno)
<b>RMS<sub>RF</sub></b>	118,0±53,8	114,3±52,5	112,6±42,9	111,9±43,5	116,3±46,9	0,08 (Trivial)
<b>RMS<sub>BF</sub></b>	146,5±71,9	131,4±81,8	126,9±87,2	135,4±74,7	137,6±79,8	0,13 (Trivial)
<b>RMS<sub>GL</sub></b>	266,6±86,1	300,6±165,6	298,9±97,2	287,7±126,4	285,4±125,4	0,15 (Trivial)
<b>RMS<sub>PERNA</sub></b>	963,1±216,5	956,3±370,7	973,9±314,6	931,9±304,1	920,9±274,1	0,16 (Trivial)

TE = tamanho do efeito.

Tabela 5 ó Média e desvio padrão do RMS normalizado pela contração isométrica voluntária máxima (%CIVM) durante as corridas submáximas (8 e 9 km·h<sup>-1</sup>) para os músculos *vastus medialis* (VM), *vastus lateralis* (VL), *rectus femoris* (RF), *biceps femoris* (BF), *gastrocnemius lateralis* (GL) e a soma destes músculos (PERNA).

		Corrida submáxima (8 km·h <sup>-1</sup> )				
		Controle	Placebo	15 J	30 J	60 J
%CIVM	RMS <sub>VM</sub>	57,1±49,2	54,8±29,9	60,5±32,2	57,6±28,3	55,8±28,1
	RMS <sub>VL</sub>	26,8±12,2	32,3±18,1	28,1±16,3	28,9±13,5	29,4±9,1
	RMS <sub>RF</sub>	20,7±14,9	24,7±15,3	26,0±9,9	27,5±13,5	28,4±18,9
	RMS <sub>BF</sub>	29,1±19,8	34,9±21,2	40,5±30,2	34,9±32,4	33,2±22,6
	RMS <sub>GL</sub>	29,1±26,2	25,3±19,3	24,4±25,1	27,1±24,8	26,9±30,7
	RMS <sub>PERNA</sub>	26,9±6,6	28,9±11,3	27,3±9,5	28,8±11,5	28,5±9,9
		Corrida submáxima (9 km·h <sup>-1</sup> )				
%CIVM	RMS <sub>VM</sub>	56,2±36,9	54,6±26,9	53,5±27,5	56,8±21,6	53,4±21,7
	RMS <sub>VL</sub>	28,7±16,2	33,3±19,1	28,0±17,2	30,4±14,5	28,7±10,4
	RMS <sub>RF</sub>	30,8±30,9	26,3±12,6	21,6±6,8	23,9±12,8	22,8±11,6
	RMS <sub>BF</sub>	29,5±22,3	37,7±40,7	37,2±27,0	29,6±24,3	28,2±13,4
	RMS <sub>GL</sub>	27,6±24,8	25,7±17,3	22,9±20,8	26,1±20,9	26,5±26,7
	RMS <sub>PERNA</sub>	26,8±7,5	29,9±12,9	25,6±8,8	27,8±9,7	27,1±8,2

Figura 7 ó Efeito da PBMT com três diferentes doses (15, 30 e 60 J por ponto), no RMS de cinco músculos (*vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rectus femoris*, *biceps femoris* e *gastrocnemius lateralis*) e na soma destes músculos durante corridas com velocidades de 8 e 9 km.h<sup>-1</sup>. Todas as doses de PBMT foram comparadas com o placebo.

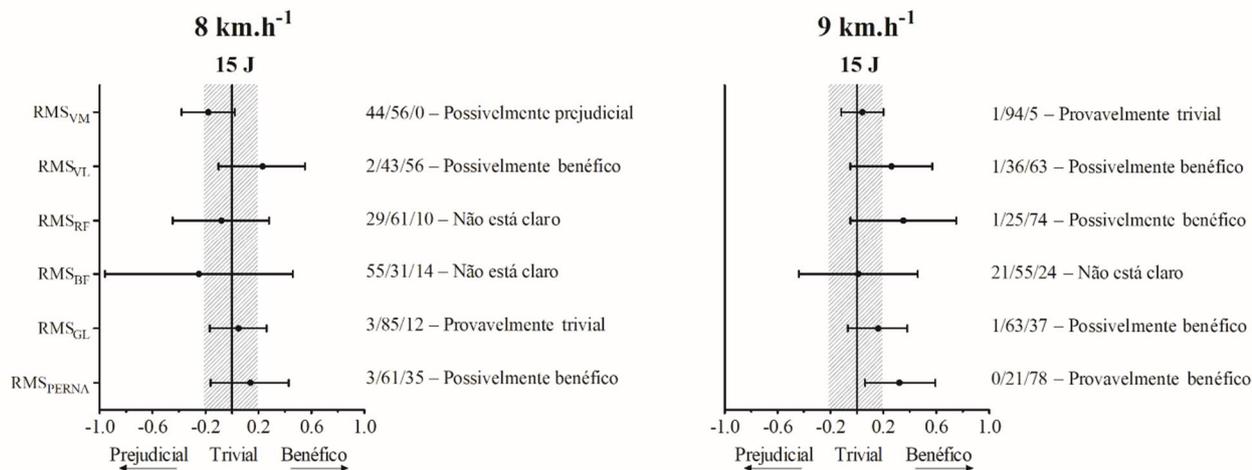


Figura 7 ó (Continuação).

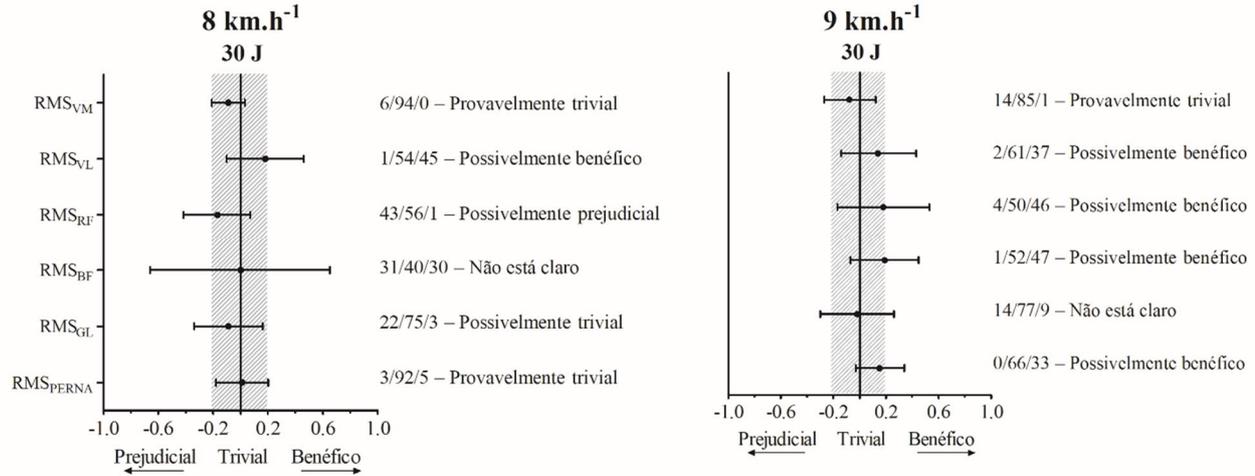
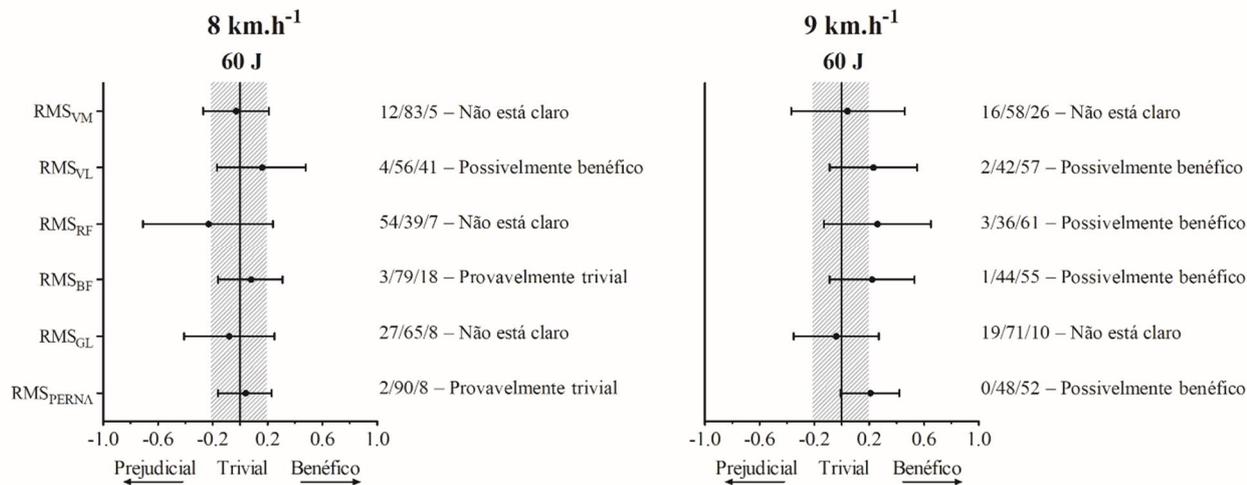


Figura 7 ó (Continuação).



## Discussão

O presente estudo é o primeiro a demonstrar os efeitos da PBMT com diferentes doses de energia (15, 30 e 60 J por ponto) na economia neuromuscular durante a corrida. De acordo com os achados, diferentes doses de PBMT podem fornecer efeitos distintos na ativação muscular durante corridas submáximas, corroborando com o efeito de dose-resposta bifásica da PBMT, uma vez que a dose de 15 J por ponto parece ser a mais adequada para melhorar a economia neuromuscular em corredores recreacionais.

No presente estudo, foi observado com a análise de EMG que a PBMT apresentou efeito *possivelmente benéfico* na economia neuromuscular do VL (8 e 9 km·h<sup>-1</sup>), RF e BF (9 km·h<sup>-1</sup>), indicando menor ativação nestes músculos com a PBMT quando comparado com o placebo (Figura 7). Uma das hipóteses foi de que a PBMT poderia ter ação especialmente nas fibras musculares do tipo I, no qual apresentam elevada quantidade de mitocôndrias e enzimas oxidativas (FERRARESI et al., 2012). No entanto, considerando os resultados do presente estudo a PBMT pode fornecer efeitos *benéficos* (menor RMS em comparação ao placebo) para músculos com predominância de fibras de contração rápida (VL e RF) e lenta (BF e GL) (JOHNSON et al., 1973). Desta forma, como perspectiva futura, estudos podem ser desenvolvidos relacionando o fenótipo das fibras musculares e a ação da PBMT.

No que se refere à análise do RMS<sub>PERNA</sub>, a PBMT com dose de 15 J por ponto apresentou efeitos *provavelmente e possivelmente benéficos* para as corridas nas velocidades de 8 e 9 km·h<sup>-1</sup>, respectivamente. Enquanto que a PBMT com doses de 30 e 60 J por ponto apresentaram efeitos *possivelmente benéficos* apenas para a corrida com velocidade de 9 km·h<sup>-1</sup>. Da mesma forma, Lanferdini et al. (2017a) analisaram três diferentes doses de energia (15, 30 e 45 J por ponto) na ativação muscular e desempenho durante teste de tempo de exaustão em ciclistas treinados. Os autores demonstraram que todas as doses de PBMT aumentaram o desempenho, por outro lado, somente a dose com 15 J por ponto (9 pontos = dose total de 135 J) aumentou a ativação na faixa de alta frequência durante o teste, indicando maior resistência a fadiga pelas fibras musculares de contração rápida. Vale ressaltar que as diferenças metodológicas como grupo muscular avaliado, protocolo de exercício e parâmetros de irradiação, dificultam comparações entre o presente estudo e pesquisas anteriores com efeito da PBMT em parâmetros de EMG (HIGASHI et al., 2013; KELENCZ

et al., 2010; LANFERDINI et al., 2017a; MACIEL et al., 2014; MIRANDA et al., 2014; ROSSATO et al., 2016; TOMA et al., 2013).

De acordo com estudos prévios, os efeitos biológicos da PBMT podem estar associados com a absorção de fótons por cromóforos endógenos e subsequente transdução da energia luminosa em energia química dentro da célula (REDDY, 2004), especialmente na mitocôndria, no qual aumentaria a taxa de ATP (KARU, 1999; SILVEIRA et al., 2009). A maior quantidade de ATP pode estar associada com a excitabilidade da fibra muscular, uma vez que a bomba de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  e a modulação dos canais de  $\text{Ca}^{2+}$  são dependentes da disponibilidade de ATP dentro da célula (ALLEN et al., 2008; FERRARESI et al., 2012). Apesar do presente estudo não demonstrar evidência direta do mecanismo da PBMT, foi observado que a PBMT apresenta efeitos *provavelmente e possivelmente benéficos* na economia neuromuscular.

Como evidenciado anteriormente, corridas com distâncias de 5000 e 10000 m são realizadas em velocidades correspondentes a 89,8 e 84,9% do pico de velocidade aeróbio, respectivamente (DELLAGRANA et al., 2015; SOUZA et al., 2011). Para os corredores do presente estudo, o principal efeito considerando todas as doses de PBMT aplicadas foi observado durante a corrida com velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (48,66% do pico de velocidade aeróbia, avaliada por meio de um teste incremental máximo, os resultados podem ser observados no estudo 1), indicando que a PBMT pode ter maior influência na economia neuromuscular durante velocidades próximas ao ritmo em corridas de média e longa distância. Como limitação do estudo pode ser considerada o nível competitivo dos avaliados (corredores recreacionais). Portanto, novos estudos podem ser desenvolvidos com o objetivo de analisar os efeitos da PBMT em parâmetros de EMG (por exemplo: mediana da frequência, bandas de frequência e análise de *Wavelet*) durante testes de corrida em corredores de diferentes níveis de treinamento.

## **Conclusão**

A PBMT com doses de 30 e 60 J por ponto (dose total de 840 e 1680 J, respectivamente) foi capaz de melhorar a economia neuromuscular somente na corrida com velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Enquanto que a PBMT aplicada com 15 J por ponto (dose total de 420 J) foi a mais eficiente no aprimoramento da economia neuromuscular, uma

vez que efeitos positivos foram observados em ambas velocidades (8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

### **Aplicações práticas**

Efeitos positivos foram observados para a economia neuromuscular utilizando a PBMT aplicada com dose de 15 J por ponto de aplicação (28 pontos, totalizando 420 J). Assim, corredores recreacionais podem utilizar esta técnica com a dosagem estipulada acima, para aprimorar a função muscular durante corridas submáximas.



### 3.1.3 Artigo 3 ó PBMT e desempenho na prova de 1500 m

O quadro 4 apresenta os efeitos positivos ( ), negativos ( ) e nulos ( ) de todas as doses de energia da PBMT aplicadas nos estudos um e dois. Este quadro serviu como referência para a escolha da dose ideal de PBMT aplicada no estudo três.

Quadro 4 ó Efeitos de todas as doses de energia da PBMT em comparação ao placebo para as variáveis dos estudos um e dois.

Variáveis	15 J	30 J	60 J
<b>Estudo 1</b>			
EC - 8 km·h <sup>-1</sup>			
EC - 9 km·h <sup>-1</sup>			
PSE - 8 km·h <sup>-1</sup>			
PSE - 9 km·h <sup>-1</sup>			
[Lac] - 8 km·h <sup>-1</sup>			
[Lac] - 8 km·h <sup>-1</sup>			
VO <sub>2MAX</sub>			
vIAT			
VO <sub>2</sub> IAT			
[Lac] <sub>pico</sub>			
vVO <sub>2MAX</sub>			
PV			
TTE			
DT			
<b>Estudo 2</b>			
RMS <sub>VM</sub> - 8 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>VL</sub> - 8 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>RF</sub> - 8 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>BF</sub> - 8 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>GL</sub> - 8 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>PERNA</sub> - 8 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>VM</sub> - 9 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>VL</sub> - 9 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>RF</sub> - 9 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>BF</sub> - 9 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>GL</sub> - 9 km·h <sup>-1</sup>			
RMS <sub>PERNA</sub> - 9 km·h <sup>-1</sup>			
<b>Total de efeitos positivos ( )</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>12</b>



## EFEITOS DA TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO NA CORRIDA DE 1500 METROS: UMA ANÁLISE DO DESEMPENHO E DA RESPOSTA INDIVIDUAL\*

### Resumo

Os objetivos do presente estudo foram: 1) verificar os efeitos da terapia com fotobiomodulação (PBMT) no desempenho de corrida na distância de 1500 m; e 2) analisar a resposta individual da PBMT. Dezenove corredores recreacionais do sexo masculino ( $27,3 \pm 3,3$  anos;  $74,5 \pm 9,3$  kg; e  $178,9 \pm 6,5$  cm) participaram de um estudo randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. O estudo foi dividido em quatro sessões: 1) teste incremental máximo de corrida; 2) condição controle ó corrida na distância de 1500 m sem aplicação da PBMT ou placebo; 3 e 4) placebo ou PBMT aplicados imediatamente antes da corrida na distância de 1500 m. PBMT e placebo foram aplicados em 14 pontos de cada membro inferior (total de 28 pontos), com dose de energia de 30 J por ponto (dose total de 840 J). As variáveis fisiológicas de consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), velocidade associada ao  $VO_{2MAX}$  ( $vVO_{2MAX}$ ), pico de velocidade (PV) e ponto de compensação respiratória (PCR) foram avaliados durante o teste incremental máximo. Nas provas de corrida de 1500 m foram avaliados o tempo total, concentrações de lactato [Lac] e as parciais (por volta) do tempo, frequência cardíaca (FC) e percepção subjetiva de esforço dos membros inferiores (PSE). Considerando a análise com os 19 corredores, o tempo total na prova de 1500 m não apresentou diferença significativa entre PBMT e placebo (tamanho do efeito trivial). Já na análise de resposta individual, 12 corredores responderam positivamente à PBMT (responsivos). Enquanto o tempo total na prova de 1500 m reduziu para responsivos (-9 s; -2,76%), para os não responsivos o tempo aumentou (+7 s; 2,23%) após a aplicação da PBMT. Vale ressaltar que responsivos apresentaram melhores parâmetros aeróbios em comparação aos não responsivos. Além disso, responsivos obtiveram menores tempos por volta e [Lac] 3 min após a corrida com a aplicação prévia de PBMT. Em conclusão, a PBMT aplicada imediatamente antes da corrida em ambiente não controlado melhorou o desempenho e reduziu a [Lac] de corredores com maior aptidão aeróbia.

**Palavras-chave:** Desempenho de corrida; Recurso ergogênico; Laserterapia de baixa potência; Terapia com diodos emissores de luz.

---

\* Artigo em avaliação para publicação no periódico *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Citação: Dellagrana RA, Rossato M, Orssatto LBR, Sakugawa RL, Baroni BM, Diefenthaler F. Effect of photobiomodulation therapy in the 1,500 m run: an analysis of performance and individual responsiveness. *Int J Sport Physiol Perform*.

## Introdução

A terapia com fotobiomodulação (PBMT) envolve a utilização da laserterapia com baixa potência (LBP) e/ou terapia com diodos emissores de luz (LEDT) para induzir mudanças químicas no tecido alvo (BORSA et al., 2013; REDDY, 2004). Estudos recentes têm explorado os efeitos da PBMT aplicada imediatamente antes de protocolos de exercício em postergar o início da fadiga muscular e consequentemente melhorar o desempenho (VANIN et al., 2017). Evidências demonstram resultados positivos para exercícios envolvendo isometria (DE ALMEIDA et al., 2012; ROSSATO et al., 2016), isocinéticos (BARONI et al., 2010a; BARONI et al., 2010b), ciclismo (DA SILVA ALVES et al., 2014; LANFERDINI et al., 2017a; LANFERDINI et al., 2017b; LEAL JUNIOR et al., 2011) e corrida (DE MARCHI et al., 2012; DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b; MIRANDA et al., 2016).

O mecanismo por trás dos efeitos ergogênicos da PBMT envolve a absorção das partículas de luz (fótons) pelo tecido, no qual podem induzir mudanças bioquímicas nas células, especialmente na mitocôndria (KARU, 1999; REDDY, 2004). De maneira geral, o efeito imediato da PBMT parece estar relacionado aos cromóforos ligados à mitocôndria que agem como fotossensibilizadores provocando mudanças na permeabilidade da membrana e nos mecanismo de transporte (BORSA et al., 2013; KLEBANOV et al., 2001). Uma vez que os fótons alcançam a mitocôndria, eles são absorvidos pelos citocromos, principalmente o citocromo c oxidase, e provocam uma série de efeitos fisiológicos desencadeados por mudanças na produção de espécies reativas de oxigênio e síntese de ATP (BORSA et al., 2013; KARU, 1999).

Ainda levando em consideração os efeitos da PBMT na mitocôndria, praticantes de exercícios físicos com alta dependência do metabolismo oxidativo poderiam se beneficiar com a aplicação da PBMT antes do exercício (PERRY, 2017). Portanto, considerando que corridas de médias e longas distâncias são populares em todo o mundo, e envolvem propósitos recreacionais e/ou competitivos (CHIAMPAS;

GOYAL, 2015), a PBMT pode ser útil para esta modalidade. Estudos anteriores envolvendo testes de corrida têm observado efeitos positivos da PBMT em parâmetros fisiológicos e de desempenho, incluindo o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), marcadores bioquímicos (creatina cinase, lactato desidrogenase, entre outros), economia de corrida (EC), economia neuromuscular, pico de velocidade (PV) e tempo total de exaustão em indivíduos destreinados (DE MARCHI et al., 2012; MIRANDA et al., 2016) e recreacionalmente treinados (DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b).

Apesar dos achados promissores de estudos prévios (DE MARCHI et al., 2012; DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b; MIRANDA et al., 2016), a PBMT foi somente aplicada antes de testes de corrida em esteira, sempre dentro de um laboratório com ambiente controlado. Esta limitação reduz a validade externa dos resultados positivos encontrados com a aplicação da PBMT, e consequentemente, a relevância prática para corredores. Pinto et al. (2016) demonstraram que o pré-condicionamento com PBMT pode melhorar o desempenho de atletas de rugby durante teste anaeróbico de campo (teste de *sprints* de Bangsbo). No entanto, os efeitos da PBMT no desempenho em exercícios aeróbios durante testes de campo permanecem obscuros.

A investigação dos efeitos da PBMT aplicada imediatamente antes de eventos que simulam competições esportivas é imperativo para demonstrar a aplicação da PBMT e a generalização dos resultados para a prática. Além do mais, a discriminação de reponsivos e não reponsivos ao tratamento com PBMT parece ser necessário para identificar o perfil do indivíduo que pode se beneficiar com este tratamento. Em vista disso, os objetivos do presente estudo foram: 1) verificar os efeitos da PBMT no desempenho de corredores recreacionalmente treinados durante uma prova de 1500 m; e 2) discriminar os reponsivos e não reponsivos ao tratamento com PBMT.

## **Métodos**

### **Participantes**

Vinte corredores recreacionais participaram do estudo. Os critérios de inclusão adotados foram: 1) corredores do sexo masculino com idades entre 18 e 35 anos; 2) rotina de treino com frequência de 2-5 vezes por semana nos últimos 6 meses; e 3) pelo menos 6 meses de experiência prévia com prova de corrida de 1500 m. Um dos participantes foi excluído do estudo, pois apresentou lesão (no

treinamento diário) no membro inferior no período da coleta de dados. Portanto, 19 corredores ( $27,3 \pm 3,3$  anos;  $74,5 \pm 9,3$  kg; e  $178,9 \pm 6,5$  cm) foram elegíveis para participar do estudo. O tamanho da amostra foi determinado com base em estudos anteriores conduzidos com seres humanos, que envolviam os efeitos da PBMT aplicada imediatamente antes de testes de corrida, no qual foram observadas amostras variando de 15 a 22 indivíduos (DE MARCHI et al., 2012; DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b; MIRANDA et al., 2016). Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. A aprovação ética foi obtida pelo comitê de ética em pesquisa com seres humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CAAE:61599116.1.0000.0121).

### Desenho do estudo

O presente estudo pode ser classificado como randomizado, duplo-cego e com placebo-controlado. A pesquisa foi dividida em quatro fases, com intervalo de 7 dias entre as fases. Na primeira fase, os participantes realizaram um teste incremental máximo de corrida em esteira. Nas outras três fases (2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup>), os corredores realizaram uma corrida de 1500 m em uma pista de atletismo com três diferentes tratamentos (controle, placebo e PBMT). A condição controle (sem nenhum pré tratamento) foi sempre realizada por primeiro, ou seja, na segunda fase, enquanto os tratamentos PBMT ou placebo foram randomicamente aplicados antes dos testes de corrida de 1500 m na terceira e quarta fase. Os pesquisadores responsáveis pela administração das corridas de 1500 m, não sabiam qual tratamento o indivíduo recebeu antes dos testes. Um pesquisador ficou responsável pela randomização dos tratamentos (PBMT ou placebo), sendo que o mesmo foi instruído para não informar os participantes ou outro pesquisador com relação ao tratamento aplicado em cada fase (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup>). Além disso, os participantes vestiam óculos opacos para proteção e para bloquear a visão durante a aplicação do tratamento, uma vez que a aplicação da PBMT não causa nenhum estímulo sensitivo (por exemplo; calor, frio, coceira, irritação da pele e dor).

### Procedimentos

Os protocolos do estudo foram realizados em 4 dias diferentes sempre no mesmo horário. Um dia antes de cada teste, os participantes foram instruídos a evitar exercícios vigorosos com os membros inferiores, e também, evitar a ingestão de álcool e cafeína. Na primeira fase, os participantes foram submetidos a um teste incremental máximo

de corrida para avaliar o  $VO_{2MAX}$ , velocidade associada ao  $VO_{2MAX}$  ( $vVO_{2MAX}$ ), PV, frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ) e o ponto de compensação respiratória (PCR). Na segunda fase, os participantes realizaram uma corrida de 1500 m que foi caracterizada com a condição controle. Na terceira e quarta fase, os participantes seguiram os seguintes procedimentos: 1) aplicação da PBMT ou placebo; e 2) corrida de 1500 m na pista de atletismo. Além disso, para os teste de campo (1500 m) os fatores ambientais foram monitorados minuto-a-minuto usando os dados do Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina (-27.6040S e -48.5184W), no qual o coeficiente de variação entre os dias dos testes foi menor que 15% para a temperatura ( $21,0 \pm 1,7$  °C) e umidade relativa do ar ( $86,7 \pm 10,4$  %).

#### Teste incremental máximo de corrida

O  $VO_{2MAX}$  foi mensurado usando um protocolo de corrida incremental em esteira (Imbramed Millenium Super ATL, Modelo 10200, Porto Alegre, Brasil) com gradiente de 1%. A velocidade inicial foi de  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e cada 30 s era incrementado  $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , até a exaustão voluntária. Durante o teste, os níveis de oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) produzidos foram mensurados usando um sistema de espirometria computadorizado de circuito aberto (Quark PFTergo, COSMED SRL, Roma, Itália). O equipamento foi calibrado usando uma concentração gasosa certificada para  $O_2$  e  $CO_2$ , enquanto a ventilação foi calibrada usando uma seringa com volume de 3 litros (modelo 5530, Hans Rudolph, EUA).

O  $VO_{2MAX}$  foi considerado como o maior valor obtido durante o teste em intervalos de 15 s ou na presença do platô na resposta do  $VO_2$  considerando os últimos 30 s de teste (DAY et al., 2003). Para garantir que o indivíduo atingiu o  $VO_{2MAX}$  foram utilizados os critérios propostos por Basset e Howley (2000). A frequência cardíaca (FC) foi monitorada durante o teste, no qual a  $FC_{MAX}$  foi definida como o maior valor obtido no teste. A  $vVO_{2MAX}$  foi definida como a menor velocidade no qual ocorreu o  $VO_{2MAX}$  (BILLAT et al., 1999). O PV foi considerado como a última velocidade mantida por 30 s. O PCR foi determinado baseado no equivalente ventilatório para  $O_2$  e  $CO_2$  ( $V_E/VO_2$  e  $V_E/VCO_2$ ) (BOONE; BOURGOIS, 2012; GASKILL et al., 2001). O processo de identificação do PCR foi realizado por dois avaliadores previamente treinados, de modo independente e aleatório. No caso de diferenças superiores a 3% ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) inter-avaliadores, um terceiro avaliador foi responsável pela identificação final do PCR. No presente estudo, os

valores de  $VO_2$  e velocidade referente ao PCR, foram operacionalmente definidos como  $VO_2$ PCR e vPCR, respectivamente.

### Aplicação da PBMT ou placebo

PBMT ou placebo foram aplicados imediatamente antes da corrida de 1500 m, usando o sistema *Chatanooga Intellect Mobile Laser 2779* (Grupo Chatanooga, Guildford Surrey, RU) sobre os membros inferiores direito e esquerdo. Os tratamentos foram aplicados em 14 pontos de cada membro inferior com 30 J por ponto de aplicação (total de 28 pontos): oito pontos no *quadriceps*, quatro pontos nos *isquiotibiales* e dois pontos no *gastrocnemius* (Figura 8). O placebo foi aplicado exatamente da mesma forma, porém com o equipamento desligado. O cluster permaneceu em contato com a pele perpendicularmente em um ângulo de  $90^\circ$ .

Figura 8 ó Parâmetro e pontos (círculos pretos nos músculos) de aplicação da terapia com fotobiomodulação.

<b>LASERs (850nm)</b>				
Número de diodos		5		
Potência (mW)		100		
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )		0,06		
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )		1666,6		
Frequência		Contínuo		
Dose (J)		3,2		
<b>LEDs (670nm)</b>				
Número de diodos		12		
Potência (mW)		10		
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )		1,92		
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )		5,20		
Frequência		Contínuo		
Dose (J)		0,30		
<b>LEDs (880nm)</b>				
Número de diodos		8		
Potência (mW)		25		
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )		1,28		
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )		19,53		
Frequência		Contínuo		
Dose (J)		0,80		
<b>LEDs (950nm)</b>				
Número de diodos		8		
Potência (mW)		15		
Tamanho do spot (cm <sup>2</sup> )		1,28		
Densidade de potência (mW/cm <sup>2</sup> )		11,71		
Frequência		Contínuo		
Dose (J)		0,50		
<b>Tamanho do cluster (cm<sup>2</sup>)</b>		30,2		
<b>Número de pontos</b>		28		
<b>Tempo de tratamento por ponto (s)</b>		32		
<b>Dose por ponto (J)</b>		30		
<b>Dose total (J)</b>		840		



### Percepção subjetiva de esforço

A percepção subjetiva de esforço dos membros inferiores (PSE) foi mensurada usando a escala de Borg (BORG, 1982) com 11 níveis de

esforço (0 a 10). A PSE dos membros inferiores foi avaliada durante a corrida de 1500 m em cada volta.

#### Concentração de lactato sanguíneo

Na 3ª e 4ª fase (PBMT ou placebo), foram coletadas amostra de 25 µL de sangue do lóbulo da orelha com auxílio de capilar heparinizado. A [Lac] foi mensurada por meio de um analisador eletroquímico (YSI 1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Ohio, EUA). O analisador foi calibrado de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante. As coletas foram realizadas no repouso e no primeiro, terceiro e quinto minutos após a corrida de 1500 m.

#### Corrida de 1500 m

As corridas simuladas de 1500 m foram realizadas em uma pista oficial de atletismo de 400 m. Antes da corrida, os participantes realizaram um aquecimento padrão monitorado pelo pesquisador responsável pelo teste, com exercícios específicos de corrida. Durante a corrida, foram anotados os tempos da primeira (0-300 m), segunda (301-700 m), terceira (701-1100 m), quarta (1101-1500 m) volta e o tempo total (0-1500m). Além disso, a FC e a PSE foram anotadas em cada volta (300, 700, 1100 e 1500 m). Nas três corridas simuladas (controle, placebo e PBMT), alguns fatores foram controlados (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008): a) nenhum *feedback* do desempenho (ritmo, tempo, FC, entre outros) foi passado ao corredor durante o período de coleta de dados; b) distrações como músicas, conversas, entre outros não foram permitidas durante a corrida; c) os participantes correram sozinhos na pista para evitar a influência do ritmo de um adversário; d) durante a prova não foi entregue nenhum tipo de bebida, a hidratação com água era realizada antes ou depois da corrida; e) a temperatura e a humidade foram monitoradas; f) foi solicitado aos participantes que usassem sempre o mesmo tênis.

Além disso, antes de iniciar a coleta de dados, cinco participantes do estudo realizaram duas corridas de 1500 m em diferentes dias, com intuito de identificar a variação entre as provas sem efeito da PBMT ou placebo. Portanto, a média e o desvio padrão da primeira e segunda corrida foram  $316,8 \pm 15,2$  e  $315,0 \pm 10,7$  s, respectivamente (diferença média = 1,8 s, coeficiente de variação = 4%, erro típico de medida = 3,18 s, tamanho do efeito = 0,15; efeito trivial).

#### Análise estatística

A normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os valores foram apresentados como média e desvio padrão. O teste t pareado foi utilizado para comparar os tratamentos com PBMT e placebo. A análise da resposta individual foi realizada por meio do teste exato de Fisher combinado os resultados dicotomizados do tempo total da corrida de 1500 m (LEAL JUNIOR et al., 2011; MIRANDA et al., 2016). As comparações entre responsivos e não responsivos foram realizadas usando o teste t para amostras independentes. Vale ressaltar que os corredores que apresentaram pelo menos um segundo de redução no tempo total da prova de 1500 m, foram considerados responsivos. Correlação de Pearson foi realizada entre o desempenho e as variáveis fisiológicas dos corredores. Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* IBM SPSS *Statistics* para *Windows* versão 21.0 (IBM Corp, Armonk, NY, EUA), com nível de significância de 5%.

A magnitude da diferença (PBMT vs placebo e responsivos vs não responsivos) de cada variável foi avaliada usando o tamanho do efeito (TE). O critério para interpretar a magnitude do TE foram:  $0,2 =$  trivial;  $> 0,2$  ó  $0,6 =$  pequeno;  $> 0,6$  ó  $1,2 =$  moderado;  $> 1,2$  ó  $2,0 =$  grande; e  $> 2,0$  ó  $4,0 =$  muito grande (BATTERHAM; HOPKINS, 2006). O presente estudo avaliou o tempo total da corrida de 1500 m em três diferentes condições (controle, placebo e PBMT). Entretanto, levando em consideração que o controle foi realizado sempre na primeira sessão, a seção de resultados teve como foco apenas a comparação entre PBMT e placebo.

## Resultados

Os corredores apresentaram  $VO_{2MÁX}$ ,  $FC_{MÁX}$  e  $VO_{2PCR}$  de  $52,0 \pm 4,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $190 \pm 7 \text{ bpm}$  e  $43,6 \pm 4,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente. A descrição da  $vVO_{2MÁX}$ , PV e  $vPCR$  com a velocidade média das corridas de 1500 m nas condições controle, placebo e PBMT é apresentada na tabela 6.

Levando em consideração os 19 corredores, não foram encontradas diferenças significativas entre PBMT e placebo para o tempo total na corrida de 1500 m ( $p > 0,05$ ), e ainda, o TE foi trivial (diferença média = 2,7 s, TE = 0,10) (Figura 9). Ainda considerando a comparação entre PBMT e placebo, nenhuma diferença significativa e efeito trivial foram observados para as variáveis de tempo, FC e PSE durante a primeira, segunda, terceira e quarta volta da corrida (Figura 10).

Tabela 6 ó Descrição da  $vVO_{2MAX}$ , PV e  $vPCR$  com as corridas de 1500 m nas condições controle, placebo e PBMT.

Variáveis	$\text{kmd}^{-1}$	% $vVO_{2MAX}$	%PV	% $vPCR$
$vVO_{2MAX}$	$16,1 \pm 1,4$	-	-	-
PV	$17,9 \pm 1,0$	$111,7 \pm 6,0$	-	-
$vPCR$	$13,5 \pm 1,2$	$84,2 \pm 5,7$	$75,4 \pm 4,0$	-
1500 m (controle)	$16,0 \pm 1,3$	$99,7 \pm 4,0$	$89,4 \pm 3,5$	$118,8 \pm 5,6$
1500 m (placebo)	$16,0 \pm 1,2$	$99,7 \pm 3,2$	$89,4 \pm 3,8$	$118,8 \pm 7,1$
1500 m (PBMT)	$16,2 \pm 1,4$	$100,6 \pm 4,8$	$90,3 \pm 4,7$	$119,9 \pm 6,7$

$vVO_{2MAX}$  = velocidade associada com o  $VO_{2MAX}$ ; PV = pico de velocidade;  $vPCR$  = velocidade no ponto de compensação respiratória.

Figura 9 ó Tempo total nas corridas de 1500 m nas condições placebo e terapia com fotobiomodulação (PBMT).

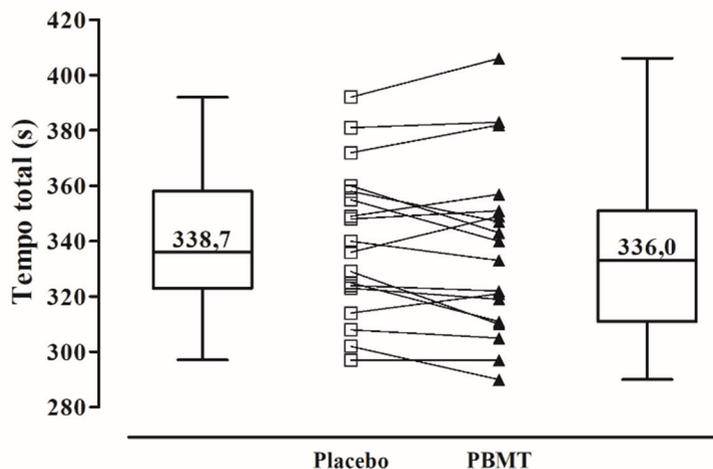


Figura 10 ó Efeito da terapia com fotobiomodulação (PBMT) nos tempos parciais, frequência cardíaca (FC), percepção subjetiva de esforço (PSE) dos membros inferiores e concentrações de lactato sanguíneo durante as corridas de 1500 m nas condições placebo e PBMT. Análise com todos os corredores (n=19).

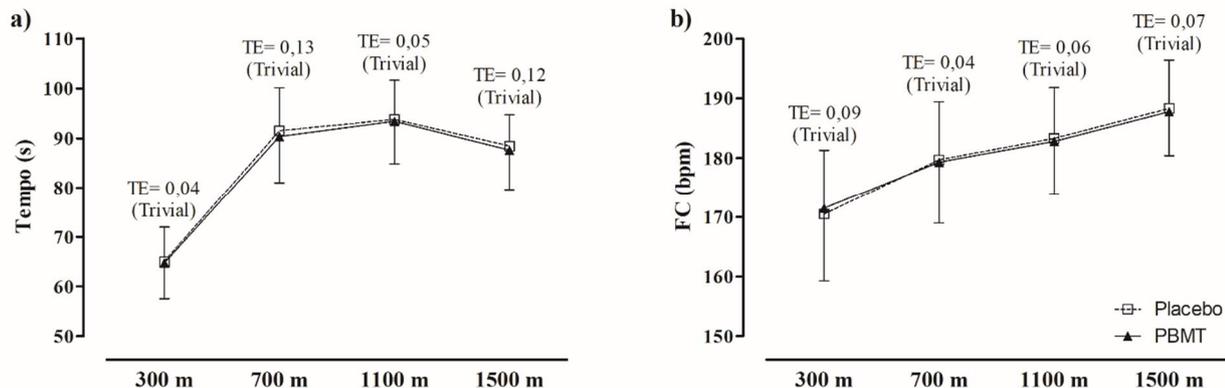
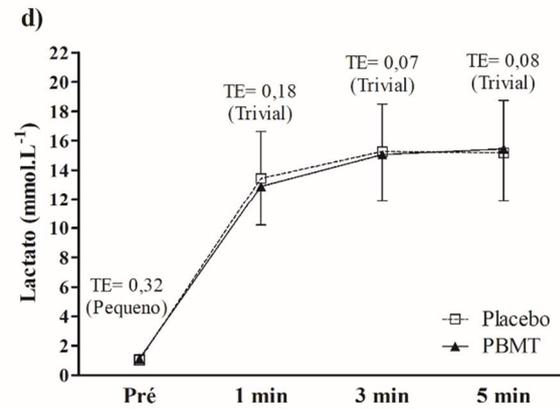
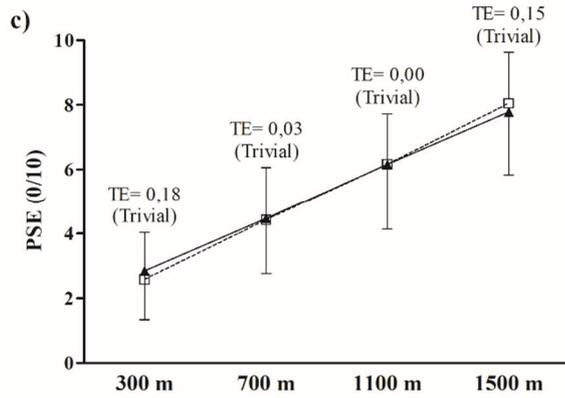


Figura 3 ó (Continuação).





Na tabela 7, na análise da resposta individual foi observado que 63,2% (n=12) dos corredores melhoraram o desempenho da corrida de 1500 m com aplicação da PBMT imediatamente antes da prova. Os responsivos apresentaram efeitos grandes para o melhor tempo na corrida de 1500 m,  $VO_{2MAX}$  e  $vPCR$  em comparação aos não responsivos ( $p<0,05$ ), enquanto efeitos moderados foram observados para  $vVO_{2MAX}$ , PV e  $VO_2PCR$ . Além do mais, o desempenho na prova de 1500 m apresentou correlação significativa com as variáveis de  $VO_{2MAX}$  ( $r = - 0,74$ ,  $p<0,001$ ),  $vVO_{2MAX}$  ( $r = - 0,87$ ,  $p<0,001$ ), PV ( $r = - 0,86$ ,  $p<0,001$ ) e  $vPCR$  ( $r = - 0,81$ ,  $p<0,001$ ).

Na comparação entre responsivos e não responsivos, diferenças significantes ( $p<0,05$ ) foram observadas para o tempo na terceira e quarta volta (efeito grande) na condição placebo (Figura 11a), enquanto o tempo na primeira, segunda, terceira e quarta volta foram significativamente menores para os responsivos ( $p<0,05$ ; efeitos grandes e muito grandes) na condição PBMT (Figura 11b). Além disso, responsivos apresentaram menor [Lac] após três minutos da corrida de 1500 m ( $p<0,05$ ; efeito moderado). Por outro lado, maior PSE foi observada para os responsivos na condição PBMT ( $p<0,05$ ; efeito moderado) (Figura 11).

Tabela 7 ó Análise da resposta individual para o tempo total na corrida de 1500 m, e comparações entre responsivos e não responsivos para as variáveis fisiológicas e melhor tempo na corrida de 1500 m.

	<b>Responsivos (n=12)</b>	<b>Não Responsivos (n=7)</b>	<b>p</b>	<b>Diff</b>	<b>TE (Classificação)</b>
Tempo 1500 m (s)	319,5±18,4	356,0±27,2	0,003	36,5	1,76 (Grande)
VO <sub>2MÁX</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	53,9±3,0	48,8±4,4	0,008	5,1	1,52 (Grande)
vVO <sub>2MÁX</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	16,6±1,3	15,4±1,3	0,066	1,2	0,98 (Moderado)
PV (km·h <sup>-1</sup> )	18,2±1,0	17,4±0,7	0,083	0,8	0,93 (Moderado)
vPCR (km·h <sup>-1</sup> )	14,0±1,0	12,8±1,0	0,028	1,2	1,27 (Grande)
VO <sub>2</sub> PCR (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	44,5±4,8	42,0±2,6	0,212	2,5	0,64 (Moderado)

Diff = diferença média; TE = Tamanho do efeito; VO<sub>2MÁX</sub> = consumo máximo de oxigênio; vVO<sub>2MÁX</sub> = velocidade associada ao VO<sub>2MÁX</sub>; PV = pico de velocidade; vPCR = velocidade no ponto de compensação respiratória; VO<sub>2</sub>PCR = consumo de oxigênio no PCR.

Figura 11 ó Efeito da terapia com fotobiomodulação (PBMT) de acordo com a análise da resposta individual para o tempo, frequência cardíaca (FC), percepção subjetiva de esforço dos membros inferiores (PSE) e concentrações de lactato [Lac] durante a corrida de 1500 m. \* diferença significativa em seu respectivo ponto no tempo.

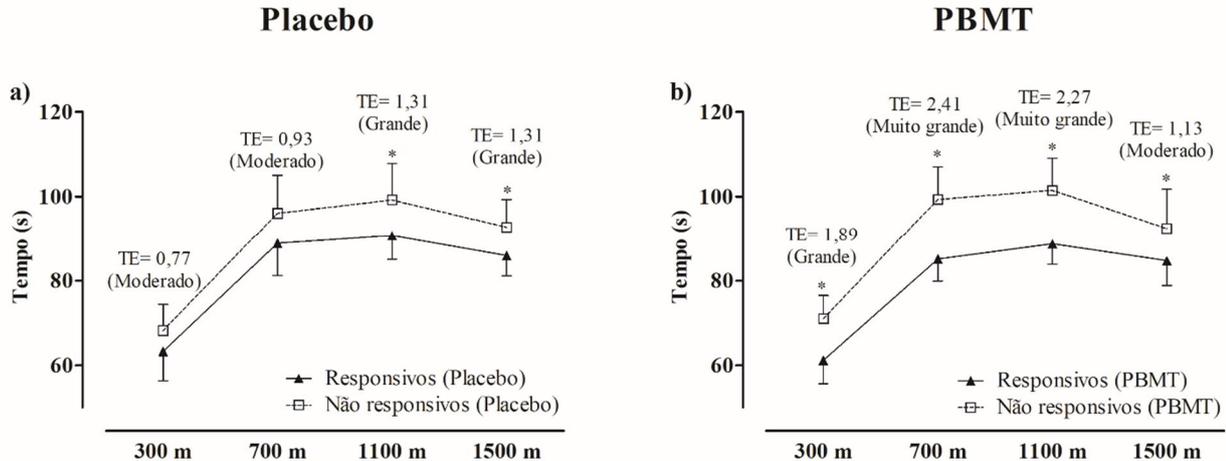


Figura 11 ó (Continuação).

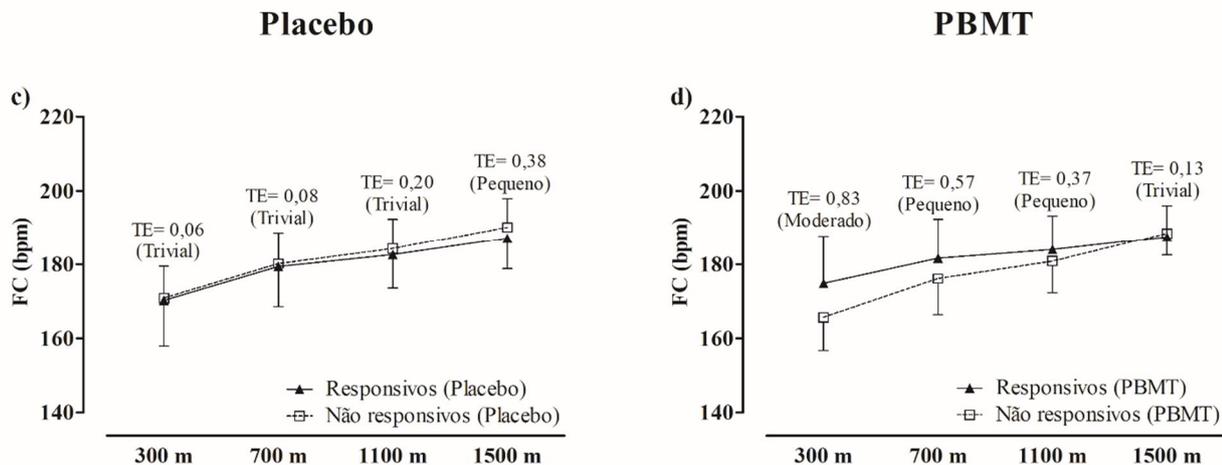


Figura 11 ó (Continuação).

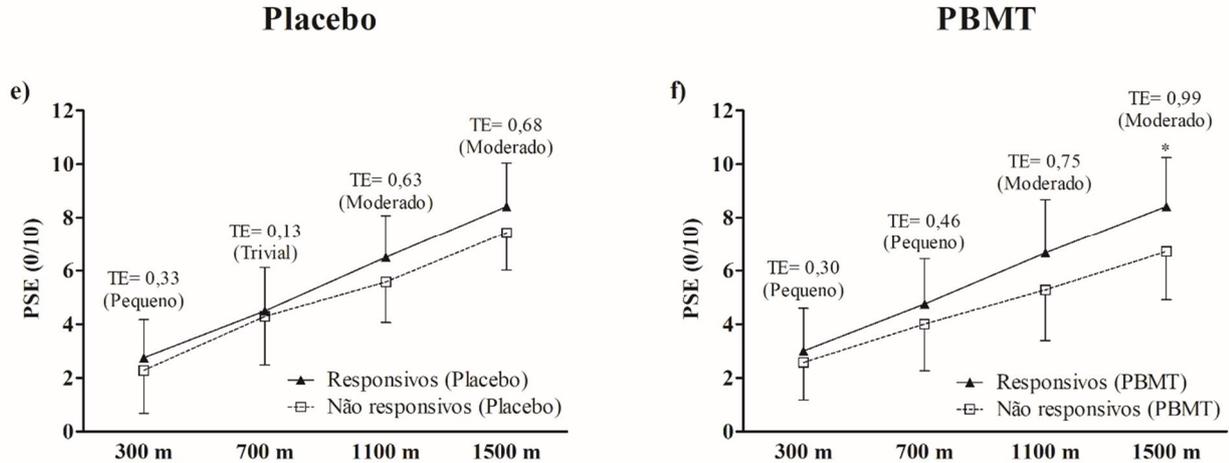
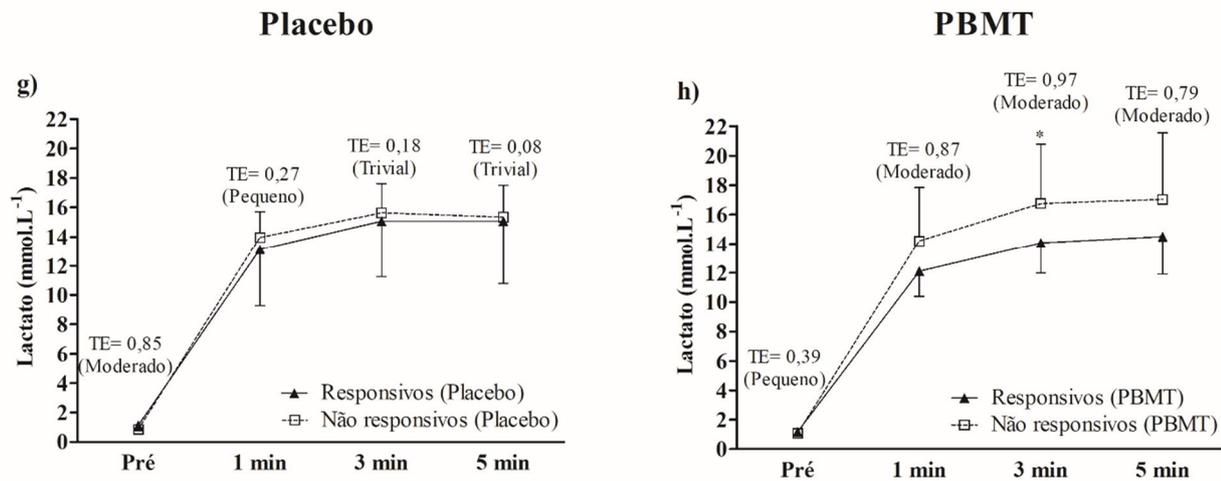


Figura 11 ó (Continuação).



## Discussão

O presente estudo é o primeiro que verificou os efeitos da PBMT aplicada imediatamente antes de uma corrida simulada de meia distância (1500 m). Vale ressaltar que estratégias práticas para melhorar o desempenho devem ser fornecidas para corredores de diferentes níveis competitivos (SCHUBERT; ASTORINO, 2013). Portanto, a PBMT como uma ferramenta não farmacológica e não invasiva poderia ser uma alternativa para otimizar as sessões de treinamento e o desempenho em competições oficiais. O principal achado do estudo foi que os corredores mais condicionados respondem positivamente à PBMT, assim reduzindo o tempo total e as [Lac] na corrida de 1500 m.

Levando em consideração que estudos anteriores têm demonstrado efeitos benéficos da PBMT em testes progressivos em esteira até a exaustão (DE MARCHI et al., 2012; DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b; MIRANDA et al., 2016), o presente estudo verificou se o efeito positivo encontrado em ambiente controlado no laboratório poderia ser reproduzido em uma corrida de 1500 m realizada em uma pista de atletismo com ambiente não controlado. Ao contrário dos estudos em laboratório, os resultados encontrados indicam que a PBMT não foi efetiva para melhorar o desempenho de corredores recreacionais em uma prova de 1500 m. No entanto, na análise da resposta individual foi observado que os efeitos ergogênicos da PBMT são dependentes do condicionamento físico do indivíduo, uma vez que corredores com maior capacidade aeróbia melhoraram o desempenho na corrida de 1500 m após a aplicação da PBMT (resultado comparado com a condição placebo). Analisando somente os corredores responsivos, a PBMT foi capaz de melhorar o desempenho de corrida em média de 9 s (redução de 2,76% no tempo). Esta melhora pode parecer discreta, entretanto no último campeonato mundial de atletismo (*International Association of Athletics Federations World Championships London 2017*) a diferença entre o primeiro e o décimo segundo colocado na final da prova de 1500 m (masculino) foi de aproximadamente 5 s.

A PBMT aplicada imediatamente antes da corrida de 1500 m não modificou a PSE dos membros inferiores. Estudos prévios envolvendo PBMT como pré-condicionamento em corridas, avaliaram a PSE durante testes máximos (DA SILVA ALVES et al., 2014; MIRANDA et al., 2016) e submáximos (DELLAGRANA et al., 2017b) dentro do laboratório com ambiente controlado, fato este que dificulta comparações com o presente estudo. Vale ressaltar que resultados

contraditórios têm sido observados nos estudos em laboratório, Miranda et al. (2016) demonstraram que a PSE (dispnéia) foi menor durante o teste de corrida com a aplicação da PBMT quando comparada com a condição placebo, enquanto Da Silva Alves et al. (2014) não encontraram diferenças significativas entre as condições PBMT e placebo para a PSE (dispnéia e membros inferiores). Além do mais, Dellagrana et al. (2017a) observaram que a PBMT apresentou efeito benéfico na PSE durante teste de corrida submáximo. De acordo com a análise da resposta individual, embora os corredores responsivos apresentaram melhores tempos parciais (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> voltas) em comparação aos não responsivos, maiores valores de PSE dos membros inferiores foram observados para os corredores responsivos (efeitos moderados) na condição PBMT, especialmente nas últimas duas voltas (Figura 11f). Com relação aos exercícios em ambientes não controlados, estudos futuros são necessários para compreender o impacto da PBMT nas respostas perceptuais durante a corrida.

Elevados níveis de [Lac] durante exercícios intensos podem estar associados a redução do desempenho (CAIRNS, 2006). Embora nenhuma mudança foi observada na [Lac] com a análise de todos os corredores (n=19), diferença significativa e efeito moderado foi observado na [Lac] após 3 min da corrida de 1500 m a favor dos corredores responsivos em comparação aos não responsivos com aplicação da PBMT (Figura 11h). Este resultado indica que quando um corredor é responsivo aos efeitos da PBMT, a [Lac] poderá ser reduzida durante uma corrida de média distância. Resultados similares têm sido observados durante exercícios resistidos (LEAL JUNIOR et al., 2009b), corrida submáxima na esteira (DELLAGRANA et al., 2017b) e teste de *sprints* repetidos de Bangsbo (PINTO et al., 2016). Apesar da necessidade de estudos que busquem melhorar o entendimento dos mecanismos por trás dos efeitos positivos da PBMT nas [Lac], evidências têm demonstrado que a ação imediata da PBMT está relacionada ao aumento do potencial da membrana mitocondrial (PASSARELA et al., 1988) e maior atividade enzimática na cadeia respiratória (KARU, 2010; SILVEIRA et al., 2009). Desta maneira, estes efeitos poderiam ser benéficos para aprimorar a oxidação de lactato na mitocôndria (BROOKS et al., 1999).

Alguns estudos que compararam responsivos e não responsivos ao tratamento pré exercício com PBMT, apenas analisaram o tempo e a distância durante teste de corrida em esteira (MIRANDA et al., 2016), e também, marcadores bioquímicos durante um teste de *Wingate* (LEAL JUNIOR et al., 2011). No entanto, o presente estudo parece ser o

primeiro a reportar a relação entre os efeitos ergogênicos da PBMT e o nível de condicionamento dos voluntários. Os corredores responsivos a PBMT apresentaram melhores parâmetros fisiológicos (capacidade e potência aeróbia) e de desempenho (tempo na corrida de 1500 m) em comparação aos corredores não responsivos (Tabela 7). Estes resultados poderiam ser esperados, uma vez que a principal ação da PBMT envolve a absorção de fótons por cromóforos endógenos da mitocôndria, especialmente pelo citocromo c oxidase localizado na CTE (BORSA et al., 2013; REDDY, 2004), para efetividade desta resposta, indivíduos treinados aerobicamente podem ser responsivos, pois comumente estes apresentam maior predominância de fibras musculares do tipo I (fibras oxidativas), estas que apresentam elevado conteúdo mitocondrial (FRIDÉN et al., 1984). Esta hipótese destaca a necessidade de estudos futuros analisarem corredores bem treinados. E ao mesmo tempo, os achados do presente estudo sugerem uma nova perspectiva na utilização da PBMT em corredores de elite, especialmente aqueles com interesse em estratégias capazes de aprimorar o desempenho mesmo que seja apenas em poucos segundos.

Levando em consideração o efeito dose-dependente da PBMT, a utilização de uma única dose de energia poderia ser citada como uma limitação do presente estudo, entretanto, foi escolhida uma dose de energia que apresentou efeitos positivos em corridas dentro do laboratório (DE MARCHI et al., 2012; DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b; MIRANDA et al., 2016). Portanto, o nível competitivo (corredores recreacionais) pode ser considerada a principal limitação do estudo. Por outro lado, a vantagem do presente estudo foi a análise dos efeitos da PBMT em corridas com alta aplicabilidade prática, e também, a relação entre os efeitos da PBMT e o nível de condicionamento dos voluntários. Pesquisas futuras devem abranger corredores com diferentes níveis competitivos com intuito de confirmar ou refutar a utilização da PBMT como um recurso ergogênico para corredores, e talvez determinar pontos de corte dos valores de  $VO_{2MAX}$  para uma resposta efetiva da PBMT. Por fim, a utilização da dose de energia ótima (DELLAGRANA et al., 2017a), o melhor momento de aplicação da PBMT (MIRANDA et al., 2017) e os efeitos de diferentes dispositivos de PBMT (DE MARCHI et al., 2017) devem ser considerados em testes de campo e competições simuladas.

## **Conclusão**

Em conclusão, a PBMT aplicada imediatamente antes de uma corrida de 1500 m em ambiente não controlado, demonstrou grande

variabilidade na resposta de corredores recreacionais. Os indivíduos que responderam positivamente ao tratamento com PBMT (redução no tempo e na concentração de lactato sanguíneo na corrida de 1500 m em comparação ao tratamento com placebo), foram os corredores com melhor condicionamento aeróbio.

### **Aplicação prática**

Os achados do presente estudo não estão em total acordo com os efeitos benéficos da PBMT aplicada imediatamente antes de corridas em laboratório com ambiente controlado. A PBMT em respostas ergogênicas com grande variabilidade inter-individual, uma vez que a PBMT mostrou-se ser efetiva em melhorar o desempenho de corredores com maior capacidade e potência aeróbia. Portanto, o presente estudo sugere que treinadores e profissionais do esporte devem considerar o nível competitivo dos corredores e/ou atletas antes de usar a PBMT como um recurso ergogênico.

## 4 CAPÍTULO IV

### 4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabendo dos efeitos de dose-reposta da PBMT, a presente tese buscou verificar qual a dose ideal para otimizar os efeitos positivos da PBMT na corrida. Portanto, os resultados demonstraram que todas as doses de energia testadas (15, 30 e 60 J por ponto de aplicação; ou dose total de 420, 840 e 1680 J), apresentaram efeitos benéficos em parâmetros fisiológicos, neuromusculares e de desempenho durante corridas submáximas e máximas. No entanto, a PBMT aplicada com dose de energia de 30 J por ponto (dose total de 840 J) foi a mais eficaz em melhorar as variáveis fisiológicas de economia de corrida (nas velocidades de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e percepção de esforço (na velocidade 8  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), e também, parâmetros de desempenho como velocidade associada ao  $\text{VO}_{2\text{MÁX}}$ , pico de velocidade, tempo total de exaustão e distância total percorrida no teste incremental máximo, assim indicando uma típica dose-resposta bifásica (curva de Arndt-Schulz) já evidenciada na literatura. Já no que se refere a economia neuromuscular, resultados distintos foram encontrados. Uma vez que a dose de energia de 15 J por ponto (dose total de 420 J) foi a mais eficaz em aprimorar esta variável durante as corridas com velocidades submáximas de 8 e 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Em geral, todas as doses de energia testadas parecem estar dentro da janela terapêutica para efeitos biológicos positivos com a aplicação da PBMT. Entretanto, os resultados da presente tese indicam que para aprimorar o desempenho de corrida a PBMT deve ser aplicada com dose de energia de 30 J por ponto (dose total de 840 J) imediatamente antes do exercício, visto que esta dose apresentou efeitos positivos e com maior magnitude em mais variáveis quando comparada com as doses de 15 e 60 J por ponto (dose total de 420 e 1680 J). Assim, a presente tese buscou também verificar se a dose ideal da PBMT em corridas no laboratório, poderia reproduzir os efeitos positivos em corridas simuladas em ambiente não controlado. De maneira contraditória, a PBMT aplicada com dose de 30 J por ponto, imediatamente antes da corrida de 1500 m, não foi capaz de melhorar significativamente o desempenho nesta prova. Em contrapartida, considerando a grande variabilidade inter-individual de resposta a PBMT, corredores com maior potência ( $\text{VO}_{2\text{MÁX}}$ ) e capacidade (PCR) aeróbia parecem se beneficiar com a aplicação da PBMT antes da corrida.

Com base nos resultados encontrados na presente tese pode-se concluir que a PBMT com dose de energia de 30 J por ponto de aplicação, ou seja, 28 pontos totalizando 840 J, pode ser um recurso ergogênico eficaz para o aumento do desempenho de corridas em esteira no laboratório com ambiente controlado, isto se deve a melhora na economia de corrida, economia neuromuscular, percepção de esforço, velocidade associada ao  $VO_{2MÁX}$ , pico de velocidade e tempo de exaustão no teste incremental máximo. Por outro lado, na corrida de 1500 m em ambiente não controlado (ambiente externo), a aplicação da PBMT com 30 J por ponto parece ser efetiva de acordo com o nível de condicionamento aeróbio do indivíduo que será irradiado.

Vale ressaltar que dificuldades na aplicação de PBMT podem estar relacionadas ao tempo de aplicação desta técnica, considerando que a aplicação para cada corredor da presente tese durava em torno de 30 min, fato este, que impossibilitaria a aplicação desta técnica antes de uma prova de corrida em um número grande de atletas. Portanto, mais estudos buscando analisar os efeitos das malhas de LED em provas de corrida podem ser fundamentais, devido o tempo reduzido de aplicação da PBMT com este equipamento. Além disso, estudos futuros com atletas de elite buscando compreender além da dose resposta, o tempo resposta entre aplicação e exercício, e identificação e reprodutibilidade da resposta individual da PBMT nestes atletas. Por fim, na área no treinamento desportivo, estudos combinando modos de treino (treinamento intervalado de alta intensidade, aeróbio, força, entre outros) e a aplicação de PBMT podem ser fundamentais para o avanço nesta área.

## 5 REFERÊNCIAS

AAGAARD, P. Making muscles õstrongersõ: exercise, nutrition, drugs. **Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions**, v.4, n.2, p.165-174, 2004.

ACHE-DIAS, J.; DELLAGRANA, R. A.; TEIXEIRA, A. S.; DAL PUPO, J.; MORO, A. R. P. Effect of jumping interval training on neuromuscular and physiological parameters: a randomized controlled study. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v.41, n.1, p.20-25, 2016.

ALBUQUERQUE-PONTES, G. M.; VIEIRA, R. P.; TOMAZONI, S. S.; CAIRES, C. O.; NEMETH, V.; VANIN, A. A.; SANTOS, L. A.; PINTO, H. D.; MARCOS, R. L.; BJORDAL, J. M.; CARVALHO, P. T. C.; LEAL JUNIOR, E. C. P. Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of low-level laser therapy on cytochrome c oxidase activity in intact skeletal muscle of rats. **Lasers in Medical Science**, v.30, p.59-66, 2015.

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiological Reviews**, v.88, n.1, p.287-332, 2008.

AMENT, W.; VERKERKE, G. J. Exercise and Fatigue. **Sports Medicine**, v.39, n.5, p.389-422, 2009.

AMIR, A.; SOLOMON, A. S.; GILER, S.; CORDOBA, M.; HAUBEN, D. J. The influence of helium-neon laser irradiation on the viability of skin flaps in the rat. **British Journal of Plastic Surgery**, v.53, p.58-62, 2000.

ANDERS, J. J.; LANZAFAME, R. J.; ARANY, P. R. Low-level light/laser therapy versus photobiomodulation therapy. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.33, n.4, p.183-184, 2015.

ANTONIALLI, F. C.; DE MARCHI, T.; TOMAZONI, S. S.; VANIN, A. A.; GRANDINETTI, V. S.; PAIVA, P. R. V.; PINTO, H. D.; MIRANDA, E. F. 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 in Medical Science**, v.29, p.1967-1976, 2014.

BARNES, K. R.; KILDING, A. E. Strategies to improve running economy. **Sports Medicine**, v.45, n.1, p.37-56, 2015.

BARONI, B. M.; LEAL JUNIOR, E. C. P.; GEREMIA, J. M.; DIEFENTHAELER, F.; VAZ, M. A. Effect of light emitting diodes therapy (LEDT) on knee extensor muscle fatigue. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.28, n.5, p.653-658, 2010a.

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. **European Journal of Applied Physiology**, v.110, p.789-796, 2010b.

BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, n.1, p.70-84, 2000.

BATTERHAM, A. M.; HOPKINS, W. G. Making meaningful inferences about magnitudes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v.1, p.50-57, 2006.

BAXTER, G. D. **Therapeutic lasers: theory and practice**. New York: Churchill Livingstone, 1994.

BECKERMAN, H.; BIE, R. A.; BOUTER, L. M.; DE CUYPER, H. J.; OOSTENDORP, R. A. B. The efficacy of laser therapy for musculoskeletal and skin disorders: A criteria-based meta-analysis of randomized clinical trials. **Physical Therapy**, v.72, n.7, p.483-491, 1992.

BERG, K. Endurance training and performance in runners: research limitations and unanswered questions. **Sports Medicine**, v.33, n.1, p.59-73, 2003.

BILLAT, V. L. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. **Sports Medicine**, v.22, p.157-175, 1996.

BILLAT, V. L.; FLECHET, B.; PETIT, B.; MURIAUX, G.; KORALSZTEIN, J. P. Interval training at  $VO_{2MAX}$ : effects on aerobic performance and overtraining markers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.31, p.156-163, 1999.

BILLAT, V. L.; DEMARLE, A.; SLAWINSKI, J.; PAIVA, M.; KORALSZTEIN, J. P. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.33, n.12, p.2089-2097, 2001.

BOONE, J.; BOURGOIS, J. The oxygen uptake response to incremental ramp exercise. **Sports Medicine**, v.42, n.6, p.511-526, 2012.

BORG, G. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.14, p.377-381, 1982.

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 in Medical Science**, v.29, n.3, p.1139-1144, 2013.

BORSA, P. A.; LARKIN, K. A.; TRUE, J. M. Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. **Journal of Athletic Training**, v.48, n.1, p.57-67, 2013.

BROOKS, G. A.; DUBOCHAUD, H.; BROWN, M.; SICURELLO, J. P.; ERIC BUTZ, C. Role of mitochondrial lactate dehydrogenase and lactate oxidation in the intracellular lactate shuttle. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.96, n.3, p.1129-1134, 1999.

CADORE, E. L.; PINTO, R. S.; ALBERTON, C. L.; PINTO, S. S.; LHULLIER, F. L.; TARTARUGA, M. P.; CORREA, C. S.; ALMEIDA, A. P.; SILVA, E. M.; LAITANO, O.; KRUEL, L. F. Neuromuscular economy, strength, and endurance in healthy elderly men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.25, n.4, p.997-1003, 2011.

CAIRS, S. P. Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? **Sports Medicine**, v.36, n.4, p.279-291, 2006.

CAMIC, C. L.; KOVACS, A. J.; ENQUIST, E. A.; MCLAIN, T. A.; HILL, E. C. Muscle activation of the quadriceps and hamstrings during incremental running. **Muscle and Nerve**, v.52, n.6, p.1023-1029, 2015.

CHAVANTES, M. C.; JATENE, A. D. Aplicação do laser na área cardiovascular. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v.54, n.1, p.63-68, 1990.

CHIAMPAS G. T.; GOYAL, A. V. Innovative operations measures and nutritional support for mass endurance events. **Sports Medicine**, v.45, p.S61-S69, 2015.

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

COQUART, J. B.; GARCIN, M.; PARFITT, G.; TOURNY-CHOLLET, C.; ESTON, R. G. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion. **Sports Medicine**, v.44, p.563-578, 2014.

CORAZZA, A. V. **Fotobiomodulação comparativa entre laser e LED de baixa intensidade na angiogênese de feridas cutâneas de ratos.** Dissertação (mestrado em Bioengenharia) Programa de Pós Graduação Inerunidade em Bioengenharia ó Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2005.

CRESSONI, M. D.; DIB GIUSTI, H. H.; CASAROTTO, R. A.; ANARUMA, C. A. The effects of a 785 nm AlGalnP laser on the regeneration of rat anterior tibialis muscle after surgically-induced injury. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.26, n.5, p.461-466, 2008.

CROZARA, L. F.; CASTRO, A.; DE ALMEIDA NETO, A. F.; LAROCHE, D. P.; CARDOZO, A. C.; GONÇALVES, M. Utility of electromyographic fatigue threshold during treadmill running. **Muscle and Nerve**, v.52, n.6, p.1030-1039, 2015.

CURRELL, K.; JEUKENDRUP, A. E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. **Sports Medicine**, v.38, n.4, p.297-316, 2008.

DA SILVA ALVES, M. A.; PINFILDI, C. E.; NILSEN NETO, L.; 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 in Medical Science**, v.29, p.1945-1951, 2014.

DAY, J. R.; ROSSITER, H. B.; COATS, E. M.; SKASICK, A.; WHIPP, B. J. The maximally attainable VO<sub>2</sub> during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. **Journal of Applied Physiology**, v.95, p.1901-1907, 2003.

DE ALMEIDA, P.; LOPES-MARTINS, R. A. B.; DE MARCHI, T.; TOMAZONI, S. S.; ALBERTINI, R.; CORREA, J. C. F.; ROSSI, R. P.; MACHADO, G. P.; DA SILVA, D. P.; BJORDAL, J. M.; LEAL JUNIOR, E. C. P. Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? **Lasers in Medical Science**, v.27, p.453-458, 2012.

DE MARCHI, T. **Efeitos da laser terapia de baixa potência sobre o estresse oxidativo, fadiga e dano muscular induzidos pelo exercício físico**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia ó Universidade de Caxias do Sul, 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 in Medical Science**, v.27, p.231-236, 2012.

DE MARCHI, T.; SCHMITT, V. M.; FABRO, C. D. S.; DA SILVA, L. L.; SENE, J.; TAIROVA, O.; SALVADOR, M. Phototherapy for improvement of performance and exercise recovery: comparison of 3 commercially available devices. **Journal of Athletic Training**, v.52, n.2, p.429-438, 2017.

DELLAGRANA, R. A.; GUGLIELMO, L. G. A.; SANTOS, B. V.; HERNANDEZ, S. G.; DA SILVA, S. G.; CAMPOS, W. Physiological, anthropometric, strength, and muscle power characteristics correlates with running performance in young runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.29, n.6, p.1584-1591, 2015.

DELLAGRANA, R. A.; ROSSATO, M.; SAKUGAWA, R. L.; BARONI, B. M.; DIEFENTHAELER, F. Photobiomodulation therapy on physiological and performance parameters during running tests: dose-response effects. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 2017a. No Prelo.

DELLAGRANA, R. A.; ROSSATO, M.; SAKUGAWA, R. L.; LAZZARI, C. D.; BARONI, B. M.; DIEFENTHAELER, F. Dose-response effect of photobiomodulation therapy on neuromuscular economy during submaximal running. **Lasers in Medical Science**, 2017b. No Prelo.

DOS REIS, F. A.; DA SILVA, B. A. K.; LARAIA, E. M. S.; DE MELO, R. M.; SILVA, P. H.; LEAL JUNIOR, E. C. P.; DE CARVALHO, P. T. C. Effects of pre- or post-exercise low-level laser therapy (830 nm) on skeletal muscle fatigue and biochemical markers of recovery in humans: double-blind placebo-controlled trial. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.32, n.2, p.106-112, 2014.

DULHUNTY, A. F. Excitation-contraction coupling from the 1950s into the new millennium. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**, v.33, p.763-772, 2006.

EINSTEIN, A. Z. Zur Quantentheorie der Strahlung. **Physik Zeitschr**, v.18, p.121-128, 1917.

ENWEMEKA, C. S.; REDDY, K. The biological effects of laser therapy and other physical modalities on consecutive tissue repair process. **Laser Therapy**, v.12, p.22-30, 2000.

ENWEMWKA, C. S.; PARKER, J. C.; DOWDY, D. S.; HARKNESS, E. E.; SANDFORD, L. F.; WOODRUFF, L. D. The efficacy of low-power lasers in tissue repair and pain control: A meta-analysis study. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.22, n.4, p.323-329, 2004.

ENWEMWKA, C. S. Intricacies of dose in laser phototherapy for tissue repair and pain relief. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.27, n.3, p.387-393, 2009.

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 and Laser in Medicine**, v.1, n.4, p.267-286, 2012.

FERRARESI, C.; BELTRAME, T.; FABRIZZI, F.; 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. **Physiotherapy Theory and Practice**, v.31, n.5, p.354-361, 2015a.

FERRARESI, C.; SOUSA, M. V. P.; HUANG, Y.; BAGNATO, V. S.; PARIZOTTO, N. A.; HAMBLIN, M. R. Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. **Lasers in Medical Science**, v.30, n.4, p.1259-1267, 2015b.

FERREIRA, D. M.; ZÂNGARO, R. A.; VILLAVERDE, A. B.; CURY, Y.; FRIGO, L.; PICOLO, G.; LONGO, I.; BARBOSA, D. G. Analgesic effect of He-Ne (632.8nm) low-level laser therapy on acute inflammatory pain. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.23, n.2, p.177-181, 2005.

FOSTER, C.; LUCIA, A. Running economy: the forgotten factor in elite performance. **Sports Medicine**, v.37, n.4-5, p.316-319, 2007.

FRIDÉN, J.; SJÖSTRÖM, M.; EKBLÖM, B. Muscle fibre type characteristics in endurance trained and untrained individuals. **European Journal of Applied Physiology**, v.52, p.266-271, 1984.

FRITSCH, C. G.; DORNELLES, M. P.; SEVERO-SILVEIRA, L.; MARQUES, V. B.; ROSSO, I. A.; BARONI, B. M. Effects of low-level laser therapy applied before or after plyometric exercise on muscle damage markers: randomized, double-blind, placebo-controlled trial. **Lasers in Medical Science**, v.31, p.1935-1942, 2016.

FRY, A. C. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. **Sports Medicine**, v.34, n.10, p.663-679, 2004.

GANDEVIA, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v.81, n.4, p.1726-1771, 2001.

GASKILL, S. E.; RUBY, 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. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.33, n.11, p.1841-1848, 2001.

GASPAR, L. Professor Endre Mester, the father of photobiomodulation. **Journal of Laser Dentistry**, v.17, n.3, p.146-148, 2009.

GASTIN, P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, v.31, n.10, p.725-741, 2001.

GORGEY, A. S.; WADEE, A. N.; SOBHI, N. N. The effect of low-level laser therapy on electrically induced muscle fatigue: A pilot study. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.26, n.5, p.501-506, 2008.

HAYWORTH, C. R.; ROJAS, J. C.; PADILHA, E.; HOLMES, G. M.; SHERIDAN, E. C.; GONZALEZ-LIMA, F. In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. **Photochemistry and Photobiology**, v.86, p.673-680, 2010.

HEMMINGS, T. J.; KENDALL, K. L.; DOBSON, J. L. Identifying dosage effect of light-emitting diode therapy on muscular fatigue in quadriceps. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.31, n.2, p.395-402, 2017.

HEPPLE, R. T. The role of O<sub>2</sub> supply in muscle fatigue. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.27, p.56-69, 2002.

HERMENS, H. J.; FRERIKS, B.; MERLETT, R.; STEGEMAN, D.; BLOK, J.; RAU, G.; DISSELHORST-KLUG, C.; HÄGG, G. M. **European recommendations for surface electromyography: results of the SENIAM project**. Roessingh Research and Development: Enschede, 1999.

HIGASHI, R. H.; TOMA, R. L.; TUCCI, H. T.; PEDRONI, C. R.; FERREIRA, P. D.; BALDINI, G. S.; AVEIRO, M. C.; BORGHI-SILVA, A.; OLIVEIRA, A. S.; RENNO, A. C. M. Effects of low-level

laser therapy on biceps braquialis muscle fatigue in young women. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.31, n.12, p.586-594, 2013.

HOFFMAN, J. R.; KRAEMER, W. J.; BHASIN, S.; STORER, T.; RATAMESS, N. A.; HAFF, G. G.; WILLOUGHBY, D. S.; ROGOL, A. D. Position stand on androgen and human growth hormone use. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.23, n.5, p.S1-S59, 2009.

HUANG, Y.; SHARMA, S. K.; CARROLL, J.; HAMBLIN, M. R. Biphasic dose response in low level laser therapy ó An update. **Dose Response**, v.9, p.602-618, 2011.

IHSAN, F. R. M. Low-level laser therapy accelerates collateral circulation and enhances microcirculation. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.23, n.3, p.289-294, 2005.

JOHNSON, M. A.; POLGAR, J.; WEIGHTMAN, D.; APPLETON, D. Data on the distribution of fiber types in thirty-six human muscles. An autopsy study. **Journal of the Neurological Sciences**, v.18, p.111-129, 1973.

JONES, A. M. The physiology of the world record holder for the women's marathon. **International Journal of Sports Science and Coaching**, v.1, p.101-116, 2006.

KARU, T. Photobiology of low-power laser effects. **Health Physics**, v.56, n.5, p.691-704, 1989.

KARU, T. Primary and secondary mechanism of action of visible to near-IR radiation on cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.49, p.1-17, 1999.

KARU, T. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. **IUBMB Life**, v.62, n.8, p.607-610, 2010.

KEBLANOV, G. I.; KREININA, M. V.; POLTANOV, E. A.; KHRISTOFORA, T. V.; VLADIMIROV, Y. A. Mechanism of therapeutic effect of low-intensity infrared laser radiation. **Bulletin of Experimental Biology and Medicine**, v.131, n.3, p.286-289, 2001.

KELENCZ, C. A.; MUÑOZ, I. S. S.; AMORIM, C. F.; NICOLAU, R. A. Effect of low-power Gallium-Aluminum-Arsenium noncoherent light (640 nm) on muscle activity: a clinical study. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.28, n.5, p.647-652, 2010.

KUIPERS, H.; RIETJENS, G.; VERSTAPPEN, F.; SCHOENMAKERS, H.; and HOFMAN, G. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. **International Journal of Sports Medicine**, v.24, p.486-491, 2003.

LAAKSO, L.; RICHARDSON, C.; CRAMOND, T. Factors affecting low level laser therapy. **Australian Journal of Physiotherapy**, v.39, n.2, p.95-99, 1993.

LANFERDINI, F. J.; BINI, R. R.; BARONI, B. M.; KLEIN, K. D.; CARPES, F. P.; VAZ, M. A. Low-level laser therapy improves performance and reduces fatigue in competitive cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 2017a. No Prelo.

LANFERDINI, F. J.; KRÜGER, R. L.; BARONI, B. M.; LAZZARI, C.; FIGUEIREDO, P.; REISCHASK-OLIVEIRA, A.; VAZ, M. A. Low-level laser therapy improves the VO<sub>2</sub> kinetics in competitive cyclists. **Lasers in Medical Science**, 2017b. No Prelo.

LARKIN-KAISER, K. A.; CHRISTOU, E.; TILLMAN, M.; GEORGE, S.; BORSA, P. A. Near-infrared light therapy to attenuate strength loss after strenuous resistance exercise. **Journal of Athletic Training**, v.50, n.1, p.45-50, 2015.

LARKIN-KAISER, K. A.; BORSA, P. A.; BAWEJA, H. S.; MOORE, M. A.; TILLMAN, M. D.; GEORGE, S. Z.; CHRISTOU, E. A. Photobiomodulation delays the onset of skeletal muscle fatigue in a dose-dependent manner. **Lasers in Medical Science**, v.31, n.7, p.1325-1332, 2016.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. A. B.; DALAN, F.; FERRARI, M.; SBABO, F. M.; GENEROSI, R. A.; BARONI, B. M.; PENNA, S. C.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise induced skeletal muscle fatigue in humans. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.26, n.5, p.419-424, 2008.

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 exercise on skeletal muscle recovery in athletes. **Lasers in Medical Science**, v.24, p.857-863, 2009a.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. A. B.; ROSSI, R. P.; DE MARCHI, T.; BARONI, B. M.; 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 in Surgery and Medicine**, v.41, p.572-577, 2009b.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. A. B.; BARONI, B. M.; DE MARCHI, T.; ROSSI, R. P.; GROSSELLI, D.; GENEROSI, R. A.; GODOI, V.; BASSO, M.; MANCALOSSI, J. L.; BJORDAL, J. M. Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLT) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.27, n.4, p.617-623, 2009c.

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 in Medical Science**, v.24, p.425-431, 2009d.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. A. B.; FRIGO, L.; DE MARCHI, T.; ROSSI, R. P.; GODOI, V.; TOMAZONI, S. S.; SILVA, D. P.; BASSO, M.; LOTTI FILHO, P.; CORSETTI, F. V.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v.40, n.8, p.524-532, 2010.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; GODOI, V.; MANCALOSSI, J. L.; ROSSI, R. P.; DE MARCHI, T.; PARENTE, M.; GROSSELLI, 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 ó preliminary results. **Lasers in Medical Science**, v.26, p.493-501, 2011.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; VANIN, A. A.; MIRANDA, E. F.; 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 in Medical Science**, v.30, n.2, p.925-939, 2015.

LOPES-MARTINS, R. A.; ALBERTINI, R.; MARTINS, P. S.; BJORDAL, J. M.; FARIA NETO, H. C. Spontaneous effects of low-level laser therapy (650 nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.23, n.4, p.377-381, 2005.

LOW, J.; REED, A. **Eletroterapia explicada: princípios e práticas**. São Paulo: Manole, 2001.

MACIEL, T. S.; MUÑOZ, I. S. S.; NICOLAU, R. A.; NOGUEIRA, D. V.; HAUCK, L. A.; OSÓRIO, R. A. L.; PAULA JUNIOR, R. A. Phototherapy effect on the muscular activity of regular physical activity practitioners. **Lasers in Medical Science**, v.29, n.3, p.1145-1152, 2014.

MAK, M. C. H.; CHEING, G. L. Y. Immediate effects of monochromatic infrared energy on microcirculation in healthy subjects. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.30, n.4, p.193-199, 2012.

MALTA, E. S.; DE POLI, R. A. B.; BRISOLA, G. M. P.; MILIONI, F.; MIYAGI, W. E.; MACHADO, F. A.; ZAGATTO, A. M. Acute LED irradiation does not change the anaerobic capacity and time to exhaustion during a high-intensity running effort: a double-blind, crossover, and placebo-controlled study. **Lasers in Medical Science**, v.31, n.7, p.1473-1480, 2016.

MANTEIFEL, V. M.; KARU, T. Structure of mitochondria and activity of their respiratory chain in successive generations of yeast cells

exposed to He-Ne laser light. **Biology Bulletin**, v.32, n.6, p.556-566, 2005.

MCLAUGHLIN, J. E.; HOWLEY, E. T.; BASSETT JR, D. R.; THOMPSON, D. L.; FITZHUGH, E. C. Test of the classic model for predicting endurance running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.42, n.5, p.991-997, 2010.

MESTER, E. The use of the laser beam in therapy. **Orvosi Hetilap**, v.107, n.22, p.1012-1016, 1966.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; JONES, A. M. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. **Sports Medicine**, v.37, n.10, p.857-880, 2007.

MINATEL, D. G.; FRADE, M. A.; FRANÇA, S. C.; ENWEMEKA, C. S. Phototherapy promotes healing of chronic diabetic leg ulcers that failed to respond to other therapies. **Lasers in Surgery and Medicine**, v.41, n.6, p.433-441, 2009.

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

MIRANDA, E. F.; VANIN, A. A.; TOMAZONI, S. S.; GRANDINETTI, V. S.; PAIVA, P. R. V.; MACHADO, C. S. M.; MONTEIRO, K. K. D. S.; CASALECHI, H. L.; CARVALHO, P. T. C.; LEAL JUNIOR, E. C. P. Using pre-exercise photobiomodulation therapy combining super-pulsed lasers and light-emitting diodes to improve performance in progressive cardiopulmonary exercise tests. **Journal of Athletic Training**, v.51, n.3, 2016.

MIRANDA, E. F.; TOMAZONI, S. S.; PAIVA, P. R. V.; PINTO, H. D.; SMITH, D.; SANTOS, L. A.; DE CARVALHO, P. T. C.; LEAL JUNIOR, E. C. P. When is the best moment to apply photobiomodulation therapy (PBMT) when associated to a treadmill endurance-training program? A randomized, triple-blinded, placebo-controlled clinical trial. *Lasers in Medical Science*, 2017. No Prelo.

NIELSEN, O. B.; PAOLI, F. V. Regulation of Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> homeostasis and excitability in contracting muscles: implications for fatigue. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v.34, p.974-984, 2007.

NOBLE, B.; ROBERTSON, R. **Perceived Exertion**. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996.

ORON, U.; ILIC, S.; DE TABOADA, L.; STREETER, J. Ga-As (808 nm) laser irradiation enhances ATP production in human neural cells in culture. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.25, n.3, p.180-182, 2007.

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 in postmenopausal women. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.29, n.9, p.639-645, 2011.

PASSARELA, S.; OSTUNI, A.; ATLANTE, A.; QUALIARIELLO, E. Increase in the ADP/ATP exchange in rat liver mitochondria irradiated in vitro by Helium-Neon laser. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.156, n.2, p.978-986, 1988.

PERRY, C. G. R. Mitochondrial adaptations to exercise in human skeletal muscle: a possible role for cristae density as a determinant of muscle fitness. **Journal of Physiology**, v.595, n.9, p.2773-2774, 2017.

PINTO, H. D.; VANIN, A. A.; MIRANDA, E. F.; TOMAZONI, S. S.; JOHNSON, D. S.; ALBUQUERQUE-PONTES, G. M.; ALEIXO JUNIOR, I. O.; GRANDINETTI, V. S.; CASALECHI, H. L.; DE CARVALHO, P. T. C.; LEAL JUNIOR, E. C. P. Photobiomodulation therapy improves performance and accelerates recovery of high-level rugby players in field test: a randomized, crossover, double-blind, placebo-controlled clinical study. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.30, n.12, p.3329-3338, 2016.

REDDY, G. K. Comparison of the photostimulatory effects of visible He-Ne and infrared Ga-As lasers on healing impaired diabetic rat wounds. **Lasers in Surgery and Medicine**, v.33, n.5, p.344-351, 2003.

REDDY, G. K. Photobiological basis and clinical role of low-intensity lasers in biology and medicine. **Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery**, v.22, n.2, p.141-150, 2004.

REIS, M. C. B.; ANDRADE, E. A. F.; BORGES, A. C. L.; SOUZA, D. Q.; LIMA, F. P. S.; NICOLAU, R. A.; ANDRADE, A. O.; LIMA, M. O. Immediate effects of low-intensity laser (808 nm) on fatigue and strength of spastic muscle. **Lasers in Medical Science**, v.30, p.1089-1096, 2015.

ROSSATO, M.; DELLAGRANA, R. A.; LANFERDINI, F. J.; SAKUGAWA, R. L.; LAZZARI, C. D.; BARONI, B. M.; DIEFENTHAELER, F. Effect of pre-exercise phototherapy applied with different cluster probe sizes on elbow flexor muscle fatigue. **Lasers in Medical Science**, v.31, n.6, p.1237-1244, 2016.

SAUNDERS, P. U.; PYNE, D. B.; TELFORD, R. D.; HAWLEY, J. A. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, v.34, 465-485, 2004.

SAUNDERS, P. U.; COX, A. J.; HOPKINS, W. G.; PYNE, D. B. Physiological measures tracking seasonal changes in peak running speed. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v.5, 230-238, 2010.

SCHAWLOW, A. L. Principles of laser. **Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery**, v.13, n.3, p.127-130, 1995.

SCHUBERT, M. M.; ASTORINO, T. A. A systematic review of the efficacy of ergogenic aids for improving running performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.27, n.6, p.1699-1707, 2013.

SCRIBBANS, T. D.; VCSEY, S.; HANKISON, P. B.; FOSTER, W. S.; GURD, B. J. The effect of training intensity on  $VO_{2MAX}$  in young healthy adults: A meta-regression and meta-analysis. **International Journal of Exercise Science**, v.9, p.230-247, 2016.

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. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.95, p.89-92, 2009.

SIMUNOVIC, Z.; IVANKOVICH, A. D.; DEPOLO, A. Wound healing of animal and human body sport and traffic accident injuries using low-level laser therapy treatment: a randomized clinical study of seventy-four patients with control group. **Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery**, v.18, n.2, p.67-73, 2000.

SOUZA, K. M.; VIEIRA, G.; BALDI, M. F.; GUGLIELMO, L. G. A.; DE LUCAS, R. D.; DENADAI, B. S. Physiological and neuromuscular variables associated to aerobic performance in endurance runners: effects of the event distance. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.17, p.40-44, 2011.

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

STRATTON, E.; O'BRIEN, B. J.; HARVEY, J.; BLITVICH, J.; MCNICOLL, A. J.; JANISSEN, D.; PATON, C.; KNEZ, W. Treadmill velocity best predicts 5000-m run performance. **International Journal of Sports Medicine**, v.30, p.40-45, 2009.

TOMA, R. L.; TUCCI, H. T.; ANTUNES, H. K. M.; PEDRONI, C. P.; OLIVEIRA, A. S.; BUCK, I.; FERREIRA, P. D.; VASSÃO, P. G.; RENNO, A. C. M. Effect of 808 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. **Lasers in Medical Science**, v.28, n.1375-1382, 2013.

TONKONGONI, M.; SAHLIN, K. Physical exercise and mitochondrial function in human skeletal muscle. **Exercise and Sport Sciences Review**, v.30, n.3, p.129-137, 2002.

VANIN, A. A.; DE MARCHI, T.; TOMAZONI, S. S.; TAIROVA, O.; CASALECHI, H. L.; DE CARVALHO, P. T. C.; BJORDAL, J. M.; LEAL JUNIOR, E. C. P. Pre-exercise infrared low-level laser therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and post-exercise recovery in humans, what is the optimal dose? A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Photomedicine and Laser Surgery**, v.34, n.10, p.1-10, 2016.

VANIN, A. A.; VERHAGEN, E.; BARBOZA, S. D.; COSTA, L. O. P.; LEAL JUNIOR, E. C. P. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. **Lasers in Medical Science**. 2017. No Prelo.

VASSÃO, P. G.; TOMA, R. L.; ANTUNES, H. K. M.; TUCCI, H. T.; RENNO, A. C. M. Effects of photobiomodulation on the fatigue level in elderly women: an isokinetic dynamometer evaluation. **Lasers in Medical Science**, v.31, n.2, p.275-282, 2016.

WESTERBLAD, H.; BRUTON, J. D.; KATZ, A. Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. **Experimental Cell Research**, v.316, p.3093-3099, 2010.

WORLD ANTI-DOPING AGENCY. World anti-doping code, 2009. Disponível em: <https://www.wada-ama.org/en/resources/the-code/world-anti-doping-code>. Acesso em 20 de maio de 2016.

WORLD ASSOCIATION OF LASER THERAPY. Recommended anti-inflammatory dosage for low level laser therapy, 2010. Disponível em: <http://www.walt.nu/dosage-recommendations.html>. Acesso em 13 de agosto de 2017.



**ANEXOS**



# Anexo I ó Artigo aceito para publicação no *Journal of Strength and Conditioning Research*

## PHOTOBIO-MODULATION THERAPY ON PHYSIOLOGICAL AND PERFORMANCE PARAMETERS DURING RUNNING TESTS: DOSE-RESPONSE EFFECTS

RODOLFO A. DELLAGRANA,<sup>1</sup> MATEUS ROSSATO,<sup>1,2</sup> RAPHAEL L. SAKUGAWA,<sup>1</sup> BRUNO M. BARONI,<sup>3</sup> and FERNANDO DIEFENTHAELER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Biomecânica, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina, South Carolina, Brazil;

<sup>2</sup>Laboratório de Desempenho Humano, Faculdade de Educação Física, Universidade Federal do Amazonas, AM, Brazil; and

<sup>3</sup>Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, RS, Brazil

### ABSTRACT

Dellagrana, RA, Rossato, M, Sakugawa, RL, Baroni, BM, and Diefenthaeler, F. Photobiomodulation therapy on physiological and performance parameters during running tests: Dose-response effects. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2018 –This study was aimed at verifying effects of photobiomodulation therapy (PBMT) with different energy doses (15, 30, and 60 J per site) on physiological and performance parameters during running tests. Fifteen male recreational runners participated in a crossover, randomized, double-blind, and placebo-controlled trial. They performed testing protocol in 5 sessions with different treatments: control, placebo, and PBMT with 15, 30, or 60 J per site (14 sites in each lower limb). Physiological and performance variables were assessed during submaximal (at 8 and 9 km·h<sup>-1</sup>) and maximal running tests. Photobiomodulation therapy with 30 J significantly ( $p \leq 0.05$ ) improved running economy (RE) at 8 and 9 km·h<sup>-1</sup> (3.01 and 3.03%, respectively), rate of perceived exertion (RPE) at 8 km·h<sup>-1</sup> (7.86%), velocity at  $\dot{V}_{O_2\max}$  (3.07%), peak velocity (PV) (1.49%), and total time to exhaustion (TTE) (3.41%) compared with placebo. Photobiomodulation therapy with 15 J improved running economy at 9 km·h<sup>-1</sup> (2.98%), rate of perceived exertion at 9 km·h<sup>-1</sup> (4.80%), PV (1.33%), total time to exhaustion (3.06%), and total distance (4.01%) compared with the placebo, whereas PBMT with 60 J only increased RE at 9 km·h<sup>-1</sup> (3.87%) compared with placebo. All PBMT doses positively affected physiological and/or performance parameters; however, magnitude-based inference reported that PBMT applied with 30 J led to more beneficial effects than 15 and 60 J.

**KEY WORDS** running economy, ergogenic aid, low-level laser therapy, light-emitting diode therapy

Address correspondence to Fernando Diefenthaeler, fdefenthaeler@ufsc.br, 06(00)/1-9

*Journal of Strength and Conditioning Research*  
© 2018 National Strength and Conditioning Association

### INTRODUCTION

A large body of evidence indicates that the success in middle and long-distance running can be attributed to physiological parameters (29,42). Among them, the maximum oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2\max}$ ) is frequently used to determine athlete's aerobic fitness (4). However,  $\dot{V}_{O_2\max}$  alone is not able to explain the success during running events; thus, indices related to blood lactate concentration ([Lac]) and running economy (RE) must be considered for runners with similar  $\dot{V}_{O_2\max}$  (29,30).

For runners, strategies to improve physiological and performance parameters, including footwear, timing, surface conditions, and training methods have not changed much during the last 3 decades (38). Furthermore, some drugs used as an ergogenic aid in different sports have been prohibited by the anti-doping agencies (17). In this scenario, preconditioning with photobiomodulation therapy (PBMT) appears as an interesting choice to improve muscular performance (26), because the PBMT is a nonpharmacological and non-invasive technique. Evidences suggest that PBMT is able to reduce fatigue and/or improve human performance in strength exercises of isolated muscle groups (3,25,26,35). However, a few studies have assessed the effects of PBMT on running events (11,14,31).

Previous studies involving PBMT and running tests found increased performance in untrained participants (11,31) and in a single elite athlete (14). However, mechanisms behind the ergogenic effect of PBMT on running performance remain unclear. A key point is the monochromatic light absorption by cellular respiratory chain through endogenous chromophores, which transduce light energy in chemical energy inside the plasmatic membrane (20,34). The light energy absorbed by cells provoke structural and metabolic changes in mitochondria (e.g., increased mitochondrial size and activity of oxidative enzymes), which enhances the adenosine triphosphate (ATP) synthesis (28). Considering that the formation of so-called giant mitochondria through the merging of membranes of smaller neighboring mitochondria (i.e., structural changes) is dependent of gene



Anexo II ó Artigo publicado na *Lasers in Medical Science*

Author's personal copy

Lasers Med Sci (2018) 33:329–336  
https://doi.org/10.1007/s10103-017-2378-4

ORIGINAL ARTICLE

**Dose-response effect of photobiomodulation therapy on neuromuscular economy during submaximal running**Rodolfo André Dellagrana<sup>1</sup> · Mateus Rossato<sup>1,2</sup> · Raphael Luiz Sakugawa<sup>1</sup> · Caetano Decian Lazzari<sup>1</sup> · Bruno Manfredini Baroni<sup>3</sup> · Fernando Diefenthaler<sup>1</sup> Received: 25 July 2017 / Accepted: 26 October 2017 / Published online: 3 November 2017  
© Springer-Verlag London Ltd. 2017

**Abstract** The purpose of this study was to verify the photobiomodulation therapy (PBMT) effects with different doses on neuromuscular economy during submaximal running tests. Eighteen male recreational runners participate in a randomized, double-blind, and placebo-controlled trial, which each participant was submitted to the same testing protocol in five conditions: control, placebo, and PBMT with doses of 15, 30, and 60 J per site (14 sites in each lower limb). The submaximal running was performed at 8 and 9 km h<sup>-1</sup> during 5 min for each velocity. Muscle activation of the *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM), *rectus femoris* (RF), *biceps femoris* (BF), and *gastrocnemius lateralis* (GL) was collected during the last minute of each running test. The root mean square (RMS) was normalized by maximal isometric voluntary contraction (MIVC) performed a priori in an isokinetic dynamometer. The RMS sum of all muscles (RMS<sub>11C</sub>) was considered as main neuromuscular economy parameter. PBMT with doses of 15, 30, and 60 J per site [33 diodes = 5 lasers (850 nm), 12 LEDs (670 nm), 8 LEDs (880 nm), and 8 LEDs (950 nm)] or placebo applications occurred before running tests. For the statistical analysis, the effect size was calculated. Moreover, a qualitative inference

was used to determine the magnitude of differences between groups. Peak torque and RMS during MIVCs showed small effect sizes. According to magnitude-based inference, PBMT with dose of 15 J per site showed *possibly and likely beneficial* effects on neuromuscular economy during running at 8 and 9 km h<sup>-1</sup>, respectively. On other hand, PBMT with doses of 30 and 60 J per site showed *possible beneficial* effects only during running at 9 km h<sup>-1</sup>. We concluded that PBMT improve neuromuscular economy and the best PBMT dose was 15 J per site (total dose of 420 J).

**Keywords** Low-level laser therapy · Light-emitting diodes therapy · Electromyography · Ergogenic aid

**Introduction**

Several studies have investigated the effect of photobiomodulation therapy (PBMT) applied before exercise on muscle performance and delay the onset of fatigue [1]. The effects of PBMT seem to be associated with light absorption by specific mitochondrial photoreceptors, which can provoke structural and metabolic changes in mitochondria [2] and can increase the activity of mitochondrial respiratory chain, oxygen consumption (VO<sub>2</sub>), and adenosine triphosphate (ATP) syntheses [2, 3]. Considering these effects, PBMT can also provide positive modulation of calcium (Ca<sup>2+</sup>) channels, improvement in formation of cross-bridges, and increases in activity of sodium (Na<sup>+</sup>) and potassium (K<sup>+</sup>) pump reducing the excess of extracellular potassium, which ensure the depolarization of muscle fibers in continuous exercises [4].

Few human studies have demonstrated positive effects of PBMT on muscle activation parameters [5–7], while others found no significant effects [8–12]. These contradictory findings are possibly related to the typical biphasic dose-response

✉ Fernando Diefenthaler  
fernando.diefenthaler@ufsc.br

<sup>1</sup> Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

<sup>2</sup> Human Performance Laboratory, Physical Education and Physical Therapy Faculty, Federal University of Amazonas, Manaus, AM, Brazil

<sup>3</sup> Graduate Program in Rehabilitation Sciences, Federal University of Health Sciences of Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brazil



## Anexo III ó Artigo submetido para a *International Journal of Sports Physiology and Performance*

28/01/2018

ScholarOne Manuscripts

 International Journal of Sports Physiology and Performance

# Home

 Author

 Review

### Submission Confirmation

 Print

Thank you for your submission

---

**Submitted to**

International Journal of Sports Physiology and Performance

**Manuscript ID**

USPP.2018-0083

**Title**

EFFECT OF PHOTOBIO-MODULATION THERAPY IN THE 1,500 m RUN: AN ANALYSIS OF PERFORMANCE AND INDIVIDUAL RESPONSIVENESS

**Authors**

Dellagrana, Rodolfo  
 Rosato, Mateus  
 Orsatto, Lucas  
 Sakugawa, Raphael  
 Baroni, Bruno  
 Diefenthaler, Fernando

**Date Submitted**

28-Jan-2018

---



---

[Author Dashboard](#)


---

© Clarivate Analytics | © ScholarOne, Inc., 2018. All Rights Reserved.  
 ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc.  
 ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.

 @ScholarOneNews | 
  System Requirements | 
  Privacy Statement | 
  Terms of Use