

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA
CENTRO DE DESPORTOS

Mateus Rossato

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DA TERAPIA COM
FOTOBIMODULAÇÃO (FLUÊNCIA, MOMENTO DE
APLICAÇÃO E DOSE DE ENERGIA) SOBRE AS RESPOSTAS
NEUROMUSCULARES AO EXERCÍCIO**

Florianópolis
2018

Mateus Rossato

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DA TERAPIA COM
FOTOBIMODULAÇÃO (FLUÊNCIA, MOMENTO DE
APLICAÇÃO E DOSE DE ENERGIA) SOBRE AS RESPOSTAS
NEUROMUSCULARES AO EXERCÍCIO**

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

Rossato, Mateus

Influência dos parâmetros da terapia com fotobiomodulação (fluência, momento de aplicação e dose de energia) sobre respostas neuromusculares ao exercício / Mateus Rossato ; orientador, Fernando Diefenthaler, 2018.

112 p.

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

Inclui referências.

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

Mateus Rossato

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DA TERAPIA COM
FOTOBIMODULAÇÃO (FLUÊNCIA, MOMENTO DE
APLICAÇÃO E DOSE DE ENERGIA) SOBRE AS RESPOSTAS
NEUROMUSCULARES AO EXERCÍCIO**

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, 18 de Maio de 2018.

Prof.^a, Dr.^a 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 – UFSC

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

Prof.^a Dr.^a Cintia De La Rocha Freitas (Membro interno)
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Dr. Juliano Dalpupo (Membro Interno)
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Darcí Antônio e Maria de Lourdes, a minha esposa Caren e aos meus irmãos Alexania e Marcus.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Darci Antonio Barbieri Rossato e Maria de Lurdes Dalmazzo Rossato que apesar de serem agricultores e com poucos estudos, sempre me incentivaram a seguir o caminho profissional que hoje culmina com a defesa desta tese.

A minha esposa Caren Michels, companheira nos momentos indispensável, nas alegrias e agonias que seguem a elaboração de uma tese. Te amo!

Aos meus irmãos, Marcus Antonio e Alexania Rossato que ao seu modo colaboraram que eu atingisse mais esse objetivo.

Não posso deixar de agradecer ao Professor Fernando Diefenthaler que além de orientador, também é um amigo e compadre. Como ele a relação orientando-orientador mostrou-se simples como deveria ser sempre.

O caminho percorrido para a elaboração desta tese ficou mais suave com a companhia de amigos que participaram decisivamente em todas as etapas. Desde a concepção das ideias até a revisão dos manuscritos. Nesse *roll* incluo o Rodolfo Dellagrana, Raphael Sakugawa e o Caetano Decian Lazzari. Sem esses parceiros possivelmente a Tese teria um percentual maior de transpiração.

O ambiente tenso característico da pós-graduação era suavizado pela convivência com os amigos feitos no BIOMECC. Nesses 4 anos, muito café durante a semana e cervejas nas sextas-feira foram tomadas em companhia do Bezerra E.W.S.; Tamborindeguy A.; Orsatto L.B.; Moura B.; Rodrigues O.A.F.; Follmer B.; Ache-Dias J.; Barth J.; Vieira M.; Lunardi M.; Nery S.; Garcias L.; Knih D.; Kons R.; Costa JR. Vocês mais me fizeram rir do que chorar.

Não poderia deixar de agradecer ao professor Antonio Renato Pereira Moro que foi parte importante na minha formação ainda no mestrado. Estendo os agradecimentos a mãezona Cintia de La Rocha Freitas, que apesar de pequena em estatura se mostrou com coração e ombros gigantes. A Daniele Detanico e o Juliano Dalpupo que sempre foram portos seguros para conversas discontraídas e boas risadas.

Ao professor Bruno Baroni, que com seu notório saber me ajudou na concepção das ideias, revisão dos artigos e hoje se faz membro da banca avaliadora.

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

RESUMO

A terapia com fotobiomodulação (PBMT) tem sido utilizada como recurso ergogênico para retardar a fadiga muscular em diversos modos de exercício. Apesar de sua ampla utilização, se faz necessário um maior conhecimento sobre parâmetros como a área irradiada, tempo-resposta e dose ideal para a obtenção dos efeitos positivos. O objetivo da presente tese foi investigar a influência dos parâmetros da terapia com fotobiomodulação (área irradiada, momento de aplicação e energia) sobre as respostas neuromusculares ao exercício. Para isso, três estudos foram delineados. Todos os estudos foram randomizados, cruzados, duplo-cego, controlado por placebo. No estudo 1, cada participante foi submetido ao mesmo protocolo de teste em quatro sessões com diferentes tratamentos: a) probe grande (PG)-ativo, b) probe pequeno (PP)-ativo, c) probe grande (PG)-placebo e d) probe pequeno (PP)-placebo. Contrações voluntárias isométricas máximas (CIVM) de flexão do cotovelo foram realizadas antes e após um protocolo de fadiga (60% da CIVM até a fadiga). A eletromiografia (EMG) do músculo *bíceps braquial* foi coletada durante todo o procedimento. A PBMT (60 J por músculo) e as aplicações de placebo foram realizadas sempre antes do protocolo de fadiga. No estudo 2, os participantes realizaram o mesmo protocolo em cinco sessões: a) controle, b) placebo (placebo aplicado tanto 6 horas antes e imediatamente antes do teste), c) 6h antes + imediatamente antes (PBMT aplicado tanto 6 horas antes e imediatamente antes do teste), d) 6h antes (PBMT aplicado 6 horas antes e placebo aplicado imediatamente antes do teste), e) imediatamente antes (placebo aplicado 6 horas antes e PBMT aplicado imediatamente antes do teste). A PBMT foi aplicada nos extensores do joelho (9 pontos, 30 J por ponto). Os valores de torque durante a CIVM foram avaliados antes e depois de um protocolo de fadiga isocinética (45 flexões-extensão do joelho realizada de maneira concêntrica a $180\text{ }^{\circ}\text{s}^{-1}$), associada à eletromiografia dos músculos do quadríceps [*Root Mean Square* (RMS) e mediana da frequência (MF)]. No estudo 3, cada participante realizou um protocolo de exercício em um dinamometro isocinético (5 séries de 10 contrações concêntricas máximas da extensão do joelho a $60\text{ }^{\circ}\text{s}^{-1}$) em seis sessões, separadas por uma semana cada. A condição de controle (sem tratamentos PBMT/placebo) foi aplicada na primeira e sexta sessões. As aplicações de placebo ou PBMT com 135, 270 ou 540 J / sobre o quadríceps foram randomizadas entre a segunda e quinta sessões. Essas doses de PBMT ou placebo foram aplicadas em dois momentos: 6h antes e imediatamente antes do exercício. Os

resultados do estudo 1 indicaram que a PBMT é capaz de aumentar o tempo de exaustão sem comprometer o pico de torque pós-fadiga, independentemente do tamanho do probe utilizado. Parâmetros eletromiográficos como o RMS e a MF não foram afetados pela PBMT. Os resultados do estudo 2 indicaram que a aplicação de PBMT “6h antes e imediatamente antes” do protocolo do exercício foi capaz de reduzir de aumentar o pico de torque pré, além de reduzir a fadiga (%de mudança no PT). Para o estudo 3, os resultados demonstram que PBMT com as doses de 135, 270 e 540 J, aplicadas em dois momentos (6 h antes + imediatamente antes do exercício), foram eficazes para reduzir a fadiga ($PT_{\text{isométrico}}$, $PT_{\text{Concêntrico}}$ e $W_{\text{concêntrico}}$) provocada pelo exercício de força com multi-séries, no entanto não efetiva para melhorar o desempenho. Em conclusão, a PBMT se mostrou mais efetiva para a redução da fadiga do que para o aumento do desempenho.

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

ABSTRACT

Photobiomodulation therapy (PBMT) has been used as an ergogenic aid to reduce the muscle fatigue in many exercise modes. Despite PBMT wide use, it is necessary to know more about parameters such as fluence, time-response and optimal dose to obtain positive effects. The aim of the present thesis was to investigate the influence of phototherapy treatment parameters (fluence, previous time to application and energy dose) on neuromuscular responses to exercise. For this, three studies were delineated. All studies were randomized, crossover, double-blind, placebo-controlled study. In study 1, each participant was submitted to the same test protocol in four sessions with different treatments: a) Probe Large (PL)-active, b) Probe Small (PS)-active, c) Probe Large (PL)-placebo and d) Probe Small (PS)-placebo. The maximum isometric voluntary contraction (MIVC) of elbow flexion was performed before and after fatigue protocol (60% of MIVC until fatigue). The electromyography (EMG) of the *brachial biceps* muscle was collected throughout the test procedure. Phototherapy (60 J per muscle) and placebo applications occurred before the fatigue protocol. In study 2, participants performed the same protocol in five sessions: a) control, b) placebo (placebo applied 6 hours before and immediately before the test), c) 6h before + immediately before (PBMT applied 6 hours before and immediately before the test), d) 6 h before (PBMT applied 6 hours before and placebo applied immediately before the test), e) immediately before (placebo applied 6 hours before and PBMT applied just before the test). PBMT was applied to knee extensors (9 points, 30 J per point). The maximal isometric voluntary contractions (MIVC) were assessed before and after an isokinetic fatigue protocol (45 knee flexions/extension performed concentrically at 180°s^{-1}), associated with quadriceps muscle electromyography [Root Mean Square (RMS) and median frequency (MF)]. In study 3, each participant performed an isokinetic protocol (5 sets of 10 maximal concentric contractions of the knee extension at 60°s^{-1}) in six sessions, one week apart. The control condition (no PBMT/ placebo treatments) was applied in the first and sixth sessions. The applications of placebo or PBMT with 135, 270 or 540 J / over the quadriceps were randomized between second and fifth sessions. These doses of PBMT or placebo were applied at two times: 6h before and immediately before exercise. The results of study 1 indicated that PBMT is capable of increasing the time of exhaustion without compromising post-fatigue peak torque, regardless of the size of the probe used. Electromyographic parameters

such as RMS and MF were not affected by PBMT. The results of study 2 indicated that the application of PBMT "6h before and immediately before" of the exercise protocol was able to reduce the increase of pre-peak torque, in addition to reducing fatigue (% change in PT). For study 3, the results demonstrate that PBMT with 135, 270 and 540 J applied at two times (6 h before + just before exercise) were effective in reducing fatigue ($PT_{\text{isometric}}$, $PT_{\text{concentric}}$ and $W_{\text{Concentric}}$) caused by multi-series force exercise, however not effective to improve performance. In conclusion, PBMT was shown to be more effective in reducing fatigue than in improving performance.

Key words: Low level Laser therapy, Light emitting diode therapy, Ergogenic aid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro eletromagnético.....	33
Figura 2: Fluxograma descrevendo as etapas do estudo 1	46
Figura 3: Fluxograma descrevendo os procedimentos do estudo 1. CIVM: Contração voluntária máxima isométrica.....	48
Figura 4: Parâmetros fototerápicos e locais de aplicação.....	49
Figura 5: Tempo para exaustão dos flexores do cotovelo para 60% da CIVM com Probe Grande (PG-Ativo), Probe Pequeno (PP-Ativo) e seus respectivos placebos (PG-Placebo e PP-Placebo).....	50
Figura 6: Valores de <i>Root Mean Square</i> (RMS) normalizados pela CIVM (A) e valores de mediana da frequência (MF) nos momentos Pré, durante o protocolo de exaustão e Pós. Onde ^a indica diferenças em relação ao Pré, em relação a 0%, em relação a 25%, em relação a 50%, em relação a 75% e em relação ao 100%.	51
Figura 7: Fluxograma do estudo 2.....	61
Figura 8: Parâmetros utilizados na aplicação com fototerapia no estudo 2.....	64
Figura 9: Mudanças absolutas e relativas (%) nos valores de pico de torque (PT) ativação do quadríceps (RMS _{QUAD}) e mediana da frequência (MF _{QUAD}) durante a CIVM _{PRE} e CIVM _{POS} para os 5 tratamentos. ^a indica diferença significativa em relação ao tratamento 6 horas antes + imediatamente antes.	68
Figura 10: Efeito de diferentes tratamentos com PBMT comparados com o placebo para o Pico de Torque Isométrico, ativação do grupo muscular quadríceps (RMS _{QUAD}) e mediana da frequência do quadríceps (MF _{QUAD}).....	68
Figura 11: Fluxograma descrevendo o design do estudo. Com exceção dos controles 1 e 2, a ordem dos demais são ilustrativas.....	79
Figura 12: Locais de aplicação e parâmetros da PBMT utilizados no estudo 3.	81
Figura 13: Efeito da PBMT com três diferentes doses no delta (pré vs. Pós protocolo de fadiga) para o pico de torque isométrico (PT _{iso}), Pico de torque concêntrico (PT _{con}) e trabalho concêntrico (W _{con}). Todas as doses foram comparadas com o placebo.	84
Figura 14: Efeito da PBMT com três diferentes doses no trabalho por série (WFADIGA) e no trabalho total (TWFADIGA) durante o protocolo de fadiga. Todas as doses de PBMT foram comparadas com o placebo.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de pico de torque pré e pós protocolo de fadiga nas condições de probe grande (PG) ativo e placebo e probe pequeno (PP) ativo e placebo.....	50
Tabela 2: Média e desvio padrão para o Pico de Torque Concêntrico (PT _{con}), Trabalho dos Extensores do Joelho (W) e ativação do quadríceps (RMS _{QUAD}) no início, meio, final e total do teste de fadiga isocinético (n=16).....	66
Tabela 3: Média e desvios padrão para pico de torque isométrico (PT _{ISO}), pico de torque concêntrico (PT _{CON}) e trabalho concêntrico (W _{CON}) nos diferentes tratamentos.....	83
Tabela 4: Média e desvios padrão do trabalho por série (W _{FADIGA}) e trabalho total (TW _{FADIGA}) durante protocolo de fadiga com diferentes tratamentos.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

λ – Comprimento de Onda
ADP – Adenosina Difosfato
ATP – Adenosina Trifosfato
BF – Músculo Bíceps Femoral
 Ca^{2+} – Cálcio
CK – Creatina Cinase
 Cl^- – Cloro
CTE – Cadeia Transportadora de Elétrons
CIVM – Contração Isométrica Voluntária Máxima
Cm – Centímetros
 Cm^2 – Centímetros quadrados
EMG – Eletromiografia
ERN – Espécies Reativas de Nitrogênio
ERO – Espécies Reativas de Oxigênio
 H^+ – Hidrogênio
Hz – Hertz
 K^+ – Potássio
IF – Índice de fadiga
J – Joules
 J/cm^2 – Joules por centímetro quadrado
LASER – Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação
LBP – Laserterapia de Baixa Potência
LDH – Lactato Desidrogenase
LEDs – Diodos Emissores de Luz
LEDT – Terapia com Diodos Emissores de Luz
MASER – Amplificação de Micro-ondas por Emissão Estimulada de Radiação
MDF – Mediana da Frequência
 Mg^{2+} – Magnésio
mm – milímetros
mW – Miliwatts
 mW/cm^2 – miliwatts por centímetro quadrado
 Na^+ – Sódio
N – Newton
 $\text{N}\cdot\text{m}$ – Newton por metro
nm – nanômetros
NAD – Nicotinamida e Adenina
 O_2 – Oxigênio
PBMT – Terapia com Fotobiomodulação (*Photobiomodulation therapy*)

PT – Pico de Torque

Pi – Fosfato Inorgânico

RF – Músculo Reto Femoral

RMS – *Root Mean Square*

TE – Tamanho do Efeito

VL – Músculo Vasto Lateral

VM – Músculo Vasto Medial

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I.....	23
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>	29
1.3.5	<i>Definição de termos</i>	29
	CAPÍTULO II.....	33
1.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	33
1.4.1	<i>Propriedades físicas da luz</i>	33
1.4.2	<i>Fontes de luz LASER e LEDs</i>	34
1.4.3	<i>Fotobiomodulação</i>	36
1.4.4	<i>PBMT e exercício</i>	37
3	CAPÍTULO III.....	41
3.1	RESULTADOS.....	41
3.1.1	<i>Artigo 1* – PBMT e Área Irradiada</i>	43
3.1.2	<i>Artigo 2* – PBMT e Tempo-Resposta</i>	57
3.1.3	<i>Artigo 3* – PBMT e Dose-Resposta</i>	75
4	CAPÍTULO IV.....	89
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
5	REFERÊNCIAS.....	91

1 CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A terapia com fotobiomodulação ou *photobiomodulation therapy* (PBMT) é definida como a utilização da energia luminosa, em comprimentos de onda entre 600-1000 nm (HADIS et al., 2016), para fins tanto preventivos quanto curativos (BORSA et al., 2013), podendo as fontes de luz ser provenientes de *LASER* (*light amplification by stimulated emission of radiation*) ou de LED (*light emitting diode*). Independente das fontes de luz (*LASER*, LED ou ambas) a aplicação PBMT tem se mostrado eficiente em uma série de condições que envolvem o reparo de tecidos (ENWEMEKA et al., 2004, LEAL-JUNIOR et al., 2013) e o controle da dor (ENWEMEKA et al., 2004, TUMILTY et al., 2009, HUANG et al., 2015). No âmbito do exercício físico, os estudos têm mostrado resultados interessantes, indicando que a aplicação PBMT é capaz de atenuar o processo de fadiga (LEAL-JUNIOR et al., 2009a, LEAL-JUNIOR et al., 2009b, PAOLILLO et al., 2013, TOMA et al., 2013, VASSÃO et al., 2015), reduzir as respostas inflamatórias provocadas por dano muscular (RIZZI et al., 2006, LEAL-JUNIOR et al., 2009b, BORGES et al., 2013, SILVEIRA et al., 2016) e aumentar o desempenho (FERRARESI et al., 2011, DE MARCHI et al., 2012, PAOLILLO et al., 2014, MIRANDA et al., 2016, DELLAGRANA et al., 2017, LANFERDINI et al., 2017).

Para estudos envolvendo exercício, a PBMT tem sido aplicada antes (LEAL-JUNIOR et al., 2009a, LEAL-JUNIOR et al., 2009b, BARONI et al., 2010 MACIEL et al., 2013, TOMA et al., 2013, VASSÃO et al., 2015, FERRARESI et al., 2015), durante (PAOLILLO et al., 2012) ou após os protocolos de teste (FERRARESI et al., 2010, BRITO-VIEIRA et al., 2012, CAMPOS et al., 2015, ZAGATTO et al., 2016). Quando a aplicação da PBMT é realizada antes dos protocolos de exercício, acredita-se que esta desempenhe um papel ergogênico (BORSA et al., 2013, LEAL JUNIOR et al., 2015, FERRARESI et al., 2015, LARKIN-KAISER et al., 2016), postergando o processo de fadiga muscular e reduzindo o dano muscular. Os mecanismos envolvidos com a instalação do processo de fadiga muscular não estão totalmente esclarecidos, mas sabe-se que tanto fatores centrais quanto periféricos estão associados a redução na capacidade de gerar força (GANDEVIA 1992, DALAKAS et al., 2002, AMENT & VERKENKE, 2009).

Sendo assim, muitos delineamentos experimentais foram realizados associando a aplicação prévia da PBMT com posterior

protocolo de exercício na tentativa de compreender como a PBMT atua no processo de fadiga. Os estudos mostram que a aplicação prévia da PBMT tem reduzido as concentrações de lactato (LEAL JUNIOR et al., 2009, LEAL JUNIOR et al., 2010 VASSÃO et al., 2015), além de apresentar menores quedas nos valores da mediana da frequência (MDF) do sinal eletromiográfico em protocolos de fadiga (TOMA et al., 2013, VASSÃO et al., 2015). Também existem relatos de aumentos no número de repetições até a fadiga (LEAL JUNIOR et al., 2008a, LEAL JUNIOR et al., 2008b LEAL JUNIOR et al., 2009, LEAL JUNIOR et al., 2010, TOMA et al., 2013, HEMMINGS et al., 2017), no tempo de sustentação das contrações isométricas (LEAL JUNIOR et al., 2009, MIRANDA et al., 2013, LARKIN-KAISER et al., 2016) e isotônicas (LEAL JUNIOR et al., 2010), na recuperação da força após dano muscular causado por exercício excêntrico (BARONI et al., 2010, BORGES et al., 2013), no pico de torque máximo pós-exercício (BARONI et al., 2010) e no aumento do fluxo de sangue para músculos ativos (LARKIN et al., 2012). Esses resultados, apesar de serem reveladores dos mecanismos envolvidos na fadiga, carecem de maior compreensão, especialmente nos que tangem os fatores que afetam as respostas neuromusculares.

Ferraressi et al., (2012) sugerem que o aumento no aporte de ATP, decorrente da aplicação da PBMT, poderia reduzir a fadiga neuromuscular periférica atuando em três diferentes níveis: 1) na melhora da eficiência da bomba cálcio (Ca^{2+}) no retículo sarcoplasmático; 2) exercendo efeitos moduladores sobre a bomba de sódio e potássio (Na^+/K^+) e 3) atuando sobre os canais de cloro (Cl^-) mantendo uma maior condutância nos túbulos T e assim impedindo o acúmulo extracelular de potássio (K^+), mantendo assim a excitabilidade da membrana celular. Uma das formas de se testar os possíveis efeitos da PBMT sobre as propriedades elétricas dos músculos é por meio da eletromiografia de superfície (EMG) (FARINA et al., 2004). Desta forma, diversos autores (KELENCZ et al., 2010, MUÑOZ et al., 2013, MIRANDA et al., 2014, VASSÃO et al., 2015, MACIEL et al., 2013, HIGASHI et al., 2013 e TOMA et al., 2013) têm investigado os efeitos da PBMT sobre as respostas eletromiográficas. No entanto as respostas obtidas, até agora, carecem de um consenso. Enquanto autores (KELENCZ et al., 2010, MUÑOZ et al., 2013, MIRANDA et al., 2014, VASSÃO et al., 2015) relatam que a PBMT promove menores quedas na MDF em testes de fadiga e aumento na *Root Mean Square* (RMS) quando comparados com situações controle/placebo, outros autores (MACIEL et al., 2013, HIGASHI et al., 2013 e TOMA et al., 2013) não

conseguiram reproduzir tais achados. Hadis et al., (2016) sugerem que fatores relacionados a dosimetria [pouca energia, tempo de irradiância e exposição, a forma do pulso (contínuo vs. pulsado) e a área de irradiação insuficiente] podem ser os responsáveis pelas diferenças entre os resultados dos estudos. Desta forma, apesar do grande número de estudos clínicos e revisões sistemáticas produzidas nos últimos anos enfatizando a aplicação da PBMT na redução da fadiga neuromuscular, existe uma lacuna no que diz respeito aos aspectos metodológicos utilizados nos estudos, tais como a área irradiada (densidade de energia aplicada), o tempo-resposta (quanto tempo antes do protocolo de exercícios a PBMT deve ser aplicada) e a energia irradiada (dose de energia por ponto de aplicação).

De acordo com Hadis et al., (2016), a fluência, termo comumente utilizado para descrever densidade de energia, diz respeito a quantidade de energia irradiada distribuída em uma determinada área. O que, segundo os autores, parece ser determinante para as respostas biológicas. Recentemente, Zagatto et al., (2016) após aplicarem por cinco dias seguidos a PBMT (810 nm, 107,14 J/cm², total de 48 J por dia) sobre os músculos *adductor magnus* e *adductor longus* de jogadores de polo-aquático, não conseguiram encontrar resultados positivos no desempenho e efeitos pequenos e moderados em marcadores inflamatórios e de dano muscular. De acordo com os autores, a pequena área irradiada pode ter sido uma das causas.

Até o momento não se tem conhecimento de estudos que tenham investigado os efeitos de uma mesma energia irradiada distribuída em diferentes áreas. O mais próximo disso foi um estudo desenvolvido por Leal Junior et al., (2009), onde os autores aplicaram sobre o músculo *rectus femoris* dois protocolos de PBMT previamente a testes de *Wingate*. Em um primeiro protocolo utilizaram um diodo de LASER de baixa potência (810 nm, 0,0364 cm² de área, 6 J por ponto e 164,84 J/cm²), e em segundo momento foi utilizado um cluster de múltiplos diodos de LED (660 a 850 nm, 13,8 cm², 41,7 J por ponto e 3,4 J/cm²). Os resultados foram significativos apenas para as concentrações de creatina quinase quando utilizado o cluster de LEDs. Os próprios autores afirmam que é difícil comparar os resultados, uma vez que as áreas irradiadas foram diferentes. Desta forma, fica clara a importância de estudos que investiguem os efeitos neuromusculares em situações em que uma mesma quantidade de energia é irradiada, porém distribuída em diferentes áreas de cobertura.

Outro aspecto metodológico relativo à aplicação prévia da PBMT, que parece influenciar no desempenho é o tempo-resposta. Ou

seja, quanto tempo antes de um protocolo de exercícios a PBMT poderia ter os melhores benefícios. Na maioria dos estudos que avaliaram os efeitos ergogênicos da PBMT sobre os parâmetros neuromusculares relataram que a sua aplicação até 5 min antes da realização dos protocolos de exercício (LEAL JUNIOR et al., 2008b, GORGEY et al., 2008, LEAL JUNIOR et al., 2009c, LEAL JUNIOR et al., 2009b, BARONI et al., 2010a, BARONI et al., 2010b, LEAL JUNIOR et al., 2010, KELENCZ et al., 2010, DE ALMEIDA et al., 2012, MACIEL et al., 2013, HIGASHI et al., 2013, TOMA et al., 2013, MIRANDA et al., 2015, VASSÃO et al., 2015). No entanto, um estudo recente desenvolvido por Ferraresi et al., (2015), em modelo animal, indica a necessidade de um maior tempo entre a aplicação da PBMT e a posterior avaliação em protocolo de exercícios. Os autores aplicaram a PBMT (LEDT) 5 min, 3 horas, 6 horas e 24 horas antes de um protocolo de fadiga que envolvia subir escadas e avaliaram a relação ATP/proteína dos músculos *soleus* e *gastrocnemius* e também o número de repetições máximas. Os autores observaram que a aplicação de PBMT quando realizada 6 horas antes do protocolo de exercícios apresentou os melhores desempenhos no teste de repetições até a fadiga e também maiores concentrações de ATP, estando essas variáveis altamente correlacionadas. Resultados semelhantes também foram reportados por Ferraresi et al., (2015b) em cultura de células (miotúbulos de células C2C12). Os autores observaram que a aplicação de PBMT (LEDs) entre 3 e 6 horas antes das análises promoveram maiores potenciais de membrana e síntese de ATP, quando comparado com a aplicação de PBMT realizada cinco minutos antes.

Além da área irradiada e do momento de aplicação da PBMT, a energia irradiada (dose) também tem sido objeto de muitos estudos envolvendo modelos de exercício em animais (AIMBIRE et al., 2006, ALMEIDA et al., 2011, SANTOS et al., 2014, ALBUQUERQUE-PONTES et al., 2015, PERINI et al., 2016). No entanto, Borsa et al., (2013) afirmam não ser possível a transferência de doses utilizadas em modelo animal para estudos envolvendo humanos. Associado a isto, sabe-se que doses adequadas de energia irradiada resultam em efeitos positivos sobre células e tecidos, enquanto subdoses não apresentariam resultados positivos e overdoses poderiam inibir os processos celulares (HUANG et al., 2009). Huang et al., (2012) sugerem a existência de uma zona de dosagem na qual os efeitos da PBMT seriam eficazes, mas não deixam claro quais seriam essas zonas quando o objetivo é a melhora de parâmetros neuromusculares. Recentemente, Vanin et al., (2017) após uma revisão sistemática com meta-análise, concluíram que

os resultados mais positivos decorrentes da aplicação de PBMT são observados com aplicações de 20 a 60 J em músculos pequenos e de 60 a 300 J para músculos grandes.

Apesar desta importante recomendação, especialmente para os profissionais de saúde, poucos estudos utilizaram em seus ensaios clínicos diferentes doses (dose-resposta) com o objetivo de investigar parâmetros neuromusculares em humanos. Os estudos existentes têm focado seus objetivos na redução da fadiga e/ou na redução do dano muscular. Neste sentido, Antonialli et al., (2014) compararam os efeitos de diferentes doses de energia (energia por ponto x número de pontos aplicados) sobre a performance muscular e a recuperação pós-exercícios excêntricos da musculatura do quadríceps. Os autores aplicaram placebo, 60, 180 e 300 J de energia total sobre o quadríceps. A dose total de 180 J (30 J por ponto) mostrou-se mais efetiva para aumentar o pico de torque (PT), reduzir a dor muscular tardia e reduzir as concentrações de creatina quinase. Larkin-Kaiser et al., (2016) avaliaram os efeitos de duas doses PBMT (placebo, 240 e 480 J) aplicados sobre o músculo primeiro interósseo dorsal para avaliar a fadiga muscular, perda de força, variabilidade motora, acurácia na realização dos movimentos e da EMG. Os autores concluíram que somente a aplicação de 240 J foi capaz de aumentar o tempo de fadiga (+26%) comparado com o placebo, não estando este resultado associado com elevações nos valores RMS.

Ainda em relação aos efeitos de diferentes doses de PBMT sobre o dano muscular, Ferraresi et al., (2015), observaram que quando o objetivo é a redução do dano muscular, dosagens ainda maiores parecem ser necessárias. Os autores utilizaram mantas de LEDs com emissão de luz no espectro próximo ao infravermelho (630 nm) e infravermelho (850 nm) sobre a região anterior e posterior da coxa e posterior da perna de jogadores de voleibol, antes de quatro partidas. As dosagens em cada partida foram 105, 210 e 315 J, além de uma situação placebo. Os resultados mostraram que dosagens entre 210 e 315 J são mais efetivas na redução das concentrações de creatina quinase num período de 24h após os jogos. No entanto, esse estudo tem recebido críticas (Nampo et al., 2016) em função das conclusões terem sido baseadas em um número muito baixo de participantes alocados em cada grupo (n= 6). Nesse sentido mais estudos envolvendo diferentes doses de energia devem ser feitos para que a “faixa ótima”, proposta por Huang et al., (2012) seja identificada quando o objetivo é a melhora de parâmetros neuromusculares.

Com base dos tópicos acima discutidos e visando o melhor desempenho neuromuscular e redução da fadiga muscular, os seguintes problemas de pesquisa foram elaborados: 1) Quais serão os efeitos da aplicação de uma mesma dosagem de PBMT em diferentes áreas de irradiação sobre parâmetros neuromusculares? 2) Quanto tempo antes da realização de um protocolo de exercício é necessário para aplicação da PBMT a fim de se obter melhoras em parâmetros neuromusculares? 3) Qual (is) será (ão) a (s) dose (s) ideal (is) de energia a ser (em) irradiada (s) para se obter os melhores resultados em parâmetros neuromusculares?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Determinar a influência dos parâmetros da terapia com fotobiomodulação-PBMT (área irradiada, momento de aplicação e dose de energia) sobre as respostas neuromusculares de indivíduos saudáveis submetidos a protocolos de exercício isocinético.

1.2.1.1 Objetivos específicos (estudo 1)

Comparar os efeitos de uma dose similar de PBMT (30 J) aplicada com probes de diferentes tamanhos (7,5 cm² e 30,2 cm²) sobre indicadores de fadiga neuromuscular dos flexores do cotovelo.

1.2.1.2 Objetivos específicos (estudo 2)

Identificar os efeitos de diferentes momentos de aplicação de PBMT (aplicação de PBMT 6 horas antes e/ou imediatamente antes do protocolo de exercícios) sobre indicadores de fadiga neuromuscular dos extensores do joelho.

1.2.1.3 Objetivos específicos (estudo 3)

Comparar os efeitos de três diferentes doses de energia (135, 270 e 540 J) aplicada em dois momentos (6 horas antes e imediatamente antes) antes do exercício sobre o desempenho e a fadiga dos extensores do joelho.

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 PBMT apresentará os melhores resultados para a fadiga e desempenho muscular quando comparado com o placebo.

1.3.2 Primeiro estudo

H1: A aplicação da PBMT na dose de 30 J, tanto com probe pequeno (7,5 cm²) quanto com probe grande (30,5 cm²) terão efeitos positivos sobre a fadiga dos flexores do cotovelo.

1.3.3 Segundo estudo

H1: A aplicação de 30 J de energia, realizada 6 horas antes e novamente imediatamente antes de um protocolo de exercícios, resultará em efeitos positivos sobre a fadiga dos extensores do joelho.

1.3.4 Terceiro estudo

H1: Todas as doses (135, 270 e 540 J) quando aplicadas em dois momentos (6 horas antes e imediatamente antes de um protocolo de exercício) promoverão benefícios sobre o desempenho e a fadiga dos extensores do joelho.

1.3.5 Definição de termos

Fotobiomodulação: Processo modulatório associado a fototerapia no qual envolve o uso de energia luminosa para induzir mudanças bioquímicas no tecido, podendo estas serem de estimulação ou inibição (KARU, 1999).

Terapia de fotobiomodulação: Terapia que utiliza a energia luminosa para fins terapêuticos, os quais podem ser tanto preventivos quanto curativos (BORSA et al., 2013).

LASERs de baixa potência: apresentam potência de energia abaixo de 1 W, e são utilizados para o reparo tecidual, alívio de dor e obtenção de efeitos anti-inflamatórios e regenerativos. Os LASERs de baixa potência apresentam diferentes configurações de comprimento de onda, variando

do vermelho (visível) ao infravermelho (não visível). Por fim, os raios são produzidos por misturas de gases ou compostos químicos sintéticos, incluindo hélio neônio (HeNe), arseneto de gálio e alumínio (AsGaAl) e arseneto de gálio (AsGa).

Potência irradiada (J/s): É a razão entre a quantidade de energia irradiada e o tempo de aplicação (ENWEMEKA et al., 2009)

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

Energia irradiada (W/s): Quantidade de energia visível e invisível aplicada (J). Também pode ser expressa pelo produto entre a potência e o tempo (ENWEMEKA et al., 2009).

$$\text{Energia (J)} = \text{Potência (W)} \times \text{Tempo (s)}$$

Área irradiada (cm²): Área coberta pelo probe (ENWEMEKA et al., 2009).

Densidade de potência ou irradiância (W/cm²): Produto da razão entre potência (W) e área irradiada (cm²) (ENWEMEKA et al., 2009).

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

Densidade de energia ou fluência (J/cm²): Quantidade de energia entregue por unidade de área (ENWEMEKA et al., 2009).

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

Contrações isométricas: Contração muscular na qual os músculos produzem força e não existe movimentação angular visível (WILMORE & COSTILL, 2002).

Contrações concêntricas: Contração muscular na qual os músculos encurtam durante a geração de força (WILMORE & COSTILL, 2002).

Contrações excêntricas: Contração muscular na qual os músculos alongam durante a geração de força (WILMORE & COSTILL, 2002).

Fadiga neuromuscular. Termo utilizado como referência para a redução no desempenho físico com um aumento real na percepção de dificuldade da tarefa ou exercício, podendo suas causas estarem associadas a fatores centrais e/ou periféricos. Durante o exercício está associada com a inabilidade em manter um nível de força requerido (BOYAS & GUÉVEL, 2011).

Ativação eletromiográfica: Representa o nível de ativação elétrica do músculo (DIEFENTHAELER et al., 2012).

CAPÍTULO II

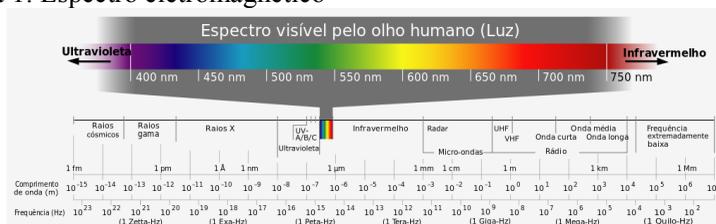
1.4 REVISÃO DE LITERATURA

1.4.1 Propriedades físicas da luz

Antes de entendermos as propriedades da luz, precisamos compreender que ela faz parte de um espectro de ondas eletromagnéticas (Figura 1). As ondas eletromagnéticas por sua vez são definidas como sendo pulsos energéticos que se propagam no espaço transportando energia com determinadas características (período, frequência e fase). Além disso, existe uma relação inversa entre o comprimento das ondas eletromagnéticas e a frequência de sua propagação (De ROBERTS e HIB 1998). Por exemplo, ondas de rádio apresentam grande comprimentos de onda (baixas frequência) e baixos níveis de energia, por outro lado os raios gama apresentam pequenos comprimentos de onda (alta frequência) e elevados níveis de energia.

A luz visível é a porção do espectro eletromagnético cuja radiação é composta por fótons capazes de sensibilizar o olho humano. Cada cor apresenta um comprimento de onda (Figura 1). Nos extremos do espectro da luz visível estão o violeta (~400 nm) que apresenta uma maior frequência (790 THz) e, portanto, um menor comprimento de onda, e o vermelho (~700 nm) que apresenta um maior comprimento de onda e por consequência uma menor frequência (400 THz). Além disso, o espectro visível pode ser subdividido em faixas de acordo com a cor, sendo que a quantidade de energia (J) é proporcional a sua frequência (BECKERMAN et al., 1992).

Figura 1: Espectro eletromagnético



Fonte: www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/

A luz segue alguns princípios ao ser emitida sobre qualquer objeto (CORAZZA, 2005). Esses princípios dizem respeito: a) reflexão; b) absorção; c) transmissão; d) refração e; e) dispersão. A reflexão dependerá da superfície com a qual a luz irá incidir. Caso a superfície

seja irregular a reflexão será difusa (em várias direções), por outro lado se a superfície for lisa a reflexão será especular, ou seja, o ângulo de incidência será igual ao ângulo de reflexão. Na absorção se o objeto for preto, todos os comprimentos de onda serão absorvidos e transformados em calor. Todos os objetos opacos, translúcidos ou mesmo transparentes, absorvem e refletem alguma quantidade de luz. No entanto, quanto mais ele absorve, mais escuro é o objeto, quanto mais reflete, mais claro este objeto se apresenta. A transmissão diz respeito à quantidade de luz que ultrapassa um objeto. A transmissão da luz por um meio translúcido ocorre de maneira difusa (diversas direções), em objetos transparentes a transmissão ocorre de maneira direta. Por fim, se o objeto apresentar uma cor, todas as demais serão absorvidas sendo transmitido seletivamente somente o comprimento de onda selecionado, no caso a cor do objeto. A refração diz respeito ao ângulo de incidência da luz sobre um objeto. Quanto maior for o ângulo de incidência, maior será o ângulo de reflexão. A dispersão, com exceção do *LASER*, acontece com todos os tipos de luz. Isso ocorre porque a luz ao sair de uma fonte, tende sempre a se dispersar em todas as direções.

1.4.2 Fontes de luz Laser e LEDs

O primeiro *LASER* foi produzido em 1960 por Theodore Harold Maiman. No entanto, a sua origem dá-se com base nos conceitos propostos pela teoria de Max Planck (1900) e posteriormente aprofundados por Albert Einstein (1905). Einstein, postulou que a luz era formada por pacotes discretos e bem determinados de energia, denominados posteriormente por Gilbert N. Lewis de fótons. O funcionamento do *LASER* está associado a estados instáveis de alta energia, se corretamente estimulados, determinados materiais decaem sua energia emitindo fótons coerentes com o estímulo original, cuja as ondas estão em sincronia entre si (BAXTER, 1994, LOW, 2001).

O que diferencia o *LASER* de outras fontes luminosas são suas características de monocromaticidade, coerência e colimação ou unidirecionalidade (SCHAWLOW, 1995). A monocromaticidade diz respeito ao comprimento de onda, ou seja, o *LASER* sempre terá um único comprimento de onda (PASCU 2001). Já a coerência 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, quando os vales e as cristas das ondas de luz emitida se encaixam perfeitamente no tempo

(coerência temporal). 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 denomina-se um feixe de luz colimado (GENOVESE, 2000).

Os *LASERs*, em função de sua potência podem apresentar riscos à saúde, especialmente para a visão. Sendo assim, existem *LASERs* com baixo risco (Classe I e II) que irradiam de 0,1 a 1 mW, de risco moderado (Classe IIa) que irradiam 1 a 5 mW e elevado risco (Classe III e IV) que irradiam energia superior a 5 mW (AMIR et al., 2000; CHAVANTES; JATENE, 1990). Normalmente os *LASERs* terapêuticos estão dentro das classes III e IV tendo uma variedade de comprimentos de onda. Os primeiros *LASERs* terapêuticos eram uma mistura gasosa de hélio com neônio (HeNe) com uma potência variando de 5 a 30 mW e comprimento de onda de 632,8 nm (espectro vermelho da luz). No entanto, esse comprimento de onda mostrou-se altamente absorvível por tecidos moles o que comprometia a penetrabilidade da luz. Atualmente, existem os *LASERs* compostos de GaAIAS (*Gallium Aluminium Arsenide*) com comprimento de onda variando entre 760 e 850 nm (maior poder de penetração). Em função de seu comprimento de onda o mesmo se encontra fora do espectro visível da luz com potências variando de 20 a 1000 mW.

Por outro lado, a utilização da luz LED, que é produzida por meio da transformação de energia elétrica em luz, tem crescido muito a sua aplicação nos últimos anos. O LED foi desenvolvido em 1963 por Nick Holonyac e inicialmente emitia somente a luz vermelha. A luz amarela foi desenvolvida ao final da década de 1960 e a luz verde foi somente desenvolvida em 1975. Atualmente dependendo do semicondutor utilizado será produzida uma cor de luz com determinados comprimentos de onda. Por exemplo, se o semicondutor for composto por arsenieto de gálio e alumínio a luz será infravermelha com comprimento de onda de 880 nm. Se o semicondutor utilizado for o nitreto de gálio o LED irá produzir luz de cor azul com um comprimento de onda de 430 nm (CORRAZA 2005).

Dentre as diferenças entre o *LASER* e o LED está o fato de como a luz é produzida. O diodo *LASER* está contido dentro de uma cavidade óptica, e proporciona feixes de luz monocromáticos, coerentes e colimados. Já no LED não existe esta cavidade óptica, desprovendo a luz de coerência e colimação. Contudo, LEDs produzem uma banda de espectro eletromagnético próxima do *LASER* (CORRAZA, 2005). Além disso, o *LASER* é caracterizado por uma maior concentração de fluência em uma pequena faixa espectral, já no LED a densidade de energia está

distribuída em uma banda eletromagnética maior, podendo interagir com um maior grupo de fotorreceptores específicos. Apesar dessa propriedade diferenciar as luzes terapêuticas, há similar concentração de energia na área de ação de ambas, porém com distribuição diferenciada. Em função das semelhanças com o *LASER*, associado a um menor custo, tem crescido a utilização de diodos de LED como recurso terapêutico (HAMBLIN e DEMIDOVA 2006).

1.4.3 Fotobiomodulação

A fotobiomodulação diz respeito a um conjunto de reações que envolvem a absorção de fótons por moléculas especializadas chamadas de fotorreceptores. Esses fotorreceptores em humanos estão presentes na hemoglobina, melanina e mitocôndrias, entre outras (HUANG et al., 2012), sendo que a absorção dos fótons por essas estruturas é dependente do comprimento de onda (HAMBLIN; DEMIDOVA 2006). Autores como Huang et al., (2011) afirmam que existe uma “janela ótica” entre 650 a 1200 nm, na qual ocorre uma maior penetração da luz nos tecidos. Após absorção dos fótons, as moléculas assumem um estado excitado eletronicamente, e nos processos moleculares primários desencadeiam efeitos biológicos (KARU, 1999).

Karu (1989) afirma que a absorção de radiação monocromática visível e próxima ao infravermelho por componentes da cadeia respiratória (citocromos C oxidase) é o mecanismo primário da PBMT. Uma vez absorvido os fótons pelos citocromos C oxidase, ocorrem aumentos no potencial eletroquímico de prótons, na síntese de ATP, no aumento de RNA e síntese proteica, aumentos no consumo de oxigênio, aumentos nos potenciais de membrana e aumento na síntese de NADH e ATP. Também estão associados a aplicação da PBMT a redução na produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) e espécies reativas de nitrogênio (ERN). Acredita-se que o óxido nítrico (NO), que é uma ERN, exerceria uma competição com o oxigênio na ligação com o Complexo I e com o ferro e cobre no Complexo IV da cadeia de transporte de elétrons, o que poderia comprometer a produção de energia (HUANG et al. 2011 e FERRARESI et al., 2012).

Huang et al., (2011) apresentam o conceito de resposta bifásica da PBMT. De acordo com os autores, as respostas fisiológicas dependem da densidade de potência, da quantidade de energia e do tempo de aplicação. Dosagens muito baixas não seriam capazes de estimularem os tecidos, enquanto que o excesso de densidade de potência e/ou tempo poderiam estimular um efeito inibitório. Desta forma, existiria uma janela ótima para que se obtivesse o máximo de

benefícios. Os autores trabalham com a hipótese que EROs bons (superóxidos) são produzidos com baixas densidades de luz e estariam associados a melhora no transporte de elétrons mitocondrial, na ativação de vias que conduzem a transcrição (NF- κ B), que por sua vez induziriam a expressão de genes associados a proliferação e sobrevivência celular. Por outro lado, um aumento na densidade de energia promoveria uma redução na produção de EROs bons, o que causaria uma redução na produção de ATP e um segundo pico, agora de EROs ruins (radicais hidroxilas e peroxinitritos) surgiria. Esses EROs ruins danificariam as mitocôndrias e acarretariam o início do processo de apoptose mitocondrial. Os autores acreditam que a dosagem ideal deve levar em conta diferentes comprimentos de onda, tecido irradiado, estados de redox e diferentes parâmetros de pulso.

1.4.4 Terapia com fotobiomodulação e exercício

A PBMT tem sido utilizada antes, durante e depois de protocolos envolvendo exercícios físicos (VANIN et al., 2017). A sua aplicação quando feita posteriormente está associada principalmente a potencialização da recuperação tecidual por meio da redução de processos inflamatórios. Já a aplicação realizada antes e durante os protocolos de exercício teria efeitos ergogênicos, uma vez que estaria associada a um maior aporte de energia com consequente redução na fadiga (BORSA et al., 2013). Neste tópico iremos tratar dos efeitos ergogênicos (aplicação prévia) da PBMT e seus efeitos sobre o desempenho. Como fora previamente abordado, a PBMT atua principalmente no metabolismo celular, aumentando o potencial de membrana mitocondrial e a atividade enzimática da cadeia de transporte de elétrons. Considerando tais respostas, têm sido criadas hipóteses que associam a PBMT a melhoras em atividades que envolvam a resistência e força muscular (FERRARESI et al., 2012).

Em atividades de resistência muscular, nas quais estão presentes a baixa intensidade e uma maior duração, a capacidade oxidativa dos músculos depende da densidade mitocondrial (MAUGHAN; GLEESON 2010), uma vez que estas organelas são responsáveis por degradar os substratos e formar ATP. A PBMT tem se mostrado eficiente de maneira crônica no aumento do tamanho das mitocôndrias (HUANG et al 2011), proporcionando um aumento na produção de ATP, e também de maneira aguda, aumentando a atividade enzimática mitocondrial (SILVEIRA et al., 2009) refletindo em alterações no consumo de oxigênio (De MARCHI et al., 2012), e na redução da fadiga muscular (FERRARESI et al., 2011).

Em atividades que utilizam predominantemente o metabolismo anaeróbico (elevados níveis força por curtos períodos de tempo), também a PBMT tem se mostrado eficiente na redução da fadiga muscular. Três são os mecanismos apontados na melhora do desempenho neste tipo de exercícios (FERRARESI et al., 2011 e VIEIRA et al., 2012). Sabe-se que as fibras musculares são recrutadas de acordo com o princípio do tamanho, iniciando pelas fibras de menor calibre em direção as de maior calibre (HENNEMAN et al., 1965). As fibras de menor calibre (Fibras tipo I e IIa) tendem a serem mais dependentes do metabolismo oxidativo para seu pleno funcionamento. Assim o primeiro mecanismo está associado a uma maior produção de energia (ATP) para essas fibras, retardando assim sua fadiga, mesmo em exercícios que envolvem elevados níveis de força.

O segundo mecanismo envolve a ressíntese de fosfocreatina. Em exercícios que demandam elevados níveis de força, boa parte do ATP necessário para as contrações musculares são oriundas da hidrólise da fosfocreatina. Quando a taxa de utilização da creatina fosfato ultrapassa a sua capacidade de ressíntese ocorre um acúmulo de creatina, ADP e Pi no sarcoplasma das fibras musculares. Esse acúmulo de metabólitos está associado ao surgimento da fadiga (ALLEN et al., 2008) e também a estimulação da síntese de ATP pelas mitocôndrias por meio do lançamento da creatina para o interior da matriz mitocondrial. Esse lançamento é mediado pela adenina nucleotídeo translocase, esta mesma enzima também é responsável pela entrega de ATP ao músculo, porém do sentido oposto. Este aporte de ATP promovido pela PBMT seria então utilizado para a ressíntese da fosfocreatina. Portanto, a PBMT por meio de uma maior produção de ATP a nível mitocôndrial, poderia aumentar a capacidade de ressíntese da fosfocreatina (FERRARESI et al., 2012).

O terceiro e último mecanismo envolveria o aumento da oxidação do lactato pelas mitocôndrias. Como o lactato é produzido a partir da redução do piruvato pela enzima lactato desidrogenase (LDH) ao final da glicólise e seu transporte pode ocorrer tanto para fora (MCT4) da célula muscular, como para dentro de outras organelas (MCT1) da célula, acredita-se que parte deste lactato, após ser transportados para o interior das mitocôndrias, seria convertido novamente em piruvato pela LDH e então metabolizado via ciclo de Krebs e posteriormente na CTE (DUBOCHAUD et al., 2000). Como a PBMT tem a capacidade de modular as enzimas do metabolismo aeróbico (enzimas do complexo I, II, III e IV e citrato sintase), acredita-se que possa exercer efeitos positivos na oxidação do lactato (SILVEIRA et al., 2009). Apesar dos

mecanismos ainda não estarem totalmente elucidados, nos fornecem uma base que reforça os benefícios do uso da PBMT tanto em exercícios com predomínio aeróbio, quanto anaeróbio.

A grande maioria dos estudos em humanos que envolveram a aplicação da PBMT e exercício foram realizados em atividades de alta intensidade e curta duração (maiores informações podem ser obtidas na revisão de Vanin et al., 2017) e sempre avaliaram parâmetros neuromusculares associados a força. Dentre estes estudos, podemos dividi-los em estudos que envolveram treinamento (crônicos), e estudos que investigaram os efeitos de uma única sessão de treino ou apenas um protocolo de fadiga (agudos). Os estudos que avaliam as respostas crônicas da aplicação da PBMT associando ao treinamento de força tem mostrado resultados efetivos para um aumento no trabalho, pico de torque, potência (TOMA et al., 2016), valores de força para a realização de uma repetição máxima (1 RM) em *leg press* e cadeira extensora, além de CIVM tanto para o membro direito quanto esquerdo (VANIN et al., 2016), espessura muscular, pico de torque isométrico e excêntrico (BARONI et al., 2015), aumentos nos valores de 1RM para o *leg press* e pico de torque extensor (FERRARESI et al., 2011) quando comparados com grupos controle ou placebo.

Por outro lado, os estudos que avaliaram os efeitos agudos da aplicação prévia da PBMT em humanos, quando comparados com situação placebo, relatam maiores picos de força isométrica (DE ALMEIDA et al., 2012 e MIRANDA et al., 2014) e força isométrica média durante 60 s (DE ALMEIDA et al., 2012). Além disso, existem relatos de maior recuperação da força após protocolos envolvendo dano excêntrico (BARONI et al., 2010a, ANTONIELLI et al., 2014), e menor queda no pico de torque isométrico após protocolo de fadiga (BARONI et al., 2010b, LARKIN-KAISER et al., 2015). Um maior tempo para o atingimento da fadiga durante contrações isométricas (MIRANDA et al., 2014, LARKIN-KAISER et al., 2016) e o aumento no número de repetições até a fadiga (LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL- JUNIOR et al., 2009, LEAL-JUNIOR et al., 2010, HEMMINGS et al., 2017) também tem sido relatados.

Considerando os efeitos benéficos da PBMT sobre o atraso no surgimento da fadiga e aumento do desempenho, especulou-se que sua ação modularia a condução e propagação dos sinais elétricos oriundos dos centros superiores em direção ao músculo, podendo assim ser captado por meio da técnica de eletromiografia. Ferraresi et al., (2012) afirma que após constantes contrações musculares poderia ocorrer uma falha na bomba de Na^+/K^+ responsável por manter a homeostasia,

acarretando acúmulos de Na^+ extracelular e K^+ intracelular. Tal desequilíbrio estariam na gênese da fadiga neuromuscular. De acordo com os autores a PBMT atuaria de maneira indireta, fornecendo maiores quantidades de ATP necessário para a o funcionamento normal das bombas Na^+/K^+ e Ca^{++} . Este ATP seria fornecido por mitocôndrias localizadas próximas aos túbulos T. Os autores também afirmaram que a PBMT teria condições de modular os canais de Cl^- , evitando assim a hiperpolarização.

Nos últimos anos vários estudos têm sido realizados na tentativa de compreender os efeitos da PBMT sobre as respostas eletromiográficas com resultados ainda não conclusivos. Dentre os parâmetros utilizados, a mediana da frequência (MF), tem se destacado como um indicador de fadiga neuromuscular. O processo de fadiga acarreta a redução nos seus valores, indicando uma fadiga especialmente nas fibras do tipo II (MERLETTI et al., 1997, CIFREK et al., 2009, BABAULT et al., 2006, MASUDA et al., 1999). No entanto é recomendado a sua utilização em protocolos que envolvem contrações isométricas, devido as características estacionárias do sinal de EMG. Apesar disso, alguns autores têm utilizado a MF para avaliação dos efeitos da PBMT sobre a fadiga contrações isotônicas (VIEIRA, 2012, DE BRITO VIEIRA et al., 2014, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014). Estudos que investigaram os efeitos da PBMT sobre a MF avaliada durante contrações isométricas são ainda contratitórios. Alguns autores (TOMA et al., 2013, HIGASHI et al., 2013), não conseguiram observar resultados positivos a favor da PBMT. Por outro lado Miranda et al., (2014) observaram uma menor inclinação na MF com a aplicação da PBMT em comparação com placebo, quando pacientes com DPOC foram submetidos a um protocolo de fadiga. Os autores sugeriram que essa menor fadiga estaria associada a aumentos no fluxo sanguíneo local promovido pela PBMT.

Em síntese, os estudos que tem avaliado as respostas eletromiográficas frente a aplicação prévias de PBMT tem encontrado dificuldades em confirmar os achados positivos observados em parâmetros de desempenho. Acreditamos que o desempenho positivo em atividades de força provocado pela aplicação da PBMT deva-se principalmente pela sua ação interna ao músculo e nem tanto pela sua ação na condução e propagação dos impulsos elétricos. No entanto análises mais robustas do sinal de EMG como a transformada wavelet contínua poderá fornecer informações mais úteis sobre os possíveis mecanismos envolvendo a PBMT e a fadiga neuromuscular.

3 CAPÍTULO III

3.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção de resultados será dividida em três partes, correspondente aos artigos que foram elaborados para responder os objetivos estabelecidos. O quadro 1 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 1 – Artigos que compõe a presente tese.

1. Efeitos da aplicação de fototerapia pré-exercício com diferentes tamanhos de probe na fadiga dos flexores do cotovelo.	Aprovado na <i>LASERs in Medical Science</i> / A1 (2,299)
2. Tempo-resposta da terapia com fotobiomodulação na fadiga muscular em humanos.	Aprovado no <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> / A1 (2,060)
3. Efeitos da dose-resposta na terapia com fotobiomodulação sobre o desempenho durante exercícios de força de extensores do joelho: Um estudo randomizado e controlado.	Em avaliação <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> / A1 (2,060)

3.1.1 Artigo 1* – PBMT e Área irradiada

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO PRÉ-EXERCÍCIO COM DIFERENTES TAMANHOS DE *PROBE* NA FADIGA DOS FLEXORES DO COTOVELO.

Resumo

A fototerapia tem sido usada para reduzir a fadiga muscular. Tendo em vista a existência de vários tipos probes disponíveis no mercado, o objetivo deste estudo foi comparar os efeitos de uma mesma dosagem (30 J por ponto) de fototerapia sendo aplicado com dois diferentes probes [probe pequeno (PP = 9 diodos; 7,5 cm²) vs. probe grande (PG = 33 diodos, 30,2 cm²)], sobre a fadiga dos músculos flexores do cotovelo. Fizeram parte do estudo dez homens fisicamente ativos de 18 a 35 anos de idade. O estudo foi randomizado, cruzado, duplo-cego, controlado por placebo, no qual cada participante foi submetido ao mesmo protocolo de teste em quatro sessões com diferentes tratamentos: a) PG-ativo, b) PP-ativo, c) PG-placebo e d) PP-placebo. Contrações voluntárias isométricas máximas (CIVM) de flexão do cotovelo foram realizadas antes e após um protocolo de fadiga (60% da CIVM até a fadiga). A eletromiografia (EMG) do músculo *bíceps braquial* foi coletada ao longo do teste. A fototerapia (60 J por músculo) e as aplicações de placebo ocorreram antes do protocolo de fadiga. O tempo de exaustão foi significativamente maior em PG-ativo (15%; $p = 0,031$) e PP-ativo (14%; $p = 0,038$) em comparação com os respectivos placebos, sem diferenças entre PG e PP ($p > 0,05$) ou entre as condições de placebo ($p > 0,05$). Esta maior tolerância ao exercício em condições de fototerapia não foi acompanhada por um maior decréscimo na capacidade de gerar força máxima dos voluntários (11-15%; $p > 0,05$ para todos). Os sinais EMG não apresentaram diferença entre as quatro condições testadas. Podemos concluir que a aplicação da fototerapia com PG ou PP (de acordo com os parâmetros testados neste estudo) levou a uma redução da fadiga nos músculos flexores do cotovelo.

Palavras-chave: *LASER*terapia de baixa potência, Terapia com diodos emissores de luz, Economia neuromuscular, Efeitos ergogênicos e Eletromiografia.

* Artigo aceito para publicação no periódico *LASERs in Medical Science* (Apêndice I). Citação: Effect of pre-exercise phototherapy

applied with different cluster probe sizes on elbow flexor muscle fatigue. *LASERs Med Sci*. DOI 10.1007/s10103-016-1973-0

Introdução

Revisões sistemáticas recentes (BORSA et al., 2013, LEAL-JUNIOR et al., 2015) têm sugerido que a fototerapia (terapia com *LASER* de baixa energia, LLLT e/ou terapia com diodos de luz emitida, LEDT) é capaz de aumentar a performance muscular e acelerar a recuperação pós exercício. Os resultados promissores em relação à fadiga e na redução do dano muscular foram demonstrados tanto em modelo animal (LOPES-MARTINS et al., 2006, LIU et al., 2009, DE ALMEIDA et al., 2011) quanto em ensaios clínicos com humanos (ANTONIALLI et al., 2014, BARONI et al., 2010a, DE ALMEIDA et al., 2011, DE MARCHI et al., 2012, FERRARESI et al., 2015, HIGASHI et al., 2013, KELENCZ et al., 2010, LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL-JUNIOR et al., 2009a, LEAL-JUNIOR et al., 2009b, LEAL-JUNIOR et al., 2010, MIRANDA et al., 2014, TOMA et al., 2013 e VIEIRA et al., 2012). Este conjunto considerável de evidências naturalmente desperta a atenção do campo da ciência do esporte. No entanto, os benefícios da fototerapia sobre o desempenho e a recuperação muscular também podem ser muito úteis na perspectiva saúde/doença e em condições na qual a fadiga e o dano muscular desempenham um papel fundamental (LEAL-JUNIOR 2015).

A fadiga muscular é frequentemente caracterizada por uma redução da capacidade de produzir força (AMENT & VERKERKE 2009). É um processo complexo que envolve fatores centrais e periféricos, de modo que uma grande variedade de marcadores de fadiga tem sido utilizada nos estudos para avaliar não só o nível de comprometimento do desempenho muscular, mas também os mecanismos de fadiga (HUNTER et al., 2004). Neste sentido, estudos em humanos que investigaram os efeitos de fototerapia na fadiga usaram diferentes parâmetros, como comportamento de força/torque, potência (ANTONIALLI et al., 2014, BARONI et al., 2010a, DE ALMEIDA et al., 2011, KELENCZ et al., 2010, LEAL-JUNIOR et al., 2009), número de repetições até a exaustão (HIGASHI et al., 2013, LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL-JUNIOR et al., 2009a, LEAL-JUNIOR et al., 2009b, LEAL-JUNIOR et al., 2010, TOMA et al., 2013, VIEIRA et al., 2012), tempo de exercício até a exaustão (DE MARCHI et al 2012, FERRARESI et al., KELENCZ et al., 2010, LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL-JUNIOR et al., 2009a, LEAL-JUNIOR et al., 2009b,

LEAL-JUNIOR et al., 2010), limiares ventilatórios (DE MARCHI et al., 2010, FERRARESI et al., 2015), concentração de lactato no sangue (HIGASHI et al., 2013, LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL-JUNIOR et al., 2009a, LEAL-JUNIOR et al., 2009b) e atividade elétrica muscular (HIGASHI et al., 2013, MIRANDA et al., 2014, TOMA et al., 2013). Assim, embora já saibamos que os efeitos de fototerapia parecem estar relacionados ao tipo de exercício realizado, os mecanismos responsáveis por esses efeitos positivos ainda são discutíveis.

A fototerapia apresenta uma relação dose-resposta (HUANG et al., 2011), que já foi demonstrada em experimentos envolvendo o processo de fadiga com doses específicas (energia entregue ao músculo), levando a resultados diferentes em animais (LOPES-MARTINS et al., 2006, DE ALMEIDA et al., 2011) e humanos (ANTONIALLI et al., 2014). O efeito de uma dosagem de LLLT similar aplicada em humanos com diferentes comprimentos de onda (luz vermelha vs. infravermelho) também foi investigada (DE ALMEIDA et al., 2012). Outras descobertas em estudos com animais levaram os autores a sugerir que o uso combinado de diferentes comprimentos de onda ao mesmo tempo poderia aumentar os efeitos da fototerapia e representar uma vantagem terapêutica em contextos clínicos (LEAL-JUNIOR 2015, SANTOS et al., 2014, ALBUQUERQUE-PONTES et al., 2015). No entanto, até o melhor de nosso conhecimento, não há nenhum estudo clínico comparando a mesma dose de fototerapia aplicada em diferentes áreas de tratamento (probe pequeno e grande).

Em vista dos vários tipos de *probes* disponíveis no mercado para a aplicação da fototerapia, os estudos que comparam a eficácia desses dispositivos são importantes para ajudar o clínico na escolha do melhor equipamento a ser utilizado. Portanto, o objetivo deste estudo foi comparar o efeito de uma dosagem de fototerapia similar aplicada dois probes diferentes na fadiga do músculo flexor do cotovelo de indivíduos saudáveis: Probe grande (33 diodos 30,2 cm²) e Probe pequeno (9 diodos, 7,5 cm²).

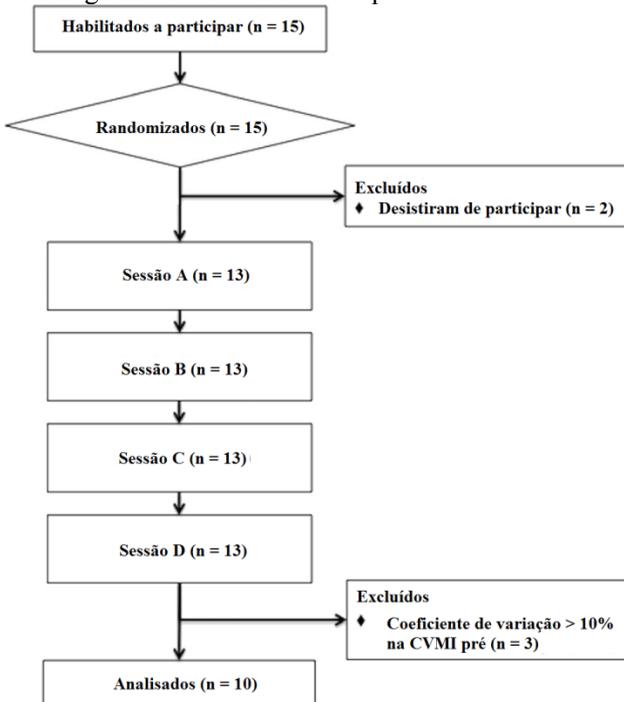
Materiais e Métodos

Participantes

Quinze participantes voluntariaram-se a fazer parte do estudo. Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: a) homens fisicamente ativos, b) ter idade entre 18 e 35 anos, c) estar disponível a finalizar o protocolo de 14 dias. Os critérios de exclusão assumidos

foram: a) apresentar lesões no ombro e/ou cotovelo e/ou punho nos dois últimos meses, b) apresentar um coeficiente e variação superior a 10% nos valores de torques obtidos nas contrações voluntárias isométricas máximas (CIVM) antes dos protocolos de exercício. Portanto, somente dez indivíduos foram elegíveis para participar deste estudo ($29 \pm 6,0$ anos, $182 \pm 7,6$ cm, $87 \pm 13,0$ kg, $26 \pm 2,3$ kg/m²). Todos os participantes forneceram o consentimento informado por escrito. A aprovação ética foi obtida do Comitê local de Ética em Pesquisa com Seres Humanos e o protocolo foi elaborado de acordo com os padrões estabelecidos pela Declaração de Helsinque.

Figura 2: Fluxograma descrevendo as etapas do estudo 1



Design do estudo

Desenvolvemos um ensaio cruzado, randomizado, duplo-cego e controlado por placebo, cujos participantes foram submetidos ao mesmo protocolo em quatro sessões com diferentes tratamentos; a) probe grande com fototerapia (PG-ativo), probe pequeno com fototerapia (PP-

ativo), probe grande inativo (PG-placebo), probe pequeno inativo (PP-placebo). A ordem dos quatro tratamentos foi determinada por sorteio. Os pesquisadores foram cegados em relação à alocação dos participantes para o tratamento, e apenas um pesquisador (não envolvido com a realização dos testes) foi responsável pela randomização e aplicação dos tratamentos.

Do mesmo modo, os participantes usavam óculos opacos que bloqueavam a visão durante a aplicação do tratamento. Uma vez que a fototerapia não causa nenhum estímulo sensível (por exemplo, calor, frio, prurido, irritação da pele, dor), os participantes também foram “cegados” em relação a ordem do tratamento. O intervalo entre as avaliações foi de pelo menos 48h de intervalo entre as sessões de teste, no qual foi solicitado aos participantes evitar exercícios vigorosos envolvendo os membros superiores, ingestão de álcool e/ou café por 24h antes das sessões de teste.

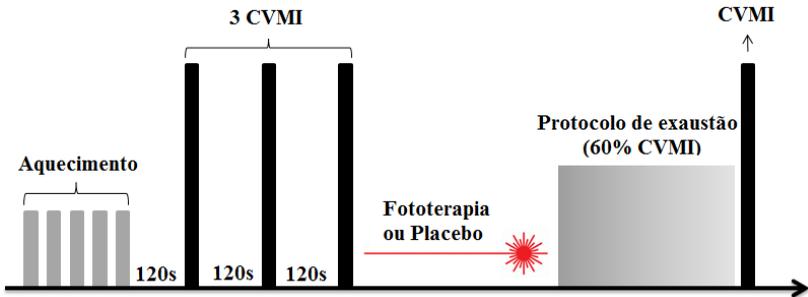
Protocolo de testes

Durante todas as sessões de teste, os participantes realizaram uma familiarização e um protocolo de aquecimento (20 repetições submáximas concêntricas de flexão e extensão do cotovelo a 60°s^{-1}) no dinamômetro isocinético (*Biodex System 4 Pro, Biodex Medical Systems, Shirley, Nova York, EUA*). Durante os testes, os participantes permaneceram sentados em um banco Scott ao lado do braço da alavanca do dinamômetro isocinético com o ombro posicionado em um ângulo de 40° de flexão (PINTO et al., 2012). O eixo de rotação aparente do cotovelo foi alinhado com o eixo de rotação do dinamômetro. Após o aquecimento, os indivíduos realizaram três tentativas de CIVM de flexão do cotovelo de 5 s a 90° de flexão do cotovelo (0° = extensão total do cotovelo). Um período de repouso de 2 min foi o respeitado entre as tentativas. O valor de torque máximo obtido entre as três CIVM foi considerado a força isométrica máxima antes do exercício.

Após as CIVMs, aplicou-se o tratamento de fototerapia/placebo (ver "Tratamento com fototerapia / placebo" para detalhes), seguido do protocolo de exaustão. O protocolo de exaustão começou menos de 1 min após o término do tratamento com fototerapia, e consistiu na manutenção de uma contração isométrica em 60% da CIVM obtido anteriormente (MIRANDA et al., 2014). Os participantes foram

instruídos a manter a contração isométrica no nível de torque alvo o maior tempo possível. Quando o participante não conseguiu manter o nível de torque alvo, o protocolo foi interrompido. Imediatamente após o protocolo de exaustão, os participantes realizaram novamente uma CIVM dos flexores do cotovelo (Figura 1). A ativação muscular elétrica foi monitorada por meio de eletromiografia de superfície (EMG) do músculo *biceps braquial* durante toda a coleta de dados (ver detalhes a seguir).

Figura 3: Fluxograma descrevendo os procedimentos do estudo 1.
CIVM: Contração voluntária máxima isométrica



Os dados de torque foram coletados na frequência de amostragem 100 Hz e suavizados usando filtro de Butterworth de banda baixa, de fase zero, recursivo com uma frequência de corte de 10 Hz. O torque máximo antes e depois do protocolo de exaustão (60% do MVIC) e o tempo de exaustão foram extraídos dos dados de torque.

Os sinais EMG foram registrados usando uma frequência de amostragem de 2000 Hz por canal (Miotool; Miotec Equipamentos Biomedicos Ltda, Porto Alegre, Brasil). Para capturar a ativação do músculo *biceps braquial* foram utilizados eletrodos bipolares (*Kendall Meditrace, Chicopee, Canadá*) com 22 mm de distância entre os eletrodos. Os eletrodos foram colocados no ventre do músculo *biceps braquial* no membro superior direito, de acordo com as técnicas descritas pela SENIAM (HERMENS et al., 1999). Para garantir que os eletrodos permanecessem no mesmo local em todas as sessões de teste, foi marcado com um lápis dermatológico. Em relação à redução da impedância, a pele foi raspada e limpa com álcool antes que os eletrodos fossem fixados na pele (HERMENS et al., 1999). Após a aplicação de fototerapia, novos eletrodos foram colocados nos locais marcados na pele para análise do tempo até a fadiga e pós-teste de CIVM.

Tratamento com fototerapia / placebo

A aplicação da fototerapia foi realizada usando dois *probes* diferentes (*Chatanooga Group, Guildford Surrey, Reino Unido*), conforme detalhado na Figura 2. Os tratamentos foram aplicados em dois locais sobre o músculo *biceps braquial* (Figura 2) com o *probe* mantido imóvel e perpendicular a pele. A aplicação do placebo foi exatamente da mesma maneira, no entanto, com o equipamento desligado.

Figura 4: Parâmetros fototerápicos e locais de aplicação

Probe Grande PG = 33 diodos		Probe Pequeno PP = 9 diodos
	Lasers (850 nm)	
5	Nº de diodos	5
100mW	Potência gerada- cada (mW)	100mW
0.06	Tamanho do spot- cada (cm ²)	0.06
1666.6	Densidade da potência (mW/cm ²)	1666.6
Contínua	Frequência	Contínua
3.2J	Dose - cada (J)	5.6 J
	LEDs (670nm)	
12	Nº de diodos	4
10mW	Potência gerada- cada (mW)	10mW
1.92	Tamanho do spot- cada (cm ²)	0.64
5.20	Densidade da potência (mW/cm ²)	15.62
Contínua	Frequência	Contínua
0.3J	Dose - cada (J)	0.56J
	LEDs (850nm)	
8	Nº de diodos	-
25mW	Potência gerada- cada (mW)	-
1.28	Tamanho do spot- cada (cm ²)	-
19.53	Densidade da potência (mW/cm ²)	-
Contínua	Frequência	-
0.5J	Dose - cada (J)	-
	LEDs (950nm)	
8	Nº de diodos	-
15mW	Potência gerada- cada (mW)	-
1.28	Tamanho do spot- cada (cm ²)	-
11.71	Densidade da potência (mW/cm ²)	-
Contínua	Frequência	-
0.5J	Dose - cada (J)	-
30.2 cm ²	Tamanho do probe (cm ²)	7.5 cm ²
2	Número de locais aplicados	2
32	Tempo gasto em cada local (seg.)	56
30	Dose por local (J)	30
60	Dose total (J)	60

Análise estatística

Os valores estão apresentados como média e desvio padrão (DP). A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk*. A análise de variância (ANOVA-Two way) com medidas repetidas [fator de tratamento (PG-ativo, PP-ativo, PG-Placebo e PP-Placebo) e fator de tempo (pré e pós - exaustão)] foi utilizada para comparar o pico de torque (PT). Uma abordagem estatística semelhante foi realizada para comparar dados de *Root Mean Square* (RMS) e a mediana da frequência (MF) [fator de tratamento (PG-ativo, PP-ativo,

PG-Placebo e PP-Placebo) e fator de tempo (pré, 0, 25, 50, 75, 100% e protocolo pós-exaustão)]. O tempo de exaustão após cada tratamento foi comparado depõe meio de ANOVA *one-way* para medidas repetidas. O *post-hoc* LSD foi utilizado para todas as análises. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software *IBM SPSS Statistics* para *Windows*, Versão 21.0 (*IBM Corp., Armonk, NY, EUA*). O nível de significância foi definido em $\alpha = 0,05$.

Resultados

Não foi observada interação tratamento - tempo ($F = 0,764$, $p = 0,524$) ou efeito do tratamento ($F = 0,368$, $p = 0,777$) durante as CIVMs. No entanto, um efeito de tempo significativo ($F = 93,959$, $p < 0,001$) indica que todas as condições apresentaram redução significativa nos valores de CIVM-pós comparados ao protocolo de pré-exaustão (Tabela 1).

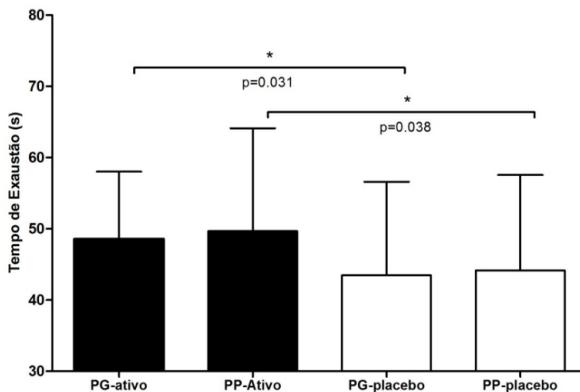
Tabela 1: Valores de pico de torque pré e pós protocolo de fadiga nas condições de probe grande (PG) ativo e placebo e probe pequeno (PP) ativo e placebo.

PT	PG-Ativo	PG-Placebo	PP-Ativo	PP-Placebo
Pré (Nm)	88 ± 14	88 ± 16	86 ± 16	89 ± 17
Pós (Nm) ^a	76 ± 11	77 ± 13	75 ± 16	75 ± 14
Δ (%)	-14	-13	-11	-15

^a efeito do tempo ($p < 0,001$)

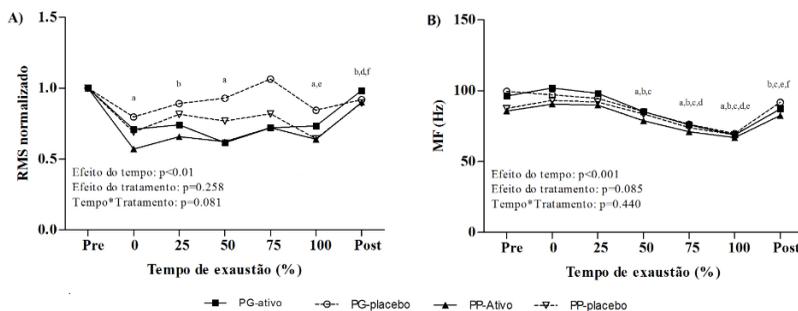
O tempo de exaustão foi significativamente maior para PG e PP ativos em comparação com seus respectivos placebos ($p = 0,031$; $p = 0,038$), sem diferenças significativas entre a fototerapia aplicada com o PG ou PP ($p = 0,662$; Figura 3). Os participantes apresentaram um tempo total para o atingimento da fadiga 15% maior em PG-ativo do que PG-Placebo e 14% mais alto em PP-ativo em comparação com PP-Placebo.

Figura 5: Tempo para exaustão dos flexores do cotovelo para 60% da CIVM com Probe Grande (PG-Ativo), Probe Pequeno (PP-Ativo) e seus respectivos placebos (PG-Placebo e PP-Placebo)



Os valores de RMS normalizados e MF estão presentes na figura 4. Não houve interações tratamento*tempo (RMS: $F = 1,545$, $p = 0,081$; MF: $F = 1,185$, $p = 0,279$) ou efeitos do tratamento (RMS: $F = 1,421$, $p = 0,258$; MF: $F = 2,334$, $p = 0,096$). O efeito do tempo significativo foi mostrado nos valores de RMS ($F = 4,202$, $p < 0,01$) e MF ($F = 21,829$, $p < 0,001$).

Figura 6: Valores de *Root Mean Square* (RMS) normalizados pela CIVM (A) e valores de mediana da frequência (MF) nos momentos Pré, durante o protocolo de exaustão e Pós. Onde ^a indica diferenças em relação ao Pré, ^b em relação a 0%, ^c em relação a 25%, ^d em relação a 50%, ^e em relação a 75% e ^f em relação ao 100%.



Discussão

Vários estudos já demonstraram o efeito positivo da fototerapia sobre a fadiga muscular (BORSA et al., 2013, LEAL-JUNIOR et al., 2015). No entanto, este estudo parece ser o primeiro a comparar o efeito de diferentes tamanhos de *probe* (PG-33 diodos, 30,2 cm² vs. PP 9 diodos, 7,5 cm²), com a mesma dosimetria total (60 J) e,

consequentemente, diferentes densidades de energia (J / cm^2) sobre o desempenho muscular. Assim, a novidade do nosso estudo é que ambos os *probes* testados foram eficazes para aumentar a resistência muscular de um protocolo de exaustão, e esse efeito positivo não pode ser explicado por alterações induzidas pela fototerapia na ativação muscular.

Os níveis de fadiga são frequentemente avaliados por meio da queda de força / torque avaliados por meio de CIVM realizadas antes e depois do exercício. Baroni et al. (2010ab) encontraram queda nos valores de torque decorrentes de protocolos de exaustão concêntrico e excêntrico com aplicação prévia de LEDT e LLLT, respectivamente. Uma vez que as perdas de força induzidas pela fadiga muscular dependem das características dos participantes e do protocolo de exercício (ou seja, padrão de contração e avaliação realizada) (AMENT et al., 2009), as mudanças percentuais no CIVM observadas em nosso estudo não podem ser comparadas com as relatadas pelos estudos acima mencionados (BARONI et al., 2010ab). Além disso, a queda percentual semelhante nos testes CIVM observados entre as quatro situações experimentais em nosso estudo não suporta os achados anteriores (BARONI et al., 2010ab). É importante notar que Baroni et al. (2010ab) usaram contrações isocinéticas de intensidade máxima com um número fixo de repetições, enquanto nosso protocolo é caracterizado como um exercício isométrico submáximo com um tempo de duração variável de acordo com a resposta de força dos participantes. Portanto, considerando que a fadiga é dependente da tarefa realizada (AMENT et al., 2009), acreditamos que os resultados controversos podem estar relacionados aos diferentes protocolos de fadiga utilizados pelos estudos de fototerapia, e são necessárias mais investigações neste tópico para otimizar os tratamentos de fototerapia no campo de exercícios.

Quanto ao tempo para o atingimento da fadiga, nossos achados foram favoráveis à fototerapia em comparação aos tratamentos placebo. Nossos resultados concordam com outros estudos que reportam resultados positivos em protocolos que englobam a contração isométrica submáxima de extensores de joelho (MIRANDA et al., 2014), repetições de flexão do cotovelo com pesos livres (LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL-JUNIOR et al., 2010) e teste incremental de corrida (DE MARCHI et al., 2012). Além disso, o tempo para o atingimento da fadiga (definido como uma redução de 20% na intensidade do sinal EMG inicial) dos músculos mastigatórios (KELENCZ et al., 2010) e o desempenho dos músculos flexores do cotovelo (DE ALMEIDA et al., 2012) durante os testes isométricos máximos com duração de 60 s

também já foram evidenciados. Analisando de maneira integrada os dados de CIVM e o tempo de exaustão, nossos dados sugerem que a fototerapia foi capaz de aumentar a tolerância ao teste submáximo sem ser acompanhada por uma maior redução na capacidade de gerar força máxima dos participantes, e esse benefício foi alcançado com os dois tamanhos de probe.

De acordo com nosso conhecimento, o presente estudo é o primeiro a investigar o tempo de exaustão durante um protocolo isométrico submáximo para flexores do cotovelo. Miranda et al., (2014) utilizou um protocolo (contração isométrica em 80% do MIVC até o esgotamento) semelhante ao protocolo do presente estudo. Os autores observaram um aumento de 56% no tempo de exaustão após a aplicação LEDT em comparação com a condição placebo. Nós reportamos melhoras em torno de 14 a 15%. O estudo acima mencionado (MIRANDA et al., 2014), além de utilizar uma dose de energia ligeiramente superior à nossa (41 J por ponto) e um grupo muscular diferente (quadríceps), também utilizou pacientes com baixa capacidade funcional (doença pulmonar obstrutiva crônica - DPOC), talvez esses fatores poderiam explicar a grande diferença com o presente estudo. Embora o conjunto de evidências sobre fototerapia aplicada durante exercícios seja em indivíduos saudáveis (BARONI et al., 2010ab), atletas profissionais (LEAL-JUNIOR et al., 2008, LEAL-JUNIOR et al., 2009, LEAL-JUNIOR et al., 2010), idosos (TOMA et al., 2013) e pacientes com doenças pulmonares (MIRANDA et al., 2014), respostas específicas frente a LLLT / LEDT para cada população permanece inexplorada.

Dos Santos Maciel et al., (2014) compararam a aplicação de LLLT (29 pontos, 780 nm, 30 mW e 0,81 J / ponto) antes de um protocolo de exaustão envolvendo contrações isotônicas do músculo *tibialis anterior*, com uma condição placebo. Os autores observaram que a aplicação de LLLT provocou declínio da ativação muscular (RMS) em três das cinco janelas avaliadas durante o protocolo de exaustão. Como uma possível explicação, Ferraresi et al., (2012) hipotetizou que a irradiação com LLLT poderia influenciar positivamente na modulação de canais de sódio, potássio e cálcio, devido à maior disponibilidade de ATP. No presente estudo, embora a PG-ativo e PP-ativo tenham apresentado redução no valor RMS em três das cinco janelas durante o protocolo de exaustão, nenhum efeito de tratamento foi observado (Figura 4). Assim, no presente estudo, a fototerapia não foi capaz de alterar as respostas do valor RMS (ativo vs. placebo). Estudos futuros são necessários para confirmar se as respostas de RMS após a aplicação

de fototerapia são dependentes da contração muscular (ou seja, contrações isométricas e isotônicas).

Outra variável neuromuscular utilizada para estimar a fadiga periférica durante as contrações isométricas é a MF (MERLETTI et al., 1997, CIFREK et al., 2009, BABAULT et al., 2006, MASUDA et al., 1999). Entre os estudos que procuraram verificar as respostas da MF associada à fototerapia, alguns autores usaram protocolos dinâmicos (VIEIRA et al., 2012, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014). No entanto, Masuda et al., (1999) apresentaram maiores valores de MF para protocolos isotônicos do que isométricos. Esses resultados podem estar relacionados com as características estacionárias do sinal EMG das contrações isométricas. Para as contrações isotônicas, é recomendado outras análises, como a média instantânea (ROY et al., 1998) ou a transformada wavelet contínua (KARLSSON et al., 2000). No presente estudo, apesar do declínio significativo observado para MF entre 0 e 100% de TE (efeito de tempo, $p < 0,001$) em todos os tratamentos, independentemente do tamanho do *probe* (PG-ativo e PP-ativo), a aplicação de fototerapia não conseguiu prevenir a fadiga periférica. Do mesmo modo, Toma et al., (2013) e Higashi et al., (2013) avaliaram a MF durante as contrações isométricas anteriormente irradiadas com LLLT (808 nm, 100 mW e 56 J) e não observaram influência da aplicação LLLT. Por outro lado, Miranda et al., (2014) especularam que o aumento do fluxo sanguíneo com o aplicativo LEDT poderia ser responsável por menor inclinação na MF (LEDT = $-0,7 \pm 0,3$ versus placebo = $-1,5 \pm 0,8$) e consequentemente retardando a fadiga. No entanto, os participantes avaliados (pacientes com DPOC) e diferenças metodológicas (especialmente na dosimetria) inviabilizam as comparações com o presente estudo.

Uma limitação que pode ser apontada no nosso estudo diz respeito às diferenças entre os dois *probes*. Enquanto PG tinha diodos com quatro comprimentos de onda (670/850/880/950 nm), o PP consistia apenas em dois comprimentos de onda (670/850 nm), e a proporção de cada tipo de diodo também era específica para cada *probe*. Por um lado, parece lógico que uma comparação mais justa possa ser feita com *probes* que apresentem uma proporcionalidade em relação a distribuição dos diodos. No entanto, nosso estudo teve como objetivo testar equipamentos disponíveis no mercado atual e não *probes* desenvolvidos exclusivamente para fins de pesquisa. Portanto, assumimos a limitação do estudo relacionada aos dispositivos como escolha dos pesquisadores para abordar as condições reais experimentadas por clínicos que usam fototerapia.

Conclusão

Em conclusão, o uso da fototerapia, tanto o *probe* grande quanto o pequeno (de acordo com os parâmetros testados neste estudo) levaram à redução da fadiga nos músculos flexores do cotovelo, sem diferença entre eles. A fototerapia foi capaz de aumentar o tempo de exaustão em comparação com as condições de placebo, e essa maior tolerância ao exercício não foi acompanhada por um maior decréscimo na capacidade de geração de força máxima dos participantes. Além disso, os efeitos positivos da fototerapia não puderam ser explicados por mudanças nos padrões de ativação muscular, já que o valor RMS e a MF foram igualmente afetados nas condições de fototerapia e placebo.

3.1.2 Artigo 2* – PBMT e Momento de aplicação

TEMPO - RESPOSTA DA TERAPIA COM FOTOBIMODULAÇÃO NA FADIGA MUSCULAR EM HUMANOS

Resumo

O objetivo deste estudo foi identificar os efeitos de dois tempos-respostas de aplicação de terapia de fotobimodulação (PBMT) sobre a fadiga do extensor do joelho. Dezesesseis voluntários do sexo masculino ($26 \pm 6,0$ anos 81 ± 12 kg e $181 \pm 7,4$ cm) participaram do estudo. Os participantes realizaram o mesmo protocolo em cinco sessões: a) controle, b) placebo (placebo aplicado 6 horas antes e imediatamente antes do teste), c) 6h antes + imediatamente antes (PBMT aplicado 6 horas antes e imediatamente antes do teste), d) 6h antes (PBMT aplicado 6 horas antes e placebo aplicado imediatamente antes do teste), e) imediatamente antes (placebo aplicado 6 horas antes e PBMT aplicado imediatamente antes do teste). A PBMT foi aplicada nos extensores do joelho (9 pontos, 30 J por ponto). Os valores de torque durante as contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM) foram avaliados antes e depois de um protocolo de fadiga isocinética (45 flex./ext. do joelho realizadas de maneira concêntrica a 180°s^{-1} com a máxima força), associada à eletromiografia (*Root Mean Square* (RMS) e mediana da frequência (MF)). Para as CIVMs, não houve interação tratamento * tempo. O efeito de tempo foi observado para o pico de torque (PT), RMS e MF. Enquanto o efeito do tratamento foi identificado para a CIVM, na qual a condição “6h antes + imediatamente antes” apresentou maior PT que as situações “Controle” ($p=0,004$) e “Placebo” (0,044). A condição “imediatamente antes” apresentou maiores PT que a condição controle ($p=0,047$). Em relação ao PT pós, a situação “6h antes + imediatamente antes” apresentou valores maiores que o controle ($p=0,001$) e placebo (0,004). A queda no PT após o protocolo de fadiga foi de 26% para a condição “6h antes + imediatamente antes”, 33% para o controle, 29% para a condição placebo, e 32% para a condição “imediatamente antes”. A aplicação de PBMT “6h antes e imediatamente antes” do protocolo foi capaz de reduzir a fadiga.

Palavras chave: Ergogênicos, *Laser*terapia de baixa potência, Terapia com diodos emissores de luz, testes isocinéticos.

* Artigo aceito para publicação no periódico Journal Strength Conditioning Research (Apêndice 02). Citação: **Time Response of Photobiomodulation Therapy on Muscular Fatigue in Humans**. JSCR, 2017.DOI: 10.1519/JSC.0000000000002339

Introdução

A terapia com fotobiomodulação (PBMT), também conhecida como fototerapia, envolve o uso de fontes de luz monocromáticas com efeitos não térmicos para fins terapêuticos. Efeitos fisiológicos e terapêuticos fornecidos pela PBMT são decorrentes de eventos fotofísicos e fotoquímicos gerados após absorção de energia luminosa por cromóforos específicos localizados nas mitocôndrias celulares (especialmente citocromo c oxidase na unidade IV na cadeia respiratória mitocondrial) (HUANG et al., 2011). Assim, *LASERS* de baixa potência e diodos emissores de luz (LEDs) que emitem radiação dentro das regiões vermelha e infravermelha do espectro eletromagnético ("janela ótica" que corre aproximadamente de 650 a 1200 nm), tem sido utilizados para tratar uma série de lesões na pele, tendões, músculos, articulações e nervos (ENWEMEKA 2009, HAMBLIN 2017), sendo que os efeitos positivos têm se mostrado em condições que envolvem o reparo tecidual, inflamação e controle da dor (ENWEMEKA 2004, HUANG et al., 2015, TUMILTY et al., 2010). Além disso, os estudos publicados na última década evidenciaram que a PBMT é capaz de atenuar o processo de fadiga (BARONI et al., 2010, LEAL-JUNIOR et al., 2009, PAOLILLO et al., 2013, ROSSATO et al., 2016, TOMA et al., 2013, VASSÃO et al., 2016), reduzir os marcadores de dano muscular induzido pelo exercício (ANTONIALLI et al., 2014, BARONI et al., 2010, BORGES et al., 2014, RIZZI et al., 2006, SILVEIRA et al., 2016), melhorar o desempenho do exercício (FERRARESSI et al., 2011, LANFERDINI et al., 2017, DE MARCHI et al., 2012, MIRANDA et al., 2016, PAOLILLO et al., 2013), e até mesmo potencializar adaptações envolvendo programas de treinamento de força (BARONI et al., 2015, FERRARESI et al., 2011, VANIN et al., 2016).

Os mecanismos envolvidos na instalação do processo de fadiga muscular não são totalmente compreendidos, mas é sabido que tanto fatores centrais quanto periféricos estão associados a uma redução na capacidade de gerar força (AMENT et al., 2009, GANDEVIA, 1992). Evidências apoiam que a PBMT é capaz de aumentar o potencial de membrana mitocondrial, o consumo de oxigênio e a quantidade de

adenosina trifosfato (ATP) após a irradiação celular (HUANG et al., 2011). Além disso, o óxido nítrico e as espécies reativas de oxigênio são produzidas transientemente; o ciclo da adenosina monofosfato é envolvido em vias de sinalização; fatores de transcrição tais como NF- κ B são ativados; proteínas anti-apoptóticas, proteínas de choque térmico, vias antioxidantes de defesa e as citocinas antinflamatórias são aumentadas (HUANG et al., 2011). Considerando todas essas mudanças locais, os efeitos do PBMT no desempenho muscular parecem estar altamente relacionados aos mecanismos de fadiga periférica.

Estudos anteriores focados em efeitos de PBMT sobre a fadiga muscular usaram diferentes protocolos de exercícios, como exercícios de carga constante até a fadiga (FERRARESI et al., 2015, LARKIN-KAISER et al., 2015, MALTA et al., 2016), exercício em isocinéticos (BARONI et al., 2010ab, DE BRITO VIEIRA et al., 2012, DE MARCHI et al., 2017, ROSSATO et al., 2016, DE SOUZA et al., 2016), testes progressivos máximos (DE MARCHI et al., 2012, MIRANDA et al., 2016) e testes com carga constante até a exaustão (LANFERDINI et al., 2017). Concomitantemente, a fadiga foi avaliada por meio de uma série de parâmetros, incluindo mudanças na capacidade de gerar força (por exemplo, contração voluntária máxima) (BARONI et al., 2010, DE SOUZA et al., 2016, VASSÃO et al., 2016) e na ativação muscular (HIGASHI et al., 2013, KELENCZ et al., 2010, MIRANDA et al., 2016, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014, VASSÃO et al., 2016). A maioria dos estudos encontrou menor redução na força após protocolos de exercício quando realizada a aplicação da PBMT (BARONI et al., 2010ab, BORGES et al., 2014, LARKIN-KAISER et al., 2016). No entanto, embora alguns estudos tenham relatado que a PBMT promoveu menores quedas na mediana da frequência (MF) e aumento nos valores de *Root Mean Square* (RMS) do sinal eletromiográfico durante os testes de fadiga quando comparados com situações de controle / placebo (KELENCZ et al., 2010), outros não conseguiram produzir tais descobertas positivas (HIGASHI et al., 2013, ROSSATO et al., 2016, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014).

Todos os estudos acima mencionados aplicaram a PBMT imediatamente antes do protocolo de exercício (BARONI et al., 2010, HIGASHI et al., 2013, LARKIN-KAISER et al., 2016, MALTA et al., 2016, DE MARCHI et al., 2012, MIRANDA et al., 2016, ROSSATO et al., 2016, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014, TOMA et al., 2013, VASSÃO et al., 2016). No entanto, um estudo em modelo animal (FERRARESI et al., 2015) sugeriu a necessidade de um maior tempo entre a aplicação da PBMT e uma subsequente avaliação. Os autores

observaram que os ratos irradiados com PBMT 6 horas antes de um teste de fadiga (subir escadas) apresentavam concentrações de ATP intramuscular mais altas e maior desempenho em exercícios de subir escadas do que os animais tratados 24 horas, 3 horas ou 5 min antes o teste (FERRARESI et al., 2015). Nenhuma abordagem semelhante foi realizada com seres humanos, que por sua vez poderia auxiliar pesquisadores e clínicos determinar o melhor momento para a aplicação PBMT antes do exercício. Portanto, o objetivo deste estudo foi identificar os efeitos de diferentes momentos de aplicação da PBMT (6 horas e imediatamente antes do exercício) sobre a fadiga dos músculos extensores do joelho.

Materiais e Métodos

Abordagem Experimental do Problema

Para determinar o melhor momento para aplicar PBMT antes do exercício, utilizamos um protocolo cruzado, randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. Os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo em 5 sessões com diferentes tratamentos (Figura 7): (a) controle (sem qualquer tratamento, sempre na primeira semana); (b) placebo (placebo aplicado 6 horas antes quanto imediatamente antes do teste); (c) 6 horas antes de + imediatamente antes (PBMT aplicado 6 horas antes e imediatamente antes do teste); (d) 6 horas antes (PBMT aplicada 6 horas antes e placebo aplicado imediatamente antes do teste); e (e) imediatamente antes (placebo aplicado 6 horas antes e PBMT aplicado imediatamente antes do teste). Exceto para a sessão de controle, a ordem do tratamento foi determinada por meio de sorteio.

Dois pesquisadores foram responsáveis por todas as sessões de teste e foram cegados em relação a alocação dos participantes em cada tratamento. Um terceiro pesquisador, com treinamento apropriado e experiência suficiente com o dispositivo PBMT foi responsável pela aplicação dos tratamentos com PBMT. Este pesquisador foi instruído a não informar os participantes ou os outros pesquisadores referentes à aplicação PBMT ou placebo. Os participantes utilizaram óculos opacos que bloquearam a visão durante a aplicação. Como a PBMT não causa estímulos sensitivos (por exemplo, calor, frio, prurido, irritação da pele e dor), os indivíduos permaneceram completamente cegos randomização dos tratamentos. O experimento foi realizado em 5 dias com intervalos de 7 a 10 dias entre as sessões de teste. Todos os testes foram realizados à tarde (15:00 - 18:00 horas), exatamente 6 horas após a aplicação PBMT / placebo, que sempre fora realizado pela manhã (9:00 - 12:00 horas). Os

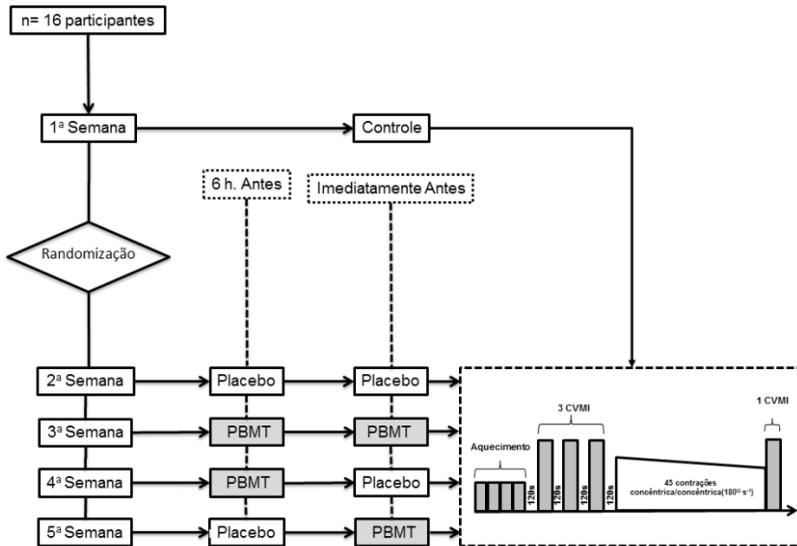
participantes foram instruídos a evitar qualquer atividade vigorosa nos membros inferiores, consumo de álcool e / ou cafeína, aproximadamente 24 horas antes das sessões de teste.

Participantes

Dezenove voluntários foram incluídos inicialmente neste estudo. Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: (a) fisicamente ativos; (b) idade entre 18 e 35 anos; (c) envolvimento com treinamento de força superior pelo menos duas vezes por semana nos últimos seis meses; (d) disponibilidade para concluir o protocolo pelo menos em 5 semanas, e (e) durante o protocolo de estudo (5 semanas) não realizar treinamento de força para os membros inferiores. Os critérios de exclusão foram os seguintes: (a) lesões no joelho nos últimos 2 meses e (b) coeficiente de variação superior a 10% para a contração isométrica voluntária máxima (CIVM) entre as condições controle e placebo. Ocorreram três perdas ao longo do estudo e, portanto, 16 participantes ($26 \pm 6,0$ anos, 81 ± 12 kg e $181 \pm 7,4$ cm) concluíram o protocolo do estudo e foram incluídos na análise.

O fluxograma descrevendo as fases do estudo e a participação dos participantes é apresentado na Figura 1. Todos os participantes foram informados dos benefícios e riscos da pesquisa antes de assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. A aprovação ética foi obtida no Comitê local de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CAAE: 61599116.1.0000.0121), e o protocolo foi escrito de acordo com os padrões estabelecidos na Declaração de Helsinki.

Figura 7: Fluxograma do estudo 2



Procedimentos

Testes isocinéticos

Durante todas as sessões de teste, os participantes realizaram uma familiarização e um protocolo de aquecimento (20 repetições submáximas concêntricas de flexão de extensão do joelho a 120°s^{-1}) usando um dinamômetro isocinético (*Biodex System 4 Pro; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, EUA*). Os participantes foram posicionados no dinamômetro de acordo com as recomendações do fabricante para a avaliação dos movimentos de extensão-flexão do joelho direito. Após o aquecimento, os participantes foram instruídos a realizar três tentativas máximas de extensão de joelho (CIVM) com duração de 5 s (CIVM-PRE). Foi considerada a angulação de 70° de extensão do joelho (0° = extensão do joelho completo). Um período de repouso de 2 min foi respeitado entre as tentativas. O maior valor de pico de torque (PT) foi considerado para as análises. Na sequência, os participantes realizaram um protocolo de fadiga envolvendo uma única série com 45 repetições com extensão e flexão do joelho (180°s^{-1}) com amplitude de movimento de 70° ($30\text{-}100^{\circ}$, considerando 0° = extensão do joelho completo), no modo concêntrico/concêntrico. Este protocolo foi semelhante a estudos anteriores (BARONI et al., 2010 e VASSÃO et

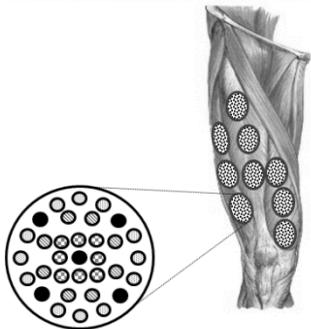
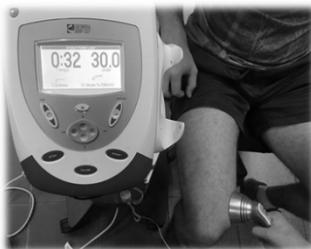
al., 2016). Imediatamente após o protocolo de fadiga, os indivíduos realizaram novamente uma CIVM para avaliar a força dos extensores do joelho direito (CIVM_{PÓS}). A descrição do protocolo de testes está descrita na figura 1. Os valores de torque foram coletados com uma taxa de amostragem de 100 Hz e suavizado usando um filtro recursivo passa-baixa Butterworth de quinta-ordem, zero-fase, com ponto de corte de 10 Hz.

A ativação muscular foi avaliada por meio da eletromiografia de superfície (EMG) nos músculos *vastus lateralis* (VL), *rectus femoris* (RF) e *vastus medialis* (VM) do membro direito. A superfície da pele foi raspada e limpa, seguida pela fixação dos eletrodos sem fio Delsys Trigno® (*Trigno Wireless EMG, Delsys, Inc., Natick, MA, EUA*). Os eletrodos foram colocados em um ponto intermediário estimado entre a zona de inserção muscular e inervação, ao longo do eixo longitudinal do músculo conforme descrito por Basmajian & DeLuca (1985). Os sinais de EMG foram gravados usando uma frequência de amostragem de 2000 Hz por canal. A fim de garantir que os eletrodos fossem fixados sempre no mesmo local, em todas as sessões de teste, a área determinada foi marcada com uma caneta dermatológica. Os dados de EMG brutos foram suavizados usando um filtro recursivo digital Butterworth de 5ª ordem, de fase zero, com uma faixa de frequência definida entre 20 e 500 Hz. Os valores *root mean square* (RMS) do VL, RF e VM foram calculados para todos os protocolos (CIVM_{PRÉ} e CIVM_{PÓS} e protocolo de fadiga). Para as análises que envolviam CIVM, a soma dos RMS (VL + RF + VM) foi utilizada para representar a ativação muscular do quadríceps (RMS_{QUAD}). No protocolo de fadiga, o RMS_{QUAD} foi normalizado pelo RMS_{QUAD} obtido durante CIVM_{PRÉ} (100%) (MERLETTI & PARKER 2004). A mediana da frequência (MF) do músculo quadríceps (MF_{QUAD}) foi calculada durante CIVM_{PRÉ} e CIVM_{PÓS} (MERLETTI & PARKER 2004). Durante o protocolo de fadiga, o pico de torque (PT), o trabalho produzido (W) e os valores de RMS foram avaliados contração por contração. Os dados foram agrupados em início (1-15 repetições), meio (16-30 repetições) e final (31-45 repetições). O índice de fadiga do protocolo geral (1-45 reps) foi calculado usando a seguinte equação: [(média das últimas 15 contrações / média das primeiras 15 contrações) - 1]. Todos os dados foram analisados usando rotinas matemáticas em ambiente MATLAB 7.1 (*Math Works Inc., Natick, MA, EUA*).

Terapia de fotobiomodulação / placebo.

A terapia com fotobiomodulação e o placebo foram aplicados com o equipamento Chattanooga Intellect Advanced 2766® (*Chattanooga Group, Guildford, UK*) sobre os músculos extensores do joelho. Os tratamentos foram aplicados em 9 locais ao longo do grupo muscular quadríceps (Figura 2), com o *probe* mantido imóvel e perpendicular à pele. A aplicação do placebo era exatamente da mesma maneira, no entanto, com o equipamento desligado.

Figura 8: Parâmetros utilizados na aplicação com fototerapia no Estudo 2



Probe (33 diodos)	
● Lasers (850 nm)	
Nº de diodos	5
Potência gerada- cada (mW)	100mW
Tamanho do spot- cada (cm ²)	0.06
Densidade da potência (mW/cm ²)	1666.6
Frequência	Continuous
Dose – cada (J)	3.2 J
○ LEDs (670nm)	
Nº de diodos	12
Potência gerada- cada (mW)	10mW
Tamanho do spot- cada (cm ²)	1.92
Densidade da potência (mW/cm ²)	5.20
Frequência	Continuous
Dose – cada (J)	0.3J
● LEDs (880nm)	
Nº de diodos	8
Potência gerada- cada (mW)	25mW
Tamanho do spot- cada (cm ²)	1.28
Densidade da potência (mW/cm ²)	19.53
Frequência	Continuous
Dose – cada (J)	0.5J
● LEDs (950nm)	
Nº de diodos	8
Potência gerada- cada (mW)	15mW
Tamanho do spot- cada (cm ²)	1.28
Densidade da potência (mW/cm ²)	11.71
Frequência	Continuous
Dose – cada (J)	0.5J
Tamanho do cluster (cm ²)	30.2cm ²
Número de locais aplicados	9
Tempo gasto em cada local (seg.)	32
Dose por local (J)	30
Dose total (J)	270

Análises estatísticas

A normalidade dos dados foi verificada utilizando o teste de *Shapiro-Wilk*. A comparação do PT, RMS_{QUAD} e MF_{QUAD} obtidos durante as CIVMs foi realizada por meio de uma análise de variância de duas vias (ANOVA *Two-Way*) [tratamento (controle, placebo, 6 horas antes + imediatamente antes, 6 horas antes e imediatamente antes) * tempo (Pré e Pós protocolo de fadiga)]. Uma ANOVA de medidas repetidas foi utilizada para comparar as mudanças percentuais (CIVM_{PRE} para CIVM_{POST}) no PT, RMS_{QUAD} e MF_{QUAD}. O mesmo procedimento foi utilizado para comparar o desempenho do sujeito

durante o protocolo isocinético. O *Post Hoc* LSD foi utilizado para todas as análises. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* IBM SPSS Statistics para Windows, versão 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA). O nível de significância foi de $\alpha = 0,05$. A inferência baseada na magnitude foi utilizada para determinar a significância prática. Portanto, a magnitude de diferença entre placebo e os tempos de aplicação da PBMT (placebo versus 6 h antes + imediatamente antes, placebo versus 6 h antes e placebo versus imediatamente antes) foi calculada e expressa como diferenças médias. O critério de Cohen foi adotado para análise do tamanho do efeito ($>0,2$ = 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 não claras (BATTERHAM; HOPKINS, 2006).

Resultados

Os participantes tiveram, nas cinco condições avaliadas, desempenho similar durante o protocolo de fadiga isocinética (Tabela 1). Quando olhamos para CIVM_{PRE} e CIVM_{POS} protocolos de fadiga, não observamos interação tempo*tratamento para PT, RMS_{QUAD} e MF_{QUAD} (Figura 9A, C, E, respectivamente). No entanto, observou-se um efeito do tempo para PT, RMS_{QUAD} e MF_{QUAD} para todos os tratamentos investigados. O efeito do tratamento foi identificado apenas para o PT, a aplicação de PBMT 6 horas antes + imediatamente antes do tratamento, apresentaram maiores valores do que o controle ($p = 0,004$) e o placebo ($p = 0,044$). Além disso, a aplicação de PBMT imediatamente antes do tratamento apresentou maior PT do que o controle ($p = 0,047$). Em relação a CIVM_{POS}, o PT 6 horas antes + imediatamente antes apresentou valores maiores que o controle ($p = 0,001$) e placebo ($p = 0,004$). Variação percentual no PT entre CIVM_{PRE} e CIVM_{POS} demonstrou uma menor queda para o tratamento com aplicação 6 horas antes + imediatamente antes (26%) comparado com controle (33%; $p = 0,018$), placebo (29%; $p = 0,034$) e imediatamente antes (32%; $p = 0,024$) (Figura 3B). Nenhum efeito de tratamento foi observado para a

variação percentual do RMS_{QUAD} ($F = 1,35$, $p = 0,260$; Figura 3D) e MF_{QUAD} ($F = 0,47$, $p = 0,884$; Figura 3F).

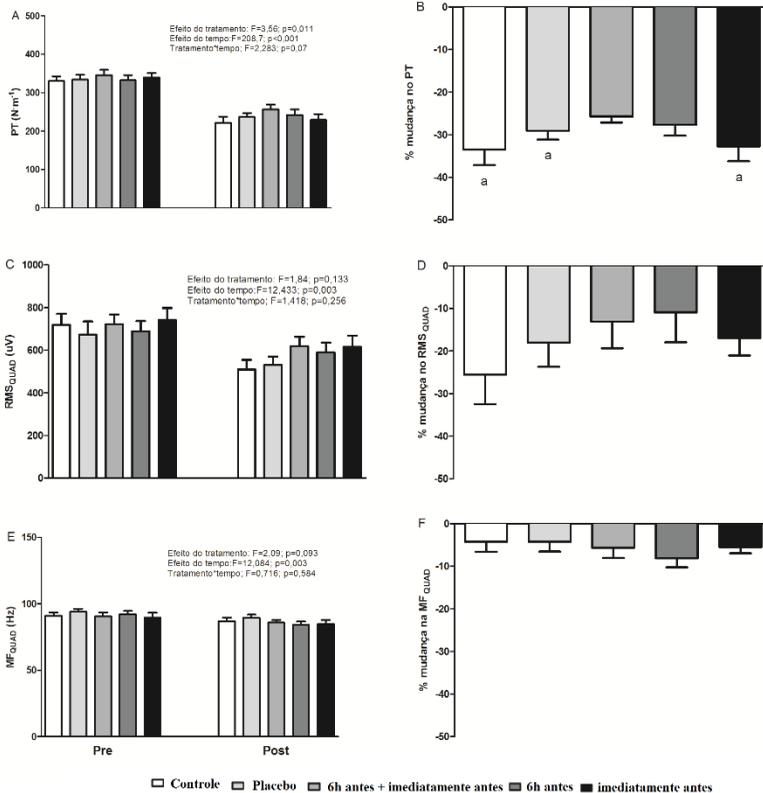
Tabela 2: Média e desvio padrão para o Pico de Torque Concêntrico (PTcon), Trabalho dos Extensores do Joelho (W) e ativação do quadríceps (RMS_{QUAD}) no início, meio, final e total do teste de fadiga isocinético (n=16).

	Controle	Placebo	6h antes + Imediatamente antes
Início (reps 1-15)			
PTcon extensores do joelho (N·m)	159±28	165±29	165±24
W extensores do joelho (J)	806±153	800±179	808±156
RMS_{QUAD} (%)	76±24	73±34	71±13
Meio (reps 16-30)			
PTcon extensores do joelho (N·m)	119±23	125±24	122±23
W extensores do joelho (J)	584±128	616±148	578±128
RMS_{QUAD} (%)	68±26	66±31	63±12
Final (reps 31-45)			
PTcon extensores do joelho (N·m)	82±18	91±21	86±17
W extensores do joelho (J)	369±95	406±117	382±105
RMS_{QUAD} (%)	54±20	52±25	51±11
Total (reps 1-45)			
IF extensores do joelho (%)	48±7	46±6	48±5

(continua)

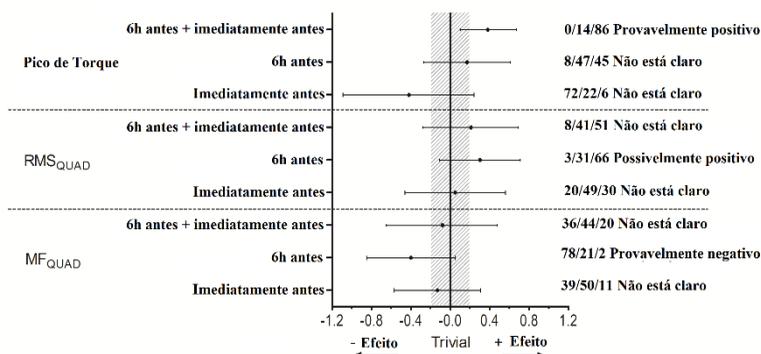
	6h antes	Imediatamente antes	p-anova
Início (reps 1-15)			
PTcon extensores do joelho (N·m)	166±21	164±31	0.152
W extensores do joelho (J)	811±177	809±158	0.986
RMS _{QUAD} (%)	68±29	69±14	0.720
Meio (reps 16-30)			
PTcon extensores do joelho (N·m)	124±25	121±27	0.284
W extensores do joelho (J)	598±138	588±139	0.245
RMS _{QUAD} (%)	63±27	66±17	0.795
Final (reps 31-45)			
PTcon extensores do joelho (N·m)	87±17	84±17	0.211
W extensores do joelho (J)	396±114	383±90	0.201
RMS _{QUAD} (%)	52±23	57±15	0.844
Total (reps 1-45)			
IF extensores do joelho (%)	48±6	49±6	0.633
(final)			

Figura 9: Mudanças absolutas e relativas (%) nos valores de pico de torque (PT) ativação do quadríceps (RMS_{QUAD}) e mediana da frequência (MF_{QUAD}) durante a $CIVM_{PRE}$ e $CIVM_{POS}$ para os 5 tratamentos.^a indica diferença significativa em relação ao tratamento 6 horas antes + imediatamente antes.



A Figura 10 resume os tamanhos de efeito dos tratamentos com PBMT comparados com o placebo. A inferência baseada em magnitude relatou um efeito positivo provável apenas para o PT isométrico quando a PBMT foi aplicada 6 horas antes + imediatamente antes.

Figura 10: Efeito de diferentes tratamentos com PBMT comparados com o placebo para o Pico de Torque Isométrico, ativação do grupo muscular quadríceps (RMS_{QUAD}) e mediana da frequência do quadríceps (MF_{QUAD}).



Discussão

O objetivo principal deste estudo foi identificar os efeitos de diferentes tempos para a aplicação da PBMT (6 horas antes e imediatamente antes de um protocolo de fadiga) sobre parâmetros de torque e na ativação muscular dos extensores do joelho. Estudos envolvendo humanos aplicaram a PBMT imediatamente antes ou até 10 min antes dos protocolos de exercício (BARONI et al., 2010ab, FERRARESI et al., 2015, HIGASHI et al., 2013, KELENCZ et al., 2010, LANFERDINI et al., 2017, MALTA et al., 2016, DE MARCHI et al., 2012, MIRANDA et al., 2016, ROSSATO et al., 2016, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014, DE SOUZA et al., 2016, TOMA et al., 2013, VASSÃO et al., 2016). No entanto, considerando evidências recentes de cultura celular e modelo animal (FERRARESI et al., 2015ab), acreditamos que a PBMT quando aplicada 6 horas antes poderia apresentar melhores resultados do que a PBMT aplicado imediatamente antes do exercício em seres humanos. A principal descoberta foi que apenas o tratamento combinado (6 horas antes + imediatamente antes) promoveu menor redução da força muscular induzida pelo protocolo de fadiga.

O protocolo isocinético utilizado neste estudo induziu com sucesso a fadiga dos músculos extensores do joelho, como ficou evidenciado tanto pela redução da força muscular pós-exercício, quanto pelo índice de fadiga. A PBMT/Placebo não afetou o desempenho dos participantes no protocolo de exercícios isocinéticos (Tabela 1). Esses resultados são semelhantes a estudos prévios que avaliaram os efeitos do PBMT na fadiga muscular dos extensores do joelho (BARONI et al., 2010, VASSÃO et al., 2016).

A randomização realizada nas cinco condições experimentais indica que as variações observadas a partir de avaliações pré e pós-

exercício não podem ser atribuídas aos diferentes níveis de esforço em cada visita ao laboratório. Diferente de outros estudos que avaliaram a força máxima pré e pós-exercício (ANTONIALLI et al., 2014, BARONI et al., 2010ab, LARKIN-KAISER et al., 2016, DE MARCHI et al., 2017, ROSSATO et al., 2016), nós não aplicamos a PBMT nos momentos entre a CIVM_{PRÉ} e CIVM_{POS}. Em nosso estudo, os indivíduos foram tratados com uma ou duas sessões ativas de PBMT antes da CIVM_{PRE}. No entanto, os tratamentos com PBMT realizados anteriormente ao protocolo parecem não ter tido efeitos sobre o PT ou a ativação neuromuscular.

Embora a PBMT não apresentou efeito ergogênico sobre a capacidade de gerar força máxima, a associação de tratamentos realizados 6 horas antes e imediatamente antes do exercício promoveu menor queda nos valores de PT isométrico, quando comparados com o controle, placebo e a aplicação de PBMT realizada imediatamente antes. A PBMT aplicada apenas imediatamente antes do exercício, como tradicionalmente utilizado por estudos neste campo, não afetou o decréscimo da força durante as CIVMs, o que contradiz os achados dos estudos anteriores com extensores do joelho (ANTONIALLI et al., 2014, BARONI et al., 2010ab, LARKIN-KAISER et al., 2012, DE MARCHI et al., 2017). Considerando que os parâmetros do PBMT utilizados neste estudo foram semelhantes aos utilizados em alguns desses estudos anteriores, não temos nenhuma explicação para essa falta de efeitos ergogênicos com a aplicação apenas imediatamente antes do exercício. No entanto, este estudo é o primeiro a investigar a resposta temporal do PBMT em um modelo humano, o que impede comparações para ambas as situações quando os indivíduos foram tratados com PBMT 6 horas antes do exercício. Parece plausível que a menor queda na força observada para o duplo tratamento possa ser provocada por um efeito de soma: 30 J pela manhã + 30 J pela tarde. No entanto, esta resposta para a PBMT foi aqui apresentada pela primeira vez, e esta hipótese deve ser investigada.

Este estudo não forneceu evidências sobre mecanismos responsáveis pela melhoria do torque. No entanto, de acordo com estudos anteriores, a interação da luz com o tecido biológico envolve a absorção de fótons por cromossomos endógenos e a consequente transdução de energia luminosa em energia química em organelas citoplasmáticas (BORSA et al., 2013, FERRARESI et al., 2012, REDDY et al., 2004). As alterações fotoquímicas aumentam o potencial da membrana mitocondrial e a atividade enzimática de todos os complexos (I, II, III e IV), principalmente no complexo IV (citocromo c-

oxidase) da cadeia respiratória (FERRARESI et al., 2012, HUANG et al., 2011, KARU et al., 2010), e conseqüentemente aumentando a síntese de ATP (MANTEIFEL & KARU 2005). Essas respostas sugerem um *turnover* de ATP mais eficiente do metabolismo anaeróbico (FERRARESI et al., 2012). Além disso, a PBMT parece ser capaz de aumentar a microcirculação em um mecanismo dependente da síntese de óxido nítrico (LARKIN-KAISER et al., 2012). Portanto, a PBMT poderia aumentar a taxa de ATP / ADP e o fluxo sanguíneo arterial local, e conseqüentemente, reduzir o processo de fadiga.

Geralmente, a redução dos valores RMS após o protocolo de fadiga envolvendo contrações concêntricas foi relatada por outros autores (BABAULT et al., 2006, KOMI & TESCH et al., 1979, PASQUET et al., 2000), o que pode ser associada ao acúmulo de metabólitos (p. ex., ADP, Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ e lactato) (ALLEN et al., 2008), e conseqüente inibição de neurônios motores (fadiga periférica) ou redução do fluxo descendente supraspinal (fadiga central) (TAYLOR et al., 2000). Em nosso estudo, o grupo muscular do quadríceps reduziu a ativação após o protocolo de fadiga (Figura 3C), sem diferenças entre os tratamentos (Figura 3D). De igual forma, outros estudos também não mostraram alterações nos valores RMS entre os tratamentos com PBMT ou placebo após protocolos de fadiga (LARKIN-KAISER et al 2015, ROSSATO et al., 2016). Juntos, esses achados sugerem que possíveis efeitos ergogênicos, às vezes observados com a PBMT (especificamente, a redução da fadiga) não podem ser atribuídos a mudanças na quantidade de unidades motoras recrutadas.

Resultados contraditórios têm sido observado na literatura em relação aos efeitos da PBMT sobre a mediana da frequência (MF). Embora alguns estudos tenham relatado queda menor na MF com aplicação de PBMT (MIRANDA et al., 2016, VASSÃO et al., 2016), outros não suportaram esses resultados (HIGASHI et al., 2013, ROSSATO et al., 2016, DOS SANTOS MACIEL et al., 2014, TOMA et al., 2013). Note-se que estudos que relatam efeitos positivos da PBMT sobre a MF avaliaram exercícios dinâmicos (MIRANDA et al., 2014, VASSÃO et al., 2016). No entanto, a análise da MF é recomendada para a fadiga periférica durante as contrações isométricas (BABAULT et al., 2006, MERLETTI et al., 2004), devido às características estacionárias do sinal nesse tipo de contração. Kupa et al. (1995) sugeriram que a MF poderia estar relacionada ao tipo de fibra muscular. Os autores demonstraram que as fibras glicolíticas apresentavam maior MF e velocidade de condução do que as fibras oxidativas; além disso, as fibras glicolíticas apresentaram maior queda nos valores de MF após a

fadiga muscular. No presente estudo, embora tenha sido observada uma tendência de uma menor queda na MF quando a PBMT foi aplicada 6 horas antes do exercício (Figura 4), não há evidências claras de que a PBMT tenha sido capaz de alterar um padrão de recrutamento entre as fibras de contração rápida e lenta.

Embora o aumento da produção de ATP relacionado a aplicação de PBMT esteja bem estabelecida na literatura (KARU et al., 1999, MANTEIFEL et al., 2005), a janela de tempo em que esse aumento ocorre precisa de uma explicação adicional. Ferraresi et al. (2015) observaram que a PBMT aplicada 3 horas ou 6 horas antes da avaliação aumentou o potencial da membrana mitocondrial e a síntese de ATP de miotubos de células intactas (células musculares de ratos C2C12) quando comparadas com aplicações realizadas 5 min ou 24 horas antes do teste. Da mesma forma, em um experimento envolvendo modelo animal, o mesmo grupo de autores observou que a PBMT aplicada 6 horas antes do exercício melhorou o desempenho durante um teste de fadiga de escalada, além de aumentar o conteúdo de ATP nos músculos *soleus* e *gastrocnemius* quando comparado com a aplicação de PBMT realizada 5 min, 3 horas, ou 24 horas antes do teste (FERRARESI et al., 2015). No modelo humano, para o melhor de nossos conhecimentos, todos os estudos mostraram resultados positivos quando a PBMT foi aplicada imediatamente antes de diferentes protocolos de fadiga (LEAL-JUNIOR et al., 2015). Nossos achados abrem a possibilidade de que um aplicação realizada algumas horas antes do exercício poderia ser adicionado a uma aplicação realizada imediatamente antes do exercício para minimizar o processo de fadiga muscular em seres humanos. É importante que este efeito de soma dos tratamentos de PBMT seja abordado por investigações futuras.

Em resumo, este estudo mostra pela primeira vez que uma combinação de sessões de pré-condicionamento com PBMT (270 J por músculo quadríceps) aplicado 6 horas antes e imediatamente antes de um exercício de alta intensidade é capaz de reduzir a queda de força em indivíduos saudáveis e fisicamente ativos.

Aplicações Práticas

Nossos achados confirmam os efeitos positivos da PBMT (270 J aplicados sobre o quadríceps) e recomendam que as aplicações combinadas 6 horas e imediatamente antes do exercício reduzem o nível de fadiga nos extensores do joelho submetidos a um protocolo de exercício de força. Os profissionais que atuam com o condicionamento físico devem considerar a abordagem combinada do PBMT aplicada 6

horas e imediatamente antes do exercício resistido para otimizar o desempenho.

3.1.3 Artigo 3* – PBMT e Dose-Resposta

EFEITOS DA DOSE-RESPOSTA DA TERAPIA COM FOTBIOMODULAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO E A FADIGA DURANTE EXERCÍCIOS DE EXTENSÃO DO JOELHO: UM ESTUDO RANDOMIZADO E CONTROLADO

Resumo

O objetivo deste estudo foi identificar a melhor dose de energia da terapia de fotobiomodulação (PBMT) capaz de melhorar o desempenho muscular e reduzir a fadiga em um exercício de extensão do joelho, considerando uma combinação de duas aplicações pré-exercício (6h antes e imediatamente antes do exercício). Fizeram parte do estudo 18 homens fisicamente ativos. Cada participante realizou um protocolo de exercício isocinético (5 séries de 10 contrações concêntricas máximas de extensão do joelho a 60°s^{-1}) em seis sessões, separadas uma semana. A condição de controle (sem tratamentos PBMT/placebo) foi aplicada na primeira e sexta sessões. As aplicações de placebo ou PBMT com 135, 270 ou 540 J / sobre o quadríceps foram randomizadas entre as sessões dois e cinco. Essas doses de PBMT ou placebo foram aplicadas em dois momentos: 6h antes e imediatamente antes do exercício. Os picos de torque concêntrico e isométrico foram avaliados antes e após o protocolo de exercício. Considerando o pico de torque isométrico (PT_{ISO}), o pico de torque concentrico (PT_{CON}) e o trabalho concêntrico (W) pré e pós-fadiga, a condição controle apresentou valores mais baixos do que os tratamentos com placebo e PBMT. Além disso, a PBMT com todas as doses testadas levou a efeitos "possivelmente ou provavelmente positivos" em PT_{ISO} , PT_{CON} e W em comparação com o placebo. Em relação ao protocolo de fadiga, todas as doses de PBMT testadas mostraram diferenças significativa em relação à condição de controle durante todas as séries de exercícios. No entanto, não foram observadas diferenças significativas, além de efeitos triviais entre PBMT (135, 270 e 540 J) e placebo. Os resultados demonstram que PBMT com 135, 270 e 540 J aplicado em dois momentos (6 h antes + imediatamente antes do exercício) foram eficazes para reduzir a fadiga provocada pelo exercício de força com multi-séries.

Palavras-chave: LASERterapia de baixa energia, Terapia com diodos emissores de luz, efeito ergogênico, treinamento de força.

* Artigo submetido ao periódico Journal of Strength and Conditioning Research (Apêndice 3) Citação: **Dose-Response Effect of Photobiomodulation Therapy on Muscle Performance During Knee Extension Strength Exercise: A Randomized Controlled Trial.**

Introdução

A terapia com fotobiomodulação (PBMT) é caracterizada como o uso de energia de luz para induzir adaptações biológicas em tecidos, podendo ser aplicada na forma de *LASER* de baixa energia ou diodos emissores de luz (LEDs). Ao longo da história, a literatura evidenciou os efeitos positivos do PBMT no tratamento de distúrbios da pele, tendões, músculos, articulações e nervos (ENWEMEKA, 2009; HAMBLIN, 2017). Na última década, estudos mostraram que a PBMT aplicada antes das sessões de exercícios é capaz de aumentar a resposta adaptativa a programas de treinamento de força (VANIN et al., 2016, BARONI et al. 2015), atenuar o dano muscular induzido pelo exercício (ANTONIALI et al., 2014; BARONI et al., 2010b; FRITSCH et al., 2016; BORGES et al., 2014; SILVEIRA et al., 2016), melhorar o desempenho no exercício (LANFERDINI et al., 2017; DELLAGRANA et al., 2017; FERRARESI et al., 2011; DE MARCHI et al., 2012; PAOLILLO et al., 2014; MIRANDA et al., 2016) e reduzir o processo de fadiga (BARONI et al., 2010a; ROSSATO et al., 2016; BORGES et al., 2013; TOMA et al., 2013).

O conjunto atual de evidências indica que os mecanismos da PBMT responsáveis pela melhora no desempenho ou na redução da fadiga estão associados à absorção de fótons por cromóforos presentes nas organelas citoplasmáticas, em que a energia luminosa é transduzida em energia química (REDDY 2004). Outras evidências indicam que a PBMT é capaz de aumentar a permeabilidade e consequentemente melhorar o mecanismo de transporte pela membrana plasmática (KLEBANOV et al., 2001), além de melhorar a atividade das enzimas oxidativas associadas ao complexo IV da cadeia respiratória (HUANG et al., 2009, SILVEIRA et al., 2009) e a função mitocondrial (MANTEIFEL et al., 2005). A magnitude dessas respostas é dependente de alguns parâmetros de luz, como o comprimento de onda (ALBUQUERQUE_PONTES et al., 2015, SANTOS et al., 2014) e a dose de energia (ALBUQUERQUE_PONTES et al., 2015, AIMBIRE et al., 2006, SANTOS et al., 2014, PERINI et al., 2016, LANFERDINI et al., 2017, DELLAGRANA et al., 2017a; DELLAGRANA et al., 2017b).

Uma recente revisão sistemática com meta-análise, que considerou 39 ensaios, concluiu que resultados positivos decorrentes da aplicação da PBMT são encontrados quando utilizados comprimentos de onda entre 655 a 950 nm (VANIN et al., 2017). Além disso, a maioria dos resultados positivos foram observados com um intervalo de dose de energia de 20 a 60 J para grupos musculares pequenos (*biceps braquialis*) e 60 a 300 J para grandes grupos musculares (quadríceps) (VANIN et al., 2017). Considerando que a PBMT é caracterizada por uma dose-resposta bifásica (curva de Arndt-Schulz) (HUANG et al., 2011), essa "janela terapêutica" sugerida para grandes grupos musculares ainda é muito ampla; portanto, estudos adicionais são necessários para encontrar a dosagem ideal para melhorar o desempenho do quadríceps em diferentes tarefas de exercícios.

A maioria dos estudos aplicou uma única sessão de PBMT imediatamente antes do exercício (BARONI et al., 2010, HIGASHI et al., 2013, LARKIN-KAISER et al., 2016, MALTA et al., 2016, DE MARCHI et al., 2012, MIRANDA et al., 2014, ROSSATO et al., 2016, TOMA et al., 2016). No entanto, as evidências de estudos com cultura de células (FERRARESI et al., 2015a) e modelo animal (FERRARESI et al., 2015) sugerem a ocorrência de aumento do conteúdo de ATP entre 3 a 6 horas após a aplicação da PBMT. Em humanos, um estudo recente do nosso grupo de pesquisa encontrou melhores resultados com uma combinação de duas aplicações pré-exercício realizadas 6 horas antes e imediatamente antes do exercício quando comparado com aplicações únicas em cada momento (ROSSATO et al., 2017). No entanto, o efeito de diferentes doses de PBMT sobre o desempenho muscular usando uma combinação de duas aplicações pré-exercício ainda não foram explorados.

O objetivo deste estudo foi identificar a melhor dose de energia de PBMT capaz de melhorar o desempenho muscular e reduzir a fadiga em um exercício de extensão do joelho, considerando uma combinação de duas aplicações pré-exercício (6 horas antes e imediatamente antes do exercício) (ROSSATO et al., 2017).

Materiais e métodos

Participantes

Participaram voluntariamente do estudo 18 homens ($26 \pm 6,0$ anos, 82 ± 11 kg e $186 \pm 7,3$ cm). Os critérios de inclusão foram: a) ser fisicamente ativos; b) com idade entre 18 e 35 anos; c) disponibilidade para completar as 6 semanas do protocolo de coleta de dados. Os

participantes com lesões no joelho direito nos últimos 2 meses e com coeficiente de variação superior a 10% para as contrações voluntárias máximas isométricas (CIVM) realizadas nas sessões controle 1 e controle 2 foram excluídos. O tamanho da amostra foi determinado com base no fato de que estudos prévios realizados com seres humanos envolvendo PBMT e parâmetros de torque usaram grupos de estudo com 10 a 34 participantes (HEMMINGS et al., 2017; ROSSATO et al., 2016). Todos os participantes assinaram o termo de consentimento informado. Os procedimentos de pesquisa foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade onde o estudo foi desenvolvido (número de registro: 61599116.1.0000.0121).

Design de estudo

Este estudo foi planejado como um ensaio cruzado, randomizado, duplo-cego e controlado por placebo. Os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo em 6 sessões diferentes (Figura 1): 1) controle 1; 2) placebo; 3) 135 J; 4) 270 J; 5) 540 J; e 6) controle 2. Os controles (1 e 2) sempre compreendiam a primeira e sexta sessões (sem contato com o dispositivo PBMT), os demais tratamentos foram randomizados. A aplicação da PBMT e placebo (2^a a 5^a sessões) sempre foram aplicados às 6 horas antes e imediatamente antes do protocolo de fadiga, de acordo com os resultados obtidos por Rossato et al., (2017). Os pesquisadores responsáveis pelos testes foram cegados à alocação dos participantes ao tratamento. Um único pesquisador foi responsável pela randomização e aplicação da PBMT ou placebo. Durante as aplicações PBMT e placebo, os participantes usaram óculos opacos que bloqueiam a visão. Nenhum estímulo sensível (calor, frio, irritação na pele, dor) é percebido durante a aplicação da PBMT. As seis sessões foram realizadas com períodos mínimos de sete dias entre as sessões de teste. Os participantes foram instruídos a não exercer atividade física intensa, beber álcool ou ingerir cafeína 24 horas antes do teste.

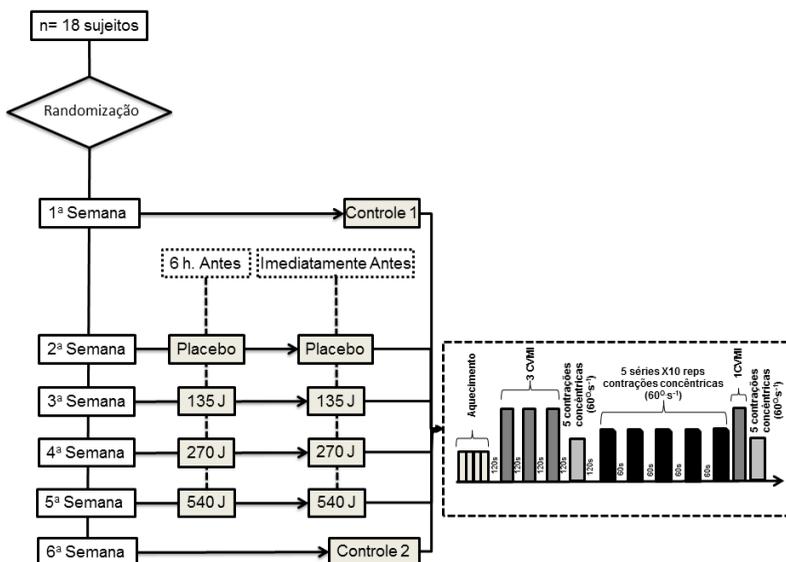


Figura 11: Fluxograma descrevendo o design do estudo. Com exceção dos controles 1 e 2, a ordem dos demais são ilustrativas.

Protocolo de teste

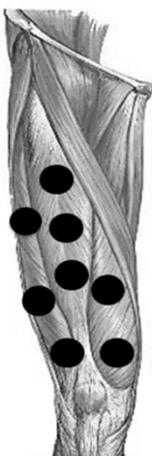
Todos os testes foram realizados em um dinamômetro isocinético (*Biodex System 4 Pro, Biodex Medical Systems, Shirley, NY, EUA*). Os participantes foram posicionados no equipamento de acordo com as recomendações do fabricante. Da 1ª a 5ª sessões (controle 1, placebo, 135 J, 270 J e 540 J), os participantes foram submetidos a: (a) aquecimento realizado com 20 extensões/flexões submáximas do joelho em modo concêntrico, na velocidade angular de 120°s^{-1} ; (b) 3 tentativas para avaliar o pico de torque durante CIVM, com intervalo de 120 s entre tentativas. Para esta avaliação o joelho foi posicionado a 70° de extensão (0° = extensão total do joelho); (c) 5 repetições a 60°s^{-1} de contrações concêntricas, seguidas de 120 s de recuperação; (d) o protocolo de fadiga envolveu 5 séries de 10 repetições máximas a 60°s^{-1} com 70° de amplitude (30 a 100°). Os intervalos entre as séries foram de 60 s; (e) o pico de torque isométrico (PT_{ISO}) após o protocolo de fadiga foi avaliado por meio de uma única CIVM, com o joelho a 70° de extensão (0° = extensão total do joelho); e (f) o protocolo pós-fadiga de contrações concêntricas consistiram de 5 repetições máximas a 60°s^{-1} , imediatamente após MIVC. Na sexta sessão (controle 2), todos os

participantes realizaram apenas as etapas (a), (b) e (c) do protocolo. Este procedimento teve como objetivo avaliar possíveis efeitos de treinamento do protocolo. Todos os dados de torque foram coletados a uma frequência de amostragem de 100 Hz. O processamento envolveu a aplicação de um filtro recursivo, fase-zero, passa-baixa de 5ª ordem Butterworth com uma frequência de corte de 10 Hz.

Aplicação da PBMT / Placebo

Foi utilizado para aplicar a PBMT e o tratamento com placebo (exceto para controles 1 e 2) o equipamento Chattanooga Intellect Advanced 2766 (Chattanooga, EUA). Os tratamentos com PBMT e placebo foram realizados no membro inferior direito em nove locais ao longo do quadríceps (Figura 2). Considerando que o tempo de aplicação depende da dose aplicada, com exceção dos controles 1 e 2, o tempo de aplicação para todos os tratamentos foi de 60 s (tempo necessário para aplicar 60 J por ponto). Este procedimento foi necessário para garantir a blindagem dos avaliados. O *probe* do equipamento foi mantido perpendicular à pele com leve pressão. O placebo foi aplicado exatamente da mesma maneira da PBMT, no entanto, com o equipamento desligado. O tempo total de aplicação PBMT / placebo foi de 9 min.

Figura 12: Locais de aplicação e parâmetros da PBMT utilizados no estudo 3.



Lasers (850 nm)		Probe (33 diodos)
№ de diodos		5
Potência gerada-cada (mW)		100mW
Tamanho do spot-cada (cm ²)		0.08
Densidade da potência (mW/cm ²)		1866.6
Frequência		Continuous
Dose – cada (J)		3.2 J
LEDs (670nm)		
№ de diodos		12
Potência gerada-cada (mW)		10mW
Tamanho do spot-cada (cm ²)		1.92
Densidade da potência (mW/cm ²)		5.20
Frequência		Continuous
Dose – cada (J)		0.3J
LEDs (880nm)		
№ de diodos		8
Potência gerada-cada (mW)		25mW
Tamanho do spot-cada (cm ²)		1.28
Densidade da potência (mW/cm ²)		19.53
Frequência		Continuous
Dose – cada (J)		0.5J
LEDs (950nm)		
№ de diodos		8
Potência gerada-cada (mW)		15mW
Tamanho do spot-cada (cm ²)		1.28
Densidade da potência (mW/cm ²)		11.71
Frequência		Continuous
Dose – cada (J)		0.5J
Tamanho do cluster (cm ²)		30.2cm ²
Número de locais aplicados		9
Tempo gasto em cada local (seg.)		32
Dose por local (J)		30
Dose total (J)		270

Análise estatística

Neste estudo, o desempenho no exercício foi avaliado pelo trabalho concêntrico produzido em cada série do protocolo de fadiga (W_{FADIGA}) e pelo trabalho concêntrico total (soma das 5 séries - TW_{FADIGA}). A fadiga foi avaliada pelos testes realizados antes e após o protocolo de fadiga: PT_{ISO} , pico de torque concêntrico (PT_{CON}) e trabalho concêntrico (W_{CON}).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Uma ANOVA *two-way* com medidas repetidas [fator de tratamento (controle 1, placebo, 135 J, 270 J e 540 J) e fator de tempo (protocolo pré e pós-fadiga)] foi usada para comparar PT_{ISO} , PT_{CON} e W_{CON} . Além disso, utilizou-se ANOVA *two-way* com medidas repetidas [fator de tratamento (controle 1, placebo, 135 J, 270 J e 540 J) e fator tempo (1^a, 2^a, 3^a, 4^a e 5^a séries)] para comparar o W_{FADIGA} . ANOVA *one-way* com medidas repetidas (fator de tratamento) foi usado para comparar TW_{FADIGA} . O LSD *post hoc* foi utilizado em todas as análises. As comparações entre os valores de PT_{ISO} Pre, PT_{CON} e W_{CON} nos tratamentos controle 1 e 2 foram realizadas utilizando o teste t de *Student* para amostras pareadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o pacote estatístico SPSS para *Windows*, versão 21.0 (IBM

Corp., Armonk, NY, EUA). O nível de significância foi definido em $\alpha = 0,05$.

As análises de significância prática foram feitas por meio de inferências baseadas na magnitude. A magnitude das diferenças entre os grupos (placebo vs 135 J, placebo vs 270 J e placebo vs 540 J) foi calculada e apresentada como diferenças médias. Para a análise, o critério de Cohen (1988) foi adotado onde: ($> 0,2$: pequeno; $> 0,50$: moderado; $> 0,80$: grande). As chances de que as mudanças reais (desconhecidas) sejam triviais, positivas ou negativas (ou seja, foram determinadas as maiores mudanças significativas [0,2 multiplicadas pelo desvio padrão entre os participantes]). As chances quantitativas de um efeito positivo ou negativo foram avaliadas qualitativamente, da seguinte forma: $< 1\%$ = muito improvável; 1% a 5% = muito improvável; 5% a 25% = improvável; 25% a 75% = possivelmente; 75% a 95% = provável; 95% a 99% = muito provável; $> 99\%$ = muito provável. Se as probabilidades de efeitos positivos e negativos foram $> 5\%$, a diferença verdadeira foi avaliada como pouco clara (BATTERHAM & HOPKINS 2006).

Resultados

Não foram observadas diferenças para o PT_{ISO} (350 ± 74 N·m vs. 347 ± 75 N·m, $p = 0,46$, $ES = 0,04$), PT_{CON} (266 ± 52 N·m vs. 269 ± 51 N·m, $p = 0,60$, $ES = 0,06$) e W_{CON} (1075 ± 236 J vs. 1047 ± 238 J, $p = 0,18$, $ES = 0,12$) entre as sessões controle 1 e controle 2, respectivamente, indicando nenhum efeito de treinamento ao longo do protocolo experimental.

Conforme expresso na tabela 3, foram encontradas interações significativas tempo*tratamento para PT_{ISO} ($F = 4,39$, $p = 0,003$; $ES = 0,50$), PT_{CON} ($F = 4,429$; $p = 0,003$; $ES = 0,51$) e W_{CON} ($F = 5,30$; $p = 0,001$; $ES = 0,55$). Foram observadas reduções significativas do protocolo pré/pós-fadiga para PT_{ISO} ($F = 218,5$; $p = 0,000$; $ES = 3,39$), PT_{CON} ($F = 200,7$; $p = 0,000$; $ES = 3,23$) e W_{CON} ($F = 189$; $p = 0,000$; $ES = 3,19$) em todas as condições. Os valores de PT_{ISO} , PT_{CON} e W_{CON} pós-protocolo de fadiga foram significativamente menores para a condição controle do que os tratamentos com placebo e PBMT ($p < 0,01$).

Tabela 3: Média e desvios padrão para pico de torque isométrico (PT_{ISO}), pico de torque concêntrico (PT_{CON}) e trabalho concêntrico (W_{CON}) nos diferentes tratamentos.

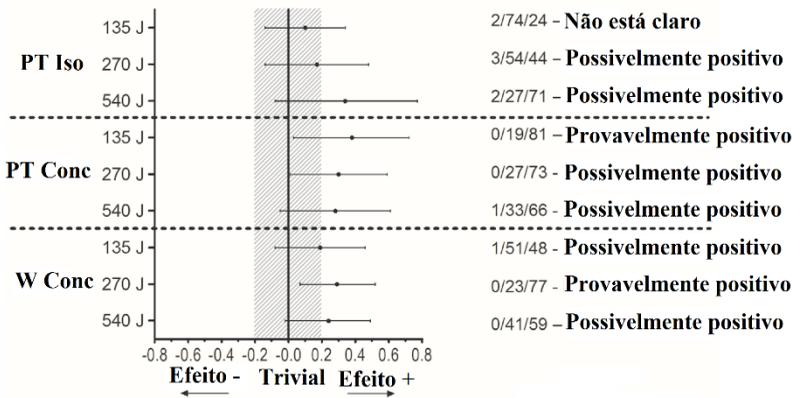
		PT_{ISO} (N·m)	Δ (%)
Controle 1	Pré	350±75 ^a	-32.7
	Pós	237±64 ^A	
Placebo	Pré	358±79 ^a	-27.0
	Pós	262±67	
135 J	Pré	357±75 ^a	-26.3
	Pós	263±65	
270 J	Pré	357±75 ^a	-25.7
	Pós	266±69	
540 J	Pré	356±83 ^a	-24.5
	Pós	268±67	
		PT_{CON} (N·m)	Δ (%)
Controle 1	Pré	266±52 ^a	-37.9
	Pós	165±45 ^A	
Placebo	Pré	274±59 ^a	-32.4
	Pós	185±54	
135 J	Pré	264±49 ^a	-29.1
	Pós	187±51	
270 J	Pré	269±53 ^a	-28.9
	Pós	191±54	
540 J	Pré	270±56 ^a	-30.0
	Pós	189±47	
		W_{CON} (N·m)	Δ (%)
Controle 1	Pré	1075±236 ^a	-47.4
	Pós	558±151 ^A	
Placebo	Pré	1120±257 ^a	-39.8
	Pós	679±218	
135 J	Pré	1080±206 ^a	-37.5
	Pós	682±208	
270 J	Pré	1089±221 ^a	-36.2
	Pós	701±225	
540 J	Pré	1106±241 ^a	-36.9
	Pós	695±171	

^a indica diferenças para a condição Pós, ^A indica diferenças para os outros tratamentos.

Considerando a variação entre o protocolo pré e pós-fadiga (Δ), a inferência baseada em magnitude suporta que todas as três doses de PBMT levaram a efeitos "Possivelmente positivos" ou "Provavelmente

positivos" em PT_{ISO} , PT_{CON} e W_{CON} em comparação com tratamento com placebo, exceto a dose 135 J para PT_{ISO} (Figura 3).

Figura 13: Efeito da PBMT com três diferentes doses no delta (pré vs. pós-protocolo de fadiga) para o pico de torque isométrico (PT_{ISO}), pico de torque concêntrico (PT_{CON}) e trabalho concêntrico (W_{CON}). Todas as doses foram comparadas com o placebo.



A tabela 2 apresenta os resultados do desempenho isocinético durante o protocolo de fadiga. Interação significativa entre o tratamento e o tempo foi observada para W_{FADIGA} ($F = 4,05$; $p = 0,000$; $ES = 0,49$). Todos os tratamentos mostraram uma redução significativa na produção do trabalho com o avanço das séries (1 a 5). No entanto, nenhuma diferença significativa foi observada entre 3ª e 4ª séries para o tratamento com 540 J. O W_{FADIGA} para condição de controle foi significativamente menor do que todas as outras condições (placebo, 135 J, 270 J e 540 J). Da mesma forma, o TW_{FADIGA} foi menor para o controle em comparação com outras condições ($F = 16,72$, $p < 0,00001$; $ES = 0,49$). Considerando a condição do placebo, a 4ª e 5ª série apresentaram valores mais baixos para W_{FADIGA} do que 540 J e 270 J, respectivamente.

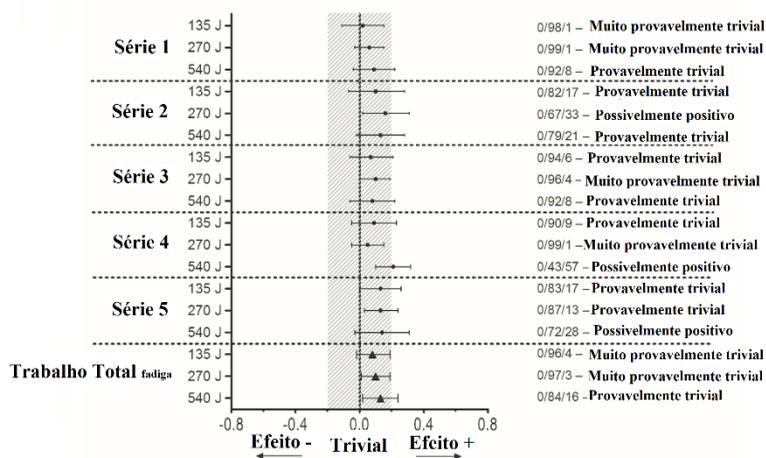
Tabela 4: Média e desvios padrão do trabalho por série (W_{FADIGA}) e trabalho total (TW_{FADIGA}) durante protocolo de fadiga com diferentes tratamentos.

	1ª série	2ª série	3ª série	4ª série	5ª série	TW_{FADIGA}
Controle 1	2018±443 ^{aB}	1806±431 ^{bA}	1572±449 ^{cA}	1505±449 ^{dA}	1424±394 ^A	8325±2091 ^A
Placebo	2078±465 ^a	1926±437 ^b	1820±462 ^c	1719±482 ^{dB}	1622±460 ^C	8907±2228
135 J	2088±435 ^a	1974±436 ^b	1855±432 ^c	1764±465 ^d	1684±470	9365±2190
270 J	2107±435 ^a	2002±446 ^b	1867±456 ^c	1744±486 ^{dB}	1685±493	9405±2270
540 J	2120±492 ^a	1985±433 ^b	1860±396 ^d	1826±423 ^d	1689±422	9166±2262

^a indica diferenças da 2ª, 3ª, 4ª e 5ª série, ^b indica diferenças da 3ª, 4ª e 5ª série, ^c indica diferenças da 4ª e 5ª série, ^d indica diferenças da 5ª série. ^A indica diferenças do placebo, 135 J, 270J e 540 J, ^B indica diferenças de 540 J, ^C indica diferenças de 270 J. O nível de significância assumido foi de $p < 0,05$

A inferência baseada na magnitude suporta que os tratamentos PBMT tiveram efeitos triviais em comparação com o tratamento com placebo no desempenho isocinético dos participantes durante a maioria das séries (W_{FADIGA}) e também na fadiga total (TW_{FADIGA}). As exceções foram um efeito "Possivelmente Positivo" do tratamento de 270 J na 2ª série, bem como o tratamento de 540 J no 4ª e 5ª série (Figura 4).

Figura 14: Efeito da PBMT com três diferentes doses no trabalho por série (W_{FADIGA}) e no trabalho total (TW_{FADIGA}) durante o protocolo de



fadiga. Todas doses de PBMT foram comparadas com o placebo.

Discussão

Este é o primeiro estudo com humanos que procurou investigar o efeito de diferentes doses de PBMT sobre a fadiga e o desempenho do exercício com a combinação de duas aplicações pré-exercício (6 horas antes e imediatamente antes do exercício). Em geral, nossos resultados sugerem que os tratamentos com PBMT não melhoraram o desempenho durante o protocolo isocinético (5 séries x 10 repetições máximas) em comparação com o tratamento com placebo. Por outro lado, as três doses de PBMT testadas foram melhores que o placebo para atenuar os marcadores de fadiga induzidos pelo exercício.

O conceito de dose ideal na PBMT considera uma resposta bifásica (curva de Arndt-Schulz), em que doses extremamente baixas ou elevadas levam a efeitos ineficazes e deletérios aos tecidos biológicos, respectivamente (HUANG et al., 2011). Doses ideais de PBMT estimulam a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), devido ao aumento da produção de ATP mitocondrial, que por sua vez sinalizam a produção de NF- κ B (GROEGER et al., 2009), induzindo a expressão de genes relacionados à proliferação celular e à sobrevivência (BREA-CALVO et al., 2009). Por outro lado, efeitos deletérios estão associados ao aumento da produção de ROS causada pelo excesso de energia luminosa, o que prejudicaria as mitocôndrias, reduzindo o potencial da membrana para níveis muito baixos, levando à apoptose e à liberação de citocromo C oxidase (BREA-CALVO et al., 2009). Embora este fenômeno tenha sido amplamente estudado em cultura celular (SKOPIN & MOLITOR 2009, GÁL et al., 2009) e modelo animal (BORGES et al., 2014, LOPES-MARTINS et al., 2006, DE ALMEIDA et al., 2011), poucos estudos com humanos foram desenvolvidos associando diferentes doses de energia e protocolos de exercícios visando esclarecer o efeito dose-resposta da PBMT (LANFERDINI et al., 2017, HEMMINGS et al., 2017, DELLAGRANA et al., 2017, ANTONIALLI et al., 2014).

As revisões recentes (VANIN et al., 2017, FERRARESI et al., 2016) indicaram que os efeitos benéficos podem estar associados a doses ótimas de energia (isto é, dentro de uma "janela terapêutica") e a músculos irradiados (músculos pequenos e/ou grandes). Vanin et al. (2017) revisaram sistematicamente 39 ensaios (861 participantes) e concluíram que a maioria dos resultados positivos foram observados com uma dose de energia de 20-60 J (grupos musculares pequenos) e

60-300 J (grupos musculares grandes). No entanto, o número reduzido de estudos que aplicaram uma série de doses de energia exclui a determinação da dose ideal. Nossos resultados indicam que todas as doses de energia de PBMT, duas delas dentro (135 e 270 J) e uma fora (540 J) das "doses efetivas" anteriormente propostas (VANIN et al., 2017), geraram efeitos positivos na fadiga muscular induzida pelo exercício. Hemmings et al., (2017) relataram que doses de 500 J e 1000 J aplicadas sobre o músculo quadríceps foram capazes de aumentar o número de repetições excêntricas até a fadiga. Nossas descobertas associada às de Hemmings et al., (2017) sugerem que a "janela terapêutica" para grandes grupos musculares, como o quadríceps, pode ser expandida para maiores doses de energia total.

Além do tamanho muscular, o tipo de exercício deve ser considerado na tomada de decisão da dose de energia ideal de PBMT. Uma vez que diferentes modos de exercícios parecem exigir doses específicas de PBMT para respostas positivas. Nesse cenário, as atividades como ciclismo e corrida mostraram resultados benéficos após a aplicação de PBMT com doses entre 135 J aplicadas em cada quadríceps (LANFERDINI et al., 2017, LANFERDINI et al., 2018) e 210 J aplicadas em cada membro inferior (DELLAGRANA et al., 2017), respectivamente. Isso faz sentido, uma vez que diferentes exercícios requerem número e tamanho específicos de grupos musculares. No entanto, estudos futuros que procuram a dose ideal de PBMT para diferentes modos de exercícios devem ser encorajados.

Apesar do presente estudo não fornecer evidências diretas sobre mecanismos responsáveis pela melhora nos parâmetros de fadiga, aqui mostramos qual a dose que poderia ser aplicada antes do exercício. Considerando os exercícios de força, é sabido que sua realização no formato de multi-séries leva a uma redução no armazenamento de creatina fosfato, ATP e um aumento nas concentrações de lactato (GOROSTIAGA et al., 2012), estando estes associados ao início da fadiga periférica (AMENT et al., 2009). Assim, a aplicação de PBMT tem ação primária nas mitocôndrias (HUANG et al., 2011), onde alguns autores (FERRARESI et al., 2011, DE BRITO et al., 2012) sugerem que a PBMT seria capaz de aumentar a produção de ATP mitocondrial (HAYWORTH et al., 2010, SILVEIRA et al., 2009), o que por sua vez afetaria a ressíntese de fosfocreatina (TONKONOJI & SALTIN 2002) e a oxidação do lactato (BROOKS et al., 1999), reduzindo assim o processo de fadiga periférica. Embora a aplicação do PBMT não tenha produzido um aumento no desempenho durante o protocolo de fadiga,

todas as doses de PBMT foram eficazes na redução dos parâmetros de fadiga.

A ausência de monitoramento de marcadores de dano muscular, a participação de indivíduos com diferentes níveis de experiência em treinamento de força, o uso de um grupo muscular isolado (quadríceps) e o tempo total de aplicação podem ser apontados como limitações do presente estudo. No entanto, o design adotado (cruzado, randomizado, duplo-cego, controlado por placebo), o uso de equipamentos PBMT comercialmente disponíveis e o período de intervalo de uma semana entre os ensaios devem ser destacados como pontos fortes do presente estudo.

Conclusão

Este foi o primeiro estudo clínico a avaliar a dose-resposta da PBMT com duas aplicações em parâmetros de desempenho e fadiga muscular em um ensaio randomizado, duplo-cego, controlado por placebo. Os resultados indicaram que a aplicação de doses totais de energia de 135, 270 e 540 J foram eficazes para reduzir a fadiga muscular, mas incapaz de melhorar o desempenho durante um protocolo de força com multi-séries.

4 CAPÍTULO IV

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabendo que diversos fatores metodológicos poderiam afetar as respostas da PBMT, a presente tese buscou investigar os efeitos de diferentes áreas irradiadas, momentos de aplicação e doses de energia sobre as respostas neuromusculares ao exercício. Os resultados do estudo 1 mostraram que independente da fluência (J/cm^2), a utilização de 30 J de energia na PBMT foi capaz de reduzir a fadiga, avaliada pelo tempo para a exaustão, dos flexores do cotovelo. No entanto, parâmetros eletromiográficos (RMS e MF) não foram sensíveis a ponto de identificarem tais alterações. Desta forma adotou-se a utilização de 30 J de energia com a aplicação sendo feito com o *probe* grande (menor tempo de aplicação).

Apropriando-se dos resultados do estudo 1, optou-se pela utilização do *probe* grande ($30,5\text{ cm}^2$) para o desenvolvimento do estudo 2. Esta escolha deste *probe* deu-se devido ao menor tempo de aplicação. No estudo 2, o objetivo foi investigar o efeito de dois diferentes momentos de aplicação da PBMT. A síntese de nossos resultados indicou que a PBMT, quando aplicada em dois momentos, separados por 6 horas, foi capaz de reduzir a fadiga provocada por 45 contrações concêntricas de extensores do joelho. No entanto, assim como no estudo 1, aqui também os parâmetros eletromiográficos (RMS e MF) não puderam explicar as razões para uma menor fadiga decorrente da aplicação da PBMT.

Para a realização do estudo 3, foram considerados os resultados dos estudos que o antecederam (estudo 1 e 2). Desta forma o objetivo do terceiro estudo foi testar diferentes doses de energia (135, 270 e 540 J) utilizadas na PBMT, aplicados com *probe* grande em dois momentos (6 horas antes e imediatamente antes do exercício) sobre a fadiga e o desempenho dos extensores do joelho. Os resultados indicaram que todas as doses testadas apresentaram resultados mais positivos que o placebo para a redução da fadiga. No entanto, mostraram-se insuficientes para melhorar o desempenho de exercício de extensão de joelho envolvendo multi-séries.

Com base em nossos achados, sugerimos que estudos envolvendo múltiplas aplicações de PBMT (6 horas antes e imediatamente antes do exercício), com doses de energia entre 135 e 540J possam ser testadas em estudos crônicos envolvendo treinamento de força.

5 REFERÊNCIAS

- AIMBIRE, F.; ALBERTINI, R.; PACHECO, M.T.T.; CASTRO-FARIA-NETO, H.C.; LEONARDO, P.S.; IVERSEN, V.V.; LOPES-MARTINS, R.A.; BJORDAL, J.M. Low-Level *LASER* Therapy Induces Dose-Dependent Reduction of TNF α Levels in Acute Inflammation. **Photomedicine and *LASER* Surgery**, v.24, n.1. p.33–37, 2006.
- ALBUQUERQUE-PONTES, G.M.; VIEIRA, R.D.E.P.; TOMAZONI, S.S.; CAIRES, C.O.; NEMETH, V.; VANIN, A.A.; SANTOS, L.A.; PINTO, H.D.; MARCOS, R.L.; BJORDAL, J.M.; DE CARVALHO, P.T.; LEAL JUNIOR, E.C. Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of lowlevel *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, p. 287–332, 2008.
- AMENT, W.; VERKENKE, G. 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.
- ANTONIALLI, F.C.; DE MARCHI, T.; TOMAZONI, S.S.; VANIN, A.A.; DOS SANTOS GRANDINETTI, V.; DE PAIVA, P.R.; PINTO, H.D.; MIRANDA, E.F.; DE TARSO CAMILLO DE CARVALHO, P.; LEAL-JUNIOR, E.C. 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.
- BABAULT, N.; DESBROSSES, K.; FABRE, M.S.; MICHAUT, A.; POUSSON, M. Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. **Journal of Applied Physiology**, v.100, p.780–785, 2006.
- BARONI, B. M.; LEAL JUNIOR, E.C.; 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, p.653-658, 2010.

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, 2010.

BARONI, B.M.; RODRIGUES, R.; FREIRE, B.B.; FRANKE, R. D.E.A.; GEREMIA, J.M.; VAZ, M.A. Effect of low-level *LASER* therapy on muscle adaptation to knee extensor eccentric training. **European Journal of Applied Physiology**, v.115, p. 639–647, 2014.

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

BATTERHAM, A.M.; HOPKINS, W.G. Making meaningful inferences about magnitudes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v.1, p.50–7, 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.

BORGES, L.S.; CERQUEIRA, M.S.; DOS SANTOS ROCHA, J.A.; CONRADO, L.A.L.; MACHADO, M.; PEREIRA, R. et al. Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. **LASERs in Medical Science**, v.29, p.1139–1144, 2014.

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

BREA-CALVO, G.; SIENDONES, E.; SÁNCHEZ-ALCÁZAR, J.A.; DE CABO, R.; NAVAS, P. Cell survival from chemotherapy depends on NF- κ B transcriptional up-regulation of coenzyme Q biosynthesis. **PLoS One**, v.4, n.4, p.e5301, 2009.

BROOKS, G.A.; DUBOCHAUD, H.; BROWN, M.; SICURELLO, J.P.; BUTZ, C.E. 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.

CIFREK, M.; MEDVED, V.; TONKOVIĆ, S.; OSTOJIĆ, S. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. **Clinical Biomechanics**, v. 24, p.327–340, 2009.

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

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences, 2nd ed. **Lawrence Earlbaum Associates**, New Jersey, 1988.

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 Interunidade em Bioengenharia** – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2005.

DE ALMEIDA, P.; LOPES-MARTINS, R.A.; DE MARCHI, T.; TOMAZONI, S.S.; ALBERTINI, R.; CORREA, J.C.; 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 BRITO VIEIRA, W.H.; FERRARESI, C.; DE ANDRADE PEREZ, S.E.; BALDISSERA, V.; PARIZOTTO, N.A. Effects of low-level *LASER* therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: A randomized controlled clinical trial. **LASERS in Medical Science**, v. 27, p. 497 504, 2012.

DE MARCHI, T.; LEAL JUNIOR, E.C.P.; BORTOLI, C.; TOMAZONI, S.S.; LOPES-MARTINS, R.Á.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.; DANÚBIA DA SILVA FABRO, C. DA SILVA, L.L.; SENE, J.; TAIROVA, O. Phototherapy for improvement of performance and exercise recovery: comparison of 3 commercially available devices. **Journal of Athletic Training**, v.52, p. 429–438, 2017.

De ROBERTS, E.; HIB, J. Bases da biologia velular e molecular. 4 eds., **Guanabarra Koogan**, Rio de Janeiro, 1998.

DE SOUZA, C.G.; BORGES, D.T.; DE BRITO MACEDO, L.; BRASILEIRO, J.S. Low-level *LASER* therapy reduces the fatigue index in the ankle plantar flexors of healthy subjects. ***LASERs in Medical Science***, v.31, p.1949–1955, 2016.

DELLAGRANA, R.A.; ROSSATO, M.; SAKUGAWA, R.L.; BARONI, B.M.; DIFENTHAELER, F. Photobiomodulation therapy on physiological and performance parameters during running tests: dose-response effects. ***Journal of Strength and Conditioning Research***, ahead of print : p.1–18, 2018.

DELLAGRANA, R.A.; ROSSATO, M.; SAKUGAWA, R.L.; LAZZARI, C.D.; BARONI, B.M.; DIFENTHAELER, F. Dose-response effect of photobiomodulation therapy on neuromuscular economy during submaximal running. ***LASERs in Medical Science***, v.33, n.2, p.329-336, 2017.

DOS SANTOS MACIEL, T.; MUÑOZ, I.S.; NICOLAU, R.A.; NOGUEIRA, D.V.; HAUCK, L.A.; OSÓRIO, R.A.; DE PAULA JÚNIOR, A.R. Phototherapy effect on the muscular activity of regular physical activity practitioners. ***LASERs in Medical Science***, v.29, p.1145–1152, 2014.

DUBOCHAUD, H.; BUTTERFIELD, G.E.; WOLFEL, E.E.; BERGMAN, B.C.; BROOKS, G.A. Endurance training, expression, and physiology of LDH, MCT1, and MCT4 in human skeletal muscle. ***Am J Physio End Metabolism***;v.278, p.E571-579, 2000

ENWEMEKA, 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.

ENWEMEKA, C.S.; PARKER, J.C.; DOWDY, D.S.; HARKNESS, E.E.; SANFORD, L.E.; WOODRUFF, L.D. The efficacy of low-power *LASERs* in tissue repair and pain control: a meta-analysis study. ***Photomedicine and LASER Surgery***, v.22, p.323–329, 2004.

FERRARESI, C.; HUANG, Y.Y.; HAMBLIN, M.R. Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance? ***Journal of Biophotonics***. v.9, n.11-12, p.1273-1299, 2016.

FERRARESI, C.; BELTRAME, T.; FABRIZZI, F.; NASCIMENTO, E.S.P.D.O.; KARSTEN, M.; FRANCISCO, C.D.O. 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.14, p.1–8, 2015.

FERRARESI, C.; DE BRITO OLIVEIRA, T.; DE OLIVEIRA ZAFALON, L.; DE MENEZES REIFF, R.B.; BALDISSERA, V.; DE ANDRADE PEREZ, S.E. Effects of low level *LASER* therapy (808 nm) on physical strength training in humans. **LASERs in Medical Science**, v.26, p. 349–358, 2011.

FERRARESI, C.; DE SOUSA, M.V.P.; HUANG, Y.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, p.1259–1267, 2015.

FERRARESI, C.; HAMBLIN, M.R.; PARIZOTTO, N.A. Low-level *LASER* (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: Performance, fatigue and repair benefited by the power of light. **Photonics & LASERs in Medicine**, v.1, p. 267–286, 2012.

FERRARESI, C.; KAIPPERT, B.; AVCI, P.; HUANG, Y.Y.; DE SOUSA, M.V.P.; BAGNATO, V.S. Low-level *LASER* (light) therapy increases mitochondrial membrane potential and ATP synthesis in C2C12 myotubes with a peak response at 3–6 h. **Photochemical Photobiology**, v.91, p. 411–416, 2015.

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, n.9, p.1935–1942, 2016.

GÁL, P.; MOKRÝ, M.; VIDINSKÝ, B.; KILÍK, R.; DEPTA, F.; HARAKALOVÁ, M.; LONGAUER, F.; MOZES, S.; SABO, J. Effect of equal daily doses achieved by different power densities of low-level *LASER* therapy at 635 nm on open skin wound healing in normal and corticosteroid-treated rats. **LASERs in Medical Science**, v.24, n.4, p.539–547, 2009.

GENOVESE, W.J. Laser de baixa intensidade- Aplicações terapêuticas em odontologia. **Editora Lovise**, São Paulo, 2000.

GOROSTIAGA, E.M.; NAVARRO-AMÉZQUETA, I.; CALBET, J.A.; HELLSTEN, Y.; CUSO, R.; GUERRERO, M.; GRANADOS, C.; GONZÁLEZ-IZAL, M.; IBAÑEZ, J.; IZQUIERDO, M. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. **PLoS One**. v.7, n.7, p. e40621, 2012.

GROEGER, G.; QUINEY, C.; COTTER, T.G. Hydrogen Peroxide as a Cell-Survival Signaling Molecule. **Antioxidant Redox Signaling**, v.11, n.11, p.2655–2671, 2009.

HAMBLIN, M.R. Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. **AIMS Biophysics**, v.4, n.3, p.337–361, 2017.

HAMBLIN, M.R.; DEMIDOVA, T.N. Mechanisms of low level Light therapy. **Procedure of SPIE**. V6140, p.1-12, 2006.

HAYWORTH, C.R.; ROJAS, J.C.; PADILLA, E.; HOLMES, G.M.; SHERIDAN, E.C.; GONZALEZ-LIMA, F.L. In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. **Photochemistry and Photobiology**, v.86, n.3, 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.

HENNEMAN, E.; SOMJEM, G.G.; CARPENTER, D.O. Excitability and inability of motoneurons of different size. **Journal of Neurophysiology**, v.28, p. 599-620, 1965.

HERMENS, H.J.; FRERIKSN, B.; MERLETT, R.; STEGEMAN, D.; BLOK, J.; RAU, G.; DISSELHORST-KLUG, C.; HÄGG, G.M. SENIAM European recommendations for surface electromyography: results of the SENIAM project. **Roessingh Research and Development**, Enschede, 2017.

HIGASHI, R.H.; TOMA, R.L.; TUCCI, H.T.; PEDRONI, C.R.; FERREIRA, P.D.; BALDINI, G. Effects of low-level *LASER* therapy on biceps braquialis muscle fatigue in young women. **Photomedicine and LASER Surgery**, v.31, p.586–94, 2013.

- HUANG, Y.Y.; SHARMA, S.K.; CARROLL, J.; HAMBLIN, M.R. Biphasic dose response in low level light therapy - an update. **Dose Response**, v.9, p.602- 618, 2011.
- HUANG, Z.; CHEN, J.; MA, J.; SHEN, B.; PEI, F.; KRAUS, V.B. Effectiveness of low-level *LASER* therapy in patients with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. **Osteoarthritis and Cartilage**, v.23, p.1437–1444, 2015.
- HUNTER, S.K.; DUCHATEAU, J.; ENOKA, R.M. Muscle fatigue and mechanisms of task failure. **Exercise and Sport Sciences Review**, v.32, p.44–49, 2004.
- KARLSSON, S.; YU, J.; AKAY, M. Time-frequency analysis of myoelectric signals during dynamic contractions: a comparative study. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v.47, p.228–238, 2000.
- KARU, T. Photobiology of low-power laser effects. **Health Physics**, v.56, n.5, p.691-704, 1989.
- KARU, T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near IR radiation on cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.49, p. 1–17, 1999.
- 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, p. 647–652, 2010.
- KLEBANOV, G.I.; KREININA, M. V.; POLTANOV, E.A.; KRISTOFOROVA, T. V.; VLADIMIROV, Y.A. Mechanism of therapeutic effect of low-intensity infrared *LASER* radiation. **Bulletin of Experimental Biology and Medicine**, v.131, p.239–241, 2001.
- KOMI, P.V.; TESCH, P. EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.42, p. 41–50, 1979.
- KUPA, E.J.; ROY, S.H.; KANDARIAN, S.C.; DE LUCA, C.J. Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. **Journal of Applied Physiology**, v.79, p.23–32, 1995.
- LANFERDINI, F.J.; KRÜGER, R.L.; BARONI, B.M.; LAZZARI, C.D.; FIGUEIREDO, P.; REISCHAK-OLIVEIRA, A.; VAZ, M.A.

Low-level *LASER* therapy improves the VO₂ kinetics in competitive cyclists. ***LASERs in Medical Science***, ahead of print, p.1–27, 2017.

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***, p.1–27, 2017.

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, p.1325–1332, 2016.

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, p.45–50, 2015.

LEAL JUNIOR E.C.P.; LOPES MARTINS, R.A.; 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 singlediode low-level *LASER* therapy (LLLT) and LED multi-diode (Cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. ***Photomedicine and LASER Surgery***, v.27, p.617–623, 2009.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.; BARONI, B.M.; DE MARCHI, T.; TAUFER, D.; MANFRO, D.S.; RECH, M.; DANNA, V.; GROSSELLI, D.; GENEROSI, R.A.; MARCOS, R.L.; RAMOS, L.; BJORDAL, J.M. Effect of 830 nm low-level *LASER* therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. ***LASERs in Medical Science***, v.24, p.857–863, 2009.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.; DALAN, F.; FERRARIM, 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, p.419–424, 2008.

LEAL JUNIOR, E.C.P. Photobiomodulation therapy in skeletal muscle: form exercise performance to muscular dystrophies. ***Photomedicine and LASER Surgery***, v.33, p.53–54, 2015.

LEAL JUNIOR, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.A.; FRIGO, L.; DE MARCHI, T.; ROSSI, R.P.; DE GODOI, V.; TOMAZONI, S.S.; SILVA, D.P.; BASSO, M.; FILHO, P.L.; DE VALLS CORSETTI, F.; 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, p.524–532, 2010.

LEAL, E.C.P.; LOPES-MARTINS, R.Á.B.; ROSSI, R.P.; DE MARCHI, T.; BARONI, B.M.; DE GODOI, V. 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, 2009.

LEAL-JUNIOR, E.C.P.; VANIN, A.A.; MIRANDA, E.F.; DE CARVALHO, P. DE. 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, p.925–939, 2015.

LIU, X.G.; ZHOU, Y.J.; LIU, T.C.; YUAN, J.Q. Effects of low-level *LASER* irradiation on rat skeletal muscle injury after eccentric exercise. **Photomedicine and LASER Surgery**, v. 27, p.863–869, 2009.

LOPES-MARTINS, R.A.B.; MARCOS, R.L.; LEONARDO, P.S.; PRIANTI JUNIOR, A.C.; MUSCARÁ, M.N.; AIMBIRE, F.; FRIGO, L.; IVERSEN, V.V.; BJORDAL, J.M. Effect of low-level *LASER* (Ga-Al-As 655 nm) on skeletal muscle fatigue induced by electrical stimulation in rats. **Journal of Applied Physiology**, v.101, p.283–288, 2006.

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

MALTA, E.D.S.; DE POLI, R.A.B.; BRISOLA, G.M.P.; MILIONI, F. MIYAGI, W.E.; MACHADO, F.A. 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: Effects of LED irradiation on anaerobic capacity and performance in runnin. **LASERS in Medical Science**, v.31, p. 1473–1480, 2016.

MANTEIFEL, V.M.; KARU, T.I. Structure of mitochondria and activity of their respiratory chain in successive generations of yeast cells exposed to He-Ne *LASER* light. **Biol Bull**, v.32, p.556–566, 2005.

MASUDA, K.; MASUDA, T.; SADOYAMA, T.; INAKI, M.; KATSUTA, S. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.9, p.39–46, 1999.

MAUGHAN, R.E.; GLEESON, M. The biochemical basis of sports performance. Second edition, **Oxford**. 2010.

MERLETTI, R.; LO CONTE, L.R. Surface EMG signal processing during isometric contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.7, p. 241–250, 1997.

MERLETTI, R.; PARKER, P. Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications. New Jersey: **Wiley-Interscience**, 2004.

MIRANDA, E.F.; DE OLIVEIRA, L.V.; ANTONIALLI, F.C.; VANIN, A.A.; DE CARVALHO, P. DE. T.; LEAL-JUNIOR, E.C.P. Phototherapy with combination of super-pulsed *LASER* and light-emitting diodes is beneficial in improvement of muscular performance (strength and muscular endurance), dyspnea, and fatigue sensation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. **LASERs in Medical Science**, v.30, n. 1, p.437–443, 2014.

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

MIRANDA, E.F.; VANIN, A.A.; TOMAZONI, S.S.; DOS SANTOS GRANDINETTI, V.; DE PAIVA, P.R.V.; DOS SANTOS MONTEIRO MACHADO, C. 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, p.129–135, 2016.

PAOLILLO, F.R.; CORAZZA, A.V.; PAOLILLO, A.R.; BORGHI-SILVA, A.; ARENA, R.; KURACHI, C. Phototherapy during treadmill training improves quadriceps performance in postmenopausal women. **Climacteric**, v.17, p. 285–293, 2014.

PAOLILLO, F.R.; CORAZZA, A.V.; BORGHI-SILVA, A.; PARIZOTTO, N.A.; KURACHI, C.; BAGNATO, V.S. Infrared LED irradiation applied during high-intensity treadmill training improves maximal exercise tolerance in postmenopausal women: A 6-month longitudinal study. **LASERS in Medical Science**, v.28, p. 415–422, 2013.

PASCU, M. L. Lasers physics elements to consider for low level laser therapy. **Laser Therapy**, v.13, p.114-125, 2001.

PASQUET, B.; CARPENTIER, A.; DUCHATEAU, J.; HAINAUT, K. Muscle fatigue during concentric and eccentric contractions. **Muscle and Nerve**, v.23, p. 1727–1735, 2000.

PERINI, J.L.; SCOTTA HENTSCHE, V.; SONZA, A.; DAL LAGO, P. Long-term low-level *LASER* therapy promotes an increase in maximal oxygen uptake and exercise performance in a dose-dependent manner in Wistar rats. **LASERS in Medical Science**, v.31, n.2, p.241–248, 2016.

PINTO, R.S.; GOMES, N.; RADAELLI, R.; BOTTON, C.E.; BROWN, L.E.; BOTTARO, M. Effect of range of motion on muscle strength and thickness. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.26, p.2140–2145, 2012.

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, p.141–150, 2004.

RIZZI, C.F.; MAURIZ, J.L.; CORRÊA, D.S.F.; MOREIRA, A.J.; ZETTLER, C.G.; FILIPPIN, L.I. Effects of low-level *LASER* therapy (LLLT) on the nuclear factor (NF)- κ B signaling pathway in traumatized muscle. **LASERS in Surgery and Medicine**, v.38, p. 704–713, 2006.

ROSSATO, M.; DELLAGRANA, R.A.; SAKUGAWA, R.L.; LAZZARI, C.D.; BARONI, B.M.; DIEFENTHAELER, F. Time Response of Photobiomodulation Therapy on Muscular Fatigue in Humans. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Ahead of print.p.1-24, 2018.

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, p.1237–1244, 2016.

ROY, S.H.; BONATO, P.; KNAFLITZ, M. EMG assessment of back muscle function during cyclical lifting. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.8, p.233–245, 1998.

SANTOS, L.A.; MARCOS, R.L.; TOMAZONI, S.S.; VANIN, A.A.; ANTONIALLI, F.C.; GRANDINETTI, V.DOS. S.; ALBUQUERQUE-PONTES, G.M.; DE PAIVA, P.R.; LOPES- MARTINS, R.A.; DE CARVALHO, P.T.; BJORDAL, J.M.; LEAL JUNIOR, E.C.P. Effects of pre-irradiation of low-level *LASER* therapy with diferents doses and wavelengths in skeletal muscle performance, fatigue, and skeletal muscle damage induced by tetanic contractions in rats. **LASERs in Medical Science**, v.29, p.1617–1626, 2014.

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

SILVEIRA, P.C.L.; SCHEFFER, D.D.L.; GLASER, V.; REMOR, A. P.; PINHO, R. A.; AGUIAR JUNIOR, A. S. Low-level *LASER* therapy attenuates the acute inflammatory response induced by muscle traumatic injury. **Free Radical Research**, v.50, p. 503–513, 2016.

SILVEIRA, P.C.L.; SILVA, L.A. DA.; 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.

SKOPIN, M.D.; MOLITOR, S.C. Effects of near-infrared *LASER* exposure in a cellular model of wound healing. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v.25, n.2, p.75–80, 2009.

TAYLOR, J.L.; BUTLER, J.E.; GANDEVIA, S.C. Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. **European Journal of Applied Physiology**, v.83, p.106–115, 2000.

TOMA, R.L.; TUCCI, H.T.; ANTUNES, H.K.; PEDRONI, C.R.; DE OLIVEIRA, A.S.; BUCK, I.; FERREIRA, P.D.; VASSÃO, P.G.; RENNO, A.C. Effect of 808 nm low-level *LASER* therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. **LASERs in Medical Science**, v.28, n.5, p.1375–1382, 2013.

TOMA, R.L.; VASSÃO, P.G.; ASSIS, L.; ANTUNES, H.K.; RENNO, A.C. Low level *LASER* therapy associated with a strength training program on muscle performance in elderly women: a randomized

double blind control study. **LASERS in Medical Science**, v.31, n. 6, p.1219–1229, 2016.

TOMA, R.L.; TUCCI, H.T.; ANTUNES, H.K.M.; PEDRONI, C.R.; DE OLIVEIRA, A.S.; BUCK, I. Effect of 808 nm low-level *LASER* therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. **LASERS in Medical Science**. v.28, p.1375–1382, 2013.

TONKONOGLI, 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.

TUMILTY, S.; MUNN, J.; MCDONOUGH, S.; HURLEY, D.A.; BASFORD, J.R.; BAXTER, G.D. Low Level *LASER* Treatment of Tendinopathy: A Systematic Review with Meta-analysis. **Photomedicine and LASER Surgery**, v.28, p.3–16, 2009.

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**, v.33, n.1, p.181-214, 2017.

VANIN, A.A.; MIRANDA, E.F.; MACHADO, C.S.M.; DE PAIVA, P.R.V.; ALBUQUERQUE-PONTES, G.M.; CASALECHI, H.L. What is the best moment to apply phototherapy when associated to a strength training program? A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial: Phototherapy in association to strength training. **LASERS in Medical Science**, v.31, p.1555–1564, 2016.

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 dynamometry evaluation. **LASERS in Medical Science**, v.3, p. 275–282, 2016.

VIEIRA, W.H.; FERRARESI, C.; PEREZ, S.E.; BALDISSERA, V., PARIZOTTO, NA. Effects of low-level *LASER* therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: A randomized controlled clinical trial. **LASERS in Medical Science**, v.27, n.2, p.497–504, 2012.

APÊNDICE A – Artigo 1

Lancet Med Sci
DOI 10.1007/s10103-016-1973-0



ORIGINAL ARTICLE

Effect of pre-exercise phototherapy applied with different cluster probe sizes on elbow flexor muscle fatigue

Mateus Rossato^{1,2} · Rodolfo A. Dellagrana¹ · Fábio J. Lanferdini^{3,4} · Raphael L. Salugawa¹ · Caetano D. Lazzari¹ · Bruno M. Baroni⁵ · Fernando Diefenthaler¹

Received: 17 March 2016 / Accepted: 24 May 2016
© Springer-Verlag London 2016

Abstract Phototherapy has been used for reducing muscle fatigue. In view of the various types of phototherapy cluster probes available in the market, the purpose of this study was to compare the effects of a similar phototherapy dosage with two different cluster probes on elbow flexor muscle fatigue: small cluster probe (SC=9 diodes; 7.5 cm²) vs. large cluster probe (LC=33 diodes; 30.2 cm²). Ten physically active male aged 18–35 years participate in a randomized, crossover, double-blind, placebo-controlled trial, which each participant was submitted to the same testing protocol in four sessions (separated by at least 48 h) with different treatments: LC-phototherapy, SC-phototherapy, LC-placebo, and SC-placebo. The elbow flexion maximal isometric voluntary contraction (MIVC) was performed before and after a fatigue protocol (60 % of MIVC until exhaustion). Electromyography (EMG) of the *biceps brachii* muscle was collected during all testing procedure. Phototherapy with dose of 60 J per muscle [LC: 33 diodes=5 lasers (850 nm), 12 LEDs (670 nm), 8 LEDs (880 nm), and 8 LEDs (950 nm); SC: 9 diodes=5 lasers (850 nm) and 4 LEDs (670 nm)] or placebo applications

occurred before fatigue protocol. Two-way ANOVA (treatment and time factors) and one-way ANOVA were used, followed by LSD post hoc. Time to exhaustion was significantly higher in active LC (15 %; $p=0.031$) and SC (14 %; $p=0.038$) in comparison with their respective placebo treatments, without differences between LC and SC ($p>0.05$) or between placebo conditions ($p>0.05$). This larger exercise tolerance in phototherapy conditions was not accompanied by a higher decrement in the volunteers' maximal strength capacity (1–15 %; $p>0.05$ for all). EMG signals presented no difference between the four condition tested here. In both large and small cluster probes (according parameters tested in this study) led to reduced fatigue in elbow flexor muscles, without difference between them.

Keywords Low-level laser therapy · Light-emitting diodes therapy · Neuromuscular economy · Ergogenic effect and electromyography

Introduction

Two relatively recent systematic reviews [1, 2] have been concluded that phototherapy (low-level laser therapy – LLLT; and light-emitting diodes therapy – LEDT) is able to improve muscular performance and accelerate post-exercise recovery. The promising results on phenomena of fatigue and exercise-induced muscle damage have been shown in both animal experiments [3–5] and clinical trials [6–21]. This considerable body of evidences naturally arouses attention of the sports science field, but the benefits of LLLT or LEDT on muscle performance and recovery may also be very useful in the health/disease perspective on conditions which fatigue and muscle damage plays a key role [2].

✉ Fernando Diefenthaler
fernando.diefenthaler@ufsc.br

¹ Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

² Human Performance Laboratory, Physical Education Faculty, Federal University of Amazonas, Manaus, AM, Brazil

³ Exercise Research Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

⁴ Regional University of Ario Utiguai e das Missões, Santo Ângelo, RS, Brazil

⁵ Federal University of Health Sciences of Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brazil

APÊNDICE B – Artigo 2

TIME RESPONSE OF PHOTOBIMODULATION THERAPY ON MUSCULAR FATIGUE IN HUMANS

MATEUS ROSSATO,^{1,2} RODOLFO A. DELLAGRANA,¹ RAPHAEL L. SAKUGAWA,¹ CAETANO D. LAZZARI,¹ BRUNO M. BARONI,² AND FERNANDO DIEFENTHAELER¹¹Biomechanics Laboratory, Center of Sports, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil; ²Human Performance Laboratory, Physical Education Faculty, Federal University of Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil; and ³Department of Physical Therapy, Federal University of Health Sciences of Porto Alegre, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

ABSTRACT

Rossato, M, Dellagrana, RA, Sakugawa, RL, Lazzari, CD, Baroni, BM, and Diefenthaler, F. Time response of photobiomodulation therapy on muscular fatigue in humans. *J Strength Cond Res XX(X):000-000, 2017*. The aim of this study was to identify the effects of 2 different time responses on fatigue of knee extensor. Sixteen male volunteers (26 ± 6.0 years, 81 ± 12 kg, and 181 ± 7.4 cm) participated in the study. Participants performed the same protocol in 5 sessions (control, placebo [placebo applied both 6 hours before and immediately before the test], 6 hours before + immediately before [photobiomodulation therapy [PBMT] applied both 6 hours before and immediately before the test], 6 hours before [PBMT applied 6 hours before and placebo applied immediately before the test], and immediately before [placebo applied 6 hours before and PBMT applied immediately before the test]). Photobiomodulation therapy was applied on knee extensor (9 sites; 30 J per site). Maximal isometric voluntary contraction (MVC) was assessed before and after an isokinetic fatigue (45 flexion-extension concentric at $180^\circ \cdot s^{-1}$), associated with electromyography (root mean square [RMS] and median of frequency [MF]). For MVC, there was no treatment \times time interaction for all variables. Time effect was observed for peak

torque (PT), RMS, and MF. While treatment effect was identified for PT, the 6 hours before + immediately before presented

higher PT during MVC_{pre} , than control ($p = 0.004$) and placebo ($p = 0.044$). The immediately before presented higher PT values than control ($p = 0.047$). Regarding MVC_{post} , the PT for 6 hours before + immediately before presented higher values than control ($p = 0.001$) and placebo ($p = 0.004$). Peak torque during MVC (pre to post) was reduced in 6 hours before +

immediately before treatment (26%) compared with control (33%), placebo (29%), and immediately before (32%). The application of PBMT 6 hours + immediately before and immediately before exercise protocol is able to reduce the fatigue.

KEY WORDS ergogenic, low-level laser therapy, light emitting diode therapy, isokinetic tests

INTRODUCTION

Photobiomodulation therapy (PBMT), also known as phototherapy, involves the use of monochromatic light sources for therapeutic purposes throughout nonthermal effects. Physiological and therapeutic effects provided by PBMT are due to photophysical and photochemical events generated after absorption of light energy by specific chromophores on cell mitochondria (especially cytochrome c oxidase, unit IV in the mitochondrial respiratory chain) (1). Thus, low-level lasers and light emitting diodes within the red and near-infrared regions of the electromagnetic spectrum ("optical window" that runs approximately from 650 to 1200 nm) have been used to treat a range of injuries on the skin, tendons, muscles, joints, and nerves (2,3), and positive effects have been shown in conditions involving tissue repair, inflammation, and pain control (4,5,6,7). In addition, studies published in the last decade have evidenced that PBMT is able to attenuate fatigue process (8,9,10,11,12), to reduce markers of exercise-induced muscle damage (6,10,13,14), to improve exercise performance (16,30,38,43,45), and even enhance muscular adaptations to resistance training programs (7,16,50).

Mechanisms involved in the installation of the muscular fatigue process are not fully understood, but it is known that both central and peripheral factors are associated with a reduction in the capacity to generate force (20). Evidence supports that PBMT is able to increase the mitochondrial membrane potential, oxygen consumption, and adenosine triphosphate (ATP) production rapidly after cell irradiation (15). Moreover, nitric oxide and reactive oxygen species are transiently produced; cyclic adenosine monophosphate is

Address correspondence to: Fernando Diefenthaler, fernando.diefenthaler@ufsc.br.

0000/1-9

Journal of Strength and Conditioning Research
© 2017 National Strength and Conditioning Association

VOLUME 00 | NUMBER 00 | MONTH 2017 | 1

APÊNDICE C – Carta de submissão Artigo 3

 **Journal of Strength and Conditioning Research** <em@editorialmanager.com>
para Mateus ▾

8 de mar ▾ ⏪ ▾

 Inglês ▾ > português ▾ Traduzir mensagem Desativar para: inglês x

Mar 08, 2018

RE: Submission of "Dose-response effect of photobiomodulation therapy on muscle performance during knee extension strength exercise: a randomized controlled trial" (the "Work"), by Dr Fernando Diefenthaler, to Journal of Strength and Conditioning Research

Dear Mr Mateus Rossato,

Please click the link below to confirm that you are a contributing author of this paper. Upon clicking the link, you will be taken to a web page to answer the terms of the copyright agreement:
<https://jscr.editorialmanager.com/1.asp?i=258064&l=W7XOJSS>

If you are not a contributing author for this article, please click the link below to notify the JSCR Editorial Office.
<https://jscr.editorialmanager.com/1.asp?i=258066&l=YMIN7S34>

Best Regards,

Journal of Strength and Conditioning Research
<https://jscr.editorialmanager.com/>

NOTE: If you receive an error message when confirming your contribution to the above manuscript, please log out of the site at <https://jscr.editorialmanager.com/> and follow the confirm link again. Users must be logged out to complete the online copyright agreement.

ANEXO A – Aprovação no CEP SHUNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: EFEITOS ERGOGÊNICOS DA FOTOTERAPIA SOBRE PARÂMETROS NEUROMUSCULARES, CARDIORESPIRATÓRIOS E DE DESEMPENHO DECORRENTES DA MANIPULAÇÃO DA DOSE-RESPOSTA E DO TEMPO-

Pesquisador: FERNANDO DIEFENTHAELER

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 61599116.1.0000.0121

Instituição Proponente: Universidade Federal de Santa Catarina

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.064.398

Apresentação do Projeto:

Dissertação de mestrado de Mateus Rossato e Rodolfo André Dellagrana sob orientação de FERNANDO DIEFENTHAELER, do programa de pós-graduação em Educação Física. Estudo prospectivo, com 50 participantes. Critérios de inclusão: Os seguintes fatores de inclusão no estudo serão estabelecidos para os primeiros quatro estudos: a) ser do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos; b) estar familiarizado com corridas de média e longa duração; c) apresentar ritmo de corrida 6 min por km na prova de 5000 metros; d) não estar participando de nenhuma outra pesquisa que possa interferir nos resultados de condicionamento do participante. Para o quinto estudo será estabelecido os seguintes critérios de inclusão: a) ser do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos; b) estar familiarizado com corridas de média e longa duração; b) apresentar ritmo de corrida <5 min por km na prova de 5000 metros; c) apresentar regularidade em competições de provas de corrida de longa duração (no mínimo duas provas nos últimos 6 meses); d) não estar participando de nenhuma outra pesquisa que possa interferir nos resultados de condicionamento do participante. Serão elegíveis para o estudo todos os indivíduos que se enquadrarem nos critérios estabelecidos. Critérios de exclusão: Serão excluídos do estudo indivíduos que apresentem qualquer lesão