



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

SUSANA PADOIN

**EFEITO DA FOTOTERAPIA NA ADAPTAÇÃO AO  
EXERCÍCIO REPETIDO**

---

Londrina  
2019

SUSANA PADOIN

**EFEITO DA FOTOTERAPIA NA ADAPTAÇÃO AO  
EXERCÍCIO REPETIDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Educação Física Associado UEM/UEL da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientadora: Profa. Dra. Solange de Paula Ramos

Londrina  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Padoin, Susana.

Efeito da fototerapia na adaptação ao exercício repetido / Susana Padoin. - Londrina, 2019.  
68 f. : il.

Orientador: Solange de Paula Ramos.

Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Fototerapia - Tese. 2. Exercício pliométrico - Tese. 3. Adaptação - Tese. 4. Dano muscular - Tese. I. de Paula Ramos, Solange. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

SUSANA PADOIN

**EFEITO DA FOTOTERAPIA NA ADAPTAÇÃO AO EXERCÍCIO  
REPETIDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Educação Física Associado UEM/UEL da Universidade Estadual de Londrina.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profa. Dra. Solange de Paula  
Ramos  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Leandro Ricardo Altimari  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Cosme Franklim Buzzachera  
Universidade Norte do Paraná – UNOPAR

Londrina, 28 de março de 2019.

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Jorge Antoninho Padoin e Fidelity  
Marafon Padoin e irmão, Giliar Padoin.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, pelas pessoas que fazem parte dela e por tudo o que eu conquistei até o momento.

Um agradecimento especial aos meus pais Jorge Antoninho Padoin e Fídelia Marafon Padoin, meus exemplos de vida, que trabalharam duro para proporcionar um ensino de qualidade e não deixar faltar nada. Se hoje concluí mais uma etapa da minha vida, devo a vocês meus guerreiros.

Gostaria de agradecer ao meu querido irmão Giliar Padoin, pelas dezenas de vezes em que me buscou e levou na rodoviária, indiferentemente do horário. Agradeço também por todas as palavras de apoio, carinho e amizade, por acreditar em mim e fazer dos meus sonhos, os seus sonhos. Obrigada por tudo meu irmão. Agradeço também meu irmão caçula, Giovani Padoin, pelas vezes que me recebeu em sua casa, pelo carinho e parceria.

Agradeço à Professora Orientadora Dra. Solange de Paula Ramos por conceder a oportunidade de realizar o mestrado e concluir mais uma etapa da minha vida. Agradeço pela acolhida no Laboratório GERART, orientação, oportunidades e crescimento pessoal e profissional.

À professora Dra. Mônica Raquel Sbeghen pelos ensinamentos, amizade e carinho. Sou muito grata por me despertar o interesse pela pesquisa e dar os primeiros passos pelo campo da ciência.

Aos colegas Aline Campos Zeffa, Julio Cesar Molina Corrêa, Eduardo Tonani, Tarlyson Regioli de Angelis, Silas Seolin, Michelle Miranda, Pamela América de Souza, Karina Alves, Laressa Longo e Solange de Paula Ramos que não mediram esforços durante a execução do projeto. Sem vocês não seria possível. Meu muito obrigada.

Aos amigos de Laboratório, especialmente à Aline Campos Zeffa e Julio Cesar Molina Corrêa pela acolhida, parceria, risadas, cafés e conselhos no decorrer do Mestrado. Muito obrigada por tudo.

Aos professores Dr. Lúcio Flávio Soares-Caldeira, Dr. Leandro Ricardo Altimari e Dr. Cosme Franklim Buzzachera pela contribuição ao trabalho.

À toda família Barazetti, ao avô Zoldir Barazetti, avó Ozilda Barazetti, tia Cleusa Coelho, Lilian Barazetti e Grace Farias pela excepcional acolhida em Toledo, pelo convívio diário, risadas, apoio e por se tornarem minha segunda família.

Agradeço também a Letícia Barazetti e Aline Mattos pela amizade. Sou muito grata pelos ensinamentos e por onde eu for, levarei todos vocês em meu coração.

À Downie (*in memoriam*) e Huichi pelo carinho e fiel companhia nos momentos de estudo.

À Francielli Gomes, Talita Oliveira, Elisa Frana, Júlia Quevedo e Aline Cviatkovski, amigas de longa data que estiveram me apoiando em mais uma etapa. Obrigada meninas.

Gostaria de agradecer à Cassiane Lui e Amanda Welter, amigas que Toledo me presenteou. Meninas, sou muito grata pela amizade de vocês e sei que essa cumplicidade é para a vida toda.

Agradeço imensamente à Grace Farias pela amizade, acolhida, carinho, paciência e risadas. Agradeço também pelas conversas, bons conselhos ao longo dos dias e apoio nos momentos difíceis que, mesmo indiretamente, foi fundamental durante a trajetória. Muito obrigada por tudo, jamais irei esquecer o que fez por mim.

Gostaria de agradecer em especial à Lilian Barazetti, por ser muito mais do que uma amiga, e sim, uma mãe e um exemplo de ser humano. No decorrer dos dias me ensinou muito além do conhecimento científico, deu suporte nos momentos difíceis e foi muito importante para o meu crescimento pessoal e profissional. Li, eterna gratidão pelos seus conselhos, ensinamentos, carinho, amizade e pelos bons momentos juntas.

Agradeço ao Dr. Matheus Copi pelo apoio nos últimos meses.

Aos participantes do projeto que não mediram esforços e possibilitaram a realização do mesmo.

Agradeço em especial a Academia Edge de Londrina-PR, pela autorização e prestatividade durante a realização do projeto.

Por fim, mas não menos importante, à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento do projeto.

*“Toda a sabedoria de uma trajetória encontra-se na humildade em aprender com todas as adversidades, na coragem que habita o ato de nunca desistir e da beleza que nasce do sempre acreditar”.*

PADOIN, Susana. **Efeito da fototerapia na adaptação ao exercício repetido**. 2019. 68 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

## RESUMO

O efeito do exercício repetido (EER) é a atenuação de sinais e sintomas de dano muscular observado nas sessões subsequentes do mesmo exercício ou de contrações do mesmo grupo muscular. Uma estratégia que pode reduzir os danos provocados pela primeira sessão de exercício é a fototerapia com diodos emissores de luz (LED). No entanto, não existem estudos que investiguem seu efeito sobre a adaptação promovida por EER em marcadores de dano muscular e desempenho, após o exercício pliométrico. Desta forma, os objetivos do presente estudo foram avaliar os efeitos da irradiação com luz em comprimentos de onda vermelho (630 nm) e infravermelho próximo (940 nm) sobre a inibição do dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) após exercício pliométrico e determinar se a inibição do dano muscular pode afetar a adaptação ao exercício repetido. O delineamento experimental do estudo foi um ensaio clínico, duplo-cego, randomizado e com grupo controle. Foram selecionados 29 homens saudáveis, leucodermas, com idade entre 18 e 35 anos e fisicamente ativos. Os sujeitos foram alocados aleatoriamente em grupo LED 630 nm (n=10), LED 940 nm (n=10) e grupo Controle (n=09). A fototerapia foi aplicada sobre os músculos vasto lateral, vasto medial, reto femoral, bíceps femoral, semitendíneo, semimembranoso e gastrocnêmio, com densidade de energia de 4.6 J/cm<sup>2</sup> por ponto. O grupo controle foi submetido ao mesmo procedimento, porém com equipamento sem emissão de luz. Após o tratamento, os sujeitos foram submetidos ao aquecimento e realizaram 100 saltos pliométricos (50 cm de altura, em 5 séries de 20 saltos, 2 minutos de intervalo). Coletas de amostras sanguíneas para análise de CK, avaliação de DMIT e desempenho nos saltos verticais com contramovimento (SVC) e com agachamento (SVA) foram realizadas antes do tratamento, imediatamente após o exercício pliométrico, e após 24 h, 48 h e 72 h. Após 14 dias, os sujeitos foram submetidos a uma segunda sessão de exercício pliométrico e procedimentos de coleta de dados, porém, sem a aplicação do tratamento. Após a primeira sessão de exercício pliométrico, os níveis de CK aumentaram significativamente ( $P < 0.01$ ) em 72 h no grupo Controle em relação ao grupo LED 940 nm. No SVA, em 24 h, o grupo LED 630 nm apresentou um aumento significativo ( $P < 0.05$ ) em relação ao Controle, enquanto em 48 h, o grupo LED 940 nm mostrou um aumento comparado ao grupo Controle ( $P < 0.05$ ). A ANOVA *two-way* revelou uma interação para o tratamento no SVA ( $F = 7.12$ ;  $P = 0.001$ ) e tempo ( $F = 6.78$ ;  $P = 0.001$ ) para os níveis de CK. Após a segunda sessão de exercício, as variáveis analisadas (CK, SVC, SVA e DMIT) não apresentaram diferenças significativas entre os tempos e os grupos. Os resultados sugerem que a aplicação do LED 630 nm e LED 940 nm antes do exercício pliométrico foram eficazes na atenuação do DMIE e recuperação do desempenho sem prejudicar o EER.

**Palavras-chave:** Fototerapia. Exercício pliométrico. Adaptação. Dano muscular.

PADOIN, Susana. **Effect of phototherapy on adaptation to repeated exercise.** 2019. 68 p. Dissertation (Master's degree Physical Education) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

## ABSTRACT

The repeated bout effect (RBE) is the attenuation of signs and symptoms of muscle damage observed in subsequent sessions of the same exercise or contractions of the same muscle group. A strategy that can reduce the damage caused by the first exercise bout is phototherapy with light emitting diodes (LEDT). However, there are no studies investigating its effect on RBE promoted adaptation on muscle damage markers and performance after plyometric exercise. Thus, the objectives of the present study were to evaluate the effects of light irradiation at red (630nm) and near infrared (940 nm) wavelengths on the inhibition of exercise-induced muscle damage (EIMD) after plyometric exercise and to determine whether inhibition of muscle damage may affect adaptation to repeated exercise. The study experimental design was a clinical trial using a double-blind, a randomized and a control group. We selected 29 healthy men, leukoderma, aged between 18 and 35 years and physically active. Subjects were randomly assigned to LEDT 630 nm (n=10), LEDT 940 nm (n=10) and Control group (n=09). Phototherapy was applied to the vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus and gastrocnemius muscles, with energy density of 4.6 J/cm<sup>2</sup> per point. The Control group was submitted to the same procedure, but without light emission. After the treatment, subjects were submitted to heating and performed 100 plyometric jumps (50 cm in height, in 5 sets of 20 jumps, 2 minutes apart). Blood sample collections for CK analysis, DOMS assessment and performance in countermovement jump (CMJ) and squat (SJ) were performed before treatment, immediately after plyometric exercise, and after 24 h, 48 h and 72 h. After 14 days, the subjects were submitted to a second plyometric exercise bout and data was collected however without treatment application. After the first plyometric exercise bout, CK levels increased significantly (P<0.01) in 72 h in the Control group compared to the LEDT 940 nm group. In the SJ, the LEDT 630 nm group presented a significant improvement (P<0.05) in relation to the Control, while in 48 h, the LEDT 940 nm group showed an increase compared to the Control group (P<0.05). Two-way ANOVA revealed an interaction for treatment in SJ (F=7.12, P=0.001) and time (F=6.78, P=0.001) for CK levels. After the second exercise bout, the analyzed variables (CK, CMJ, SJ and DOMS) did not present significant differences between the times and the groups. The results suggest that the application of LEDT 630 nm and LEDT 940 nm before plyometric exercise were effective in attenuating the EIMD and restoring performance without impairing the RBE.

**Key words:** Phototherapy. Plyometric exercise. Adaptation. Muscle damage.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Representação da relação entre o exercício, dano muscular e DMIT .....	14
<b>Figura 2</b> – Desenho experimental do estudo.....	23
<b>Figura 3</b> – Protocolo do exercício de salto pliométrico .....	24
<b>Figura 4</b> – Aparelhos utilizados para a aplicação da fototerapia .....	25
<b>Figura 5</b> – Pontos de aplicação (círculos pretos).....	25
<b>Figura 6</b> – A schematic summary of the study design .....	35
<b>Figura 7</b> – Application points (black circles) .....	37
<b>Figura 8</b> – Mean (standard deviation) levels of creatine kinase in subjects submitted to plyometric jump.....	39
<b>Figura 9</b> – Mean (standard deviation) levels of delayed onset muscle soreness in Pre, Post, after 24 h, 48 h and 72 in subjects submitted to plyometric jump.....	40
<b>Figura 10</b> – Mean (standard deviation) levels of countermovement jump in Pre, Post, after 24 h, 48 h and 72 h in subjects submitted to plyometric jump .....	41
<b>Figura 11</b> – Mean (standard deviation) levels of squat jump in Pre, Post, after 24 h, 48 h and 72 h in subjects submitted to plyometric jump .....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Características dos sujeitos nos Grupos LED 630 nm, LED 940 nm e Controle.....	22
<b>Tabela 2</b> – Dosimetria da fototerapia .....	26
<b>Tabela 3</b> – Subjects' characteristics in Groups LEDT 630, LEDT 940 and Controle.....	34
<b>Tabela 4</b> – Phototherapy dosimetry .....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMD	Amplitude de Movimento Diminuída
ATP	Em inglês: <i>Adenosine Triphosphate</i> ou em português: Adenosina Trifosfato
Cco	Em inglês: <i>Cytochrome c Oxidase</i> ou em português: Citocromo c Oxidase
CK	Em inglês: <i>Creatine Kinase</i> ou em português: Creatina Quinase
CMJ	Em inglês: <i>Countermovement Jump</i> ou SVC, em português: Salto Contramovimento
CUA e CUB	Cobres de Valência Mista
DOMS	Em inglês: <i>Delayed Onset Muscle Soreness</i> ou DMIT, em português: Dor Muscular de Início Tardio
EIMD	Em inglês: <i>Exercise-induced Muscle Damage</i> ou DMIE, em português: Dano Muscular Induzido pelo Exercício
LASER	Em inglês: <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> ou em português: Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação
LDH	Em inglês: <i>Lactate Dehydrogenase</i> ou em português: Lactato Desidrogenase
LEDT	Em inglês: <i>Light Emitting Diode</i> ou LED, em português: Fototerapia com Diodos Emissores de Luz
NF-kB	Em inglês: <i>Nuclear Factor Kappa B</i> ou em português: Fator de Transcrição Nuclear Kappa B
RBE	Em inglês: <i>Repeated Bout Effect</i> ou EER, em português: Efeito do Exercício Repetido
SJ	Em inglês: <i>Squat Jump</i> ou SVA, em português: Salto Vertical com Agachamento

## SUMÁRIO

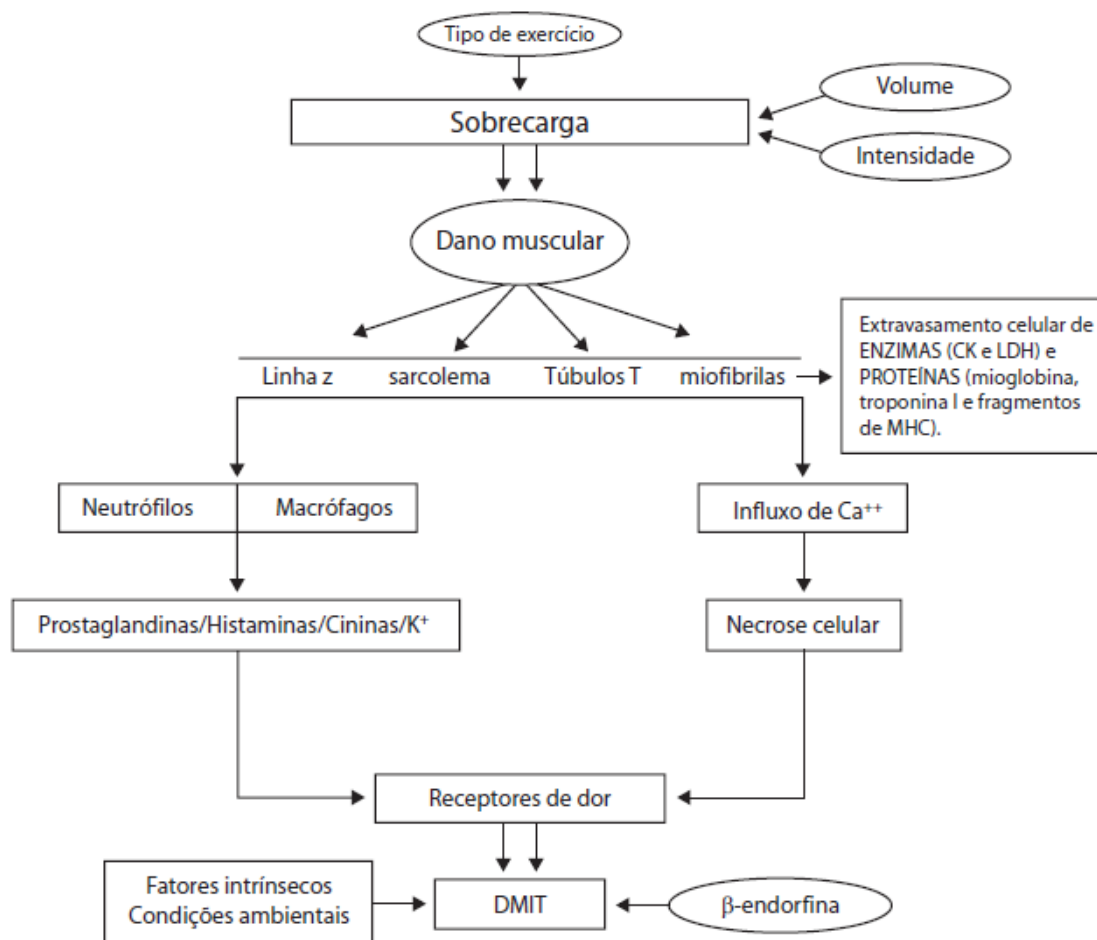
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	20
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	21
<b>4. RESULTADOS</b> .....	28
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	48
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49
<b>APÊNDICES</b> .....	59
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	60
<b>ANEXOS</b> .....	63
ANEXO A - Parecer consubstanciado do CEP .....	64
ANEXO B - Escala de dor muscular percebida .....	68

## 1. INTRODUÇÃO

O salto pliométrico é um método de treinamento popular utilizado para melhorar a força e potência muscular (ISNER-HOROBETI *et al.*, 2013; VOGT e HOPPELER, 2014; DOUGLAS *et al.*, 2017). Inclui ciclos de contrações concêntricas e excêntricas de membros inferiores, principalmente das fibras musculares do tipo II, causando rápida adaptação morfológica do músculo (ISNER-HOROBETI *et al.*, 2013; VOGT e HOPPELER, 2014; DOUGLAS *et al.*, 2017).

O dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) que comumente ocorre com a realização de exercícios que envolvam o ciclo excêntrico-concêntrico, resulta em perda de força e potência muscular associada com lesões ultra estruturais das fibras musculares (KANDA *et al.*, 2013; HYLDAHL e HUBAL, 2014; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017; PEAKE *et al.*, 2017). Os danos às estruturas do sarcômero e sarcolema promovem respostas inflamatórias que resultam em dor muscular de início tardio (DMIT), edema, amplitude de movimento diminuída (AMD), extravasamento dos níveis séricos de creatina quinase (CK), lactato desidrogenase (LDH) e mioglobina e redução temporária da capacidade de geração de força muscular (figura 1) (PROSKE e MORGAN, 2001; CLARKSON e HUBAL, 2002; PEAKE, NOSAKA e SUZUKI, 2005; PROSKE e ALLEN, 2005; HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; TOFAS *et al.*, 2008; CHATZINIKOLAOU *et al.*, 2010; SKURVYDAS *et al.*, 2011; BAUMERT *et al.*, 2016).

**Figura 1** - Representação da relação entre o exercício, dano muscular e DMIT.



**Fonte:** Adaptado de Foschini, Prestes e Charro (2007).

Estudos apontam que o DMIE é dividido em duas fases: dano muscular primário e dano muscular secundário (CLARKSON e HUBAL, 2002; MCHUGH, 2003; HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; NOSAKA, 2008; SOUSA, TEIXEIRA e SOARES, 2014; NAUGHTON, MILLER e SLATER, 2017; OWENS *et al.*, 2018). O dano primário refere-se ao estresse mecânico provocado pelo exercício, ou seja, o dano ao retículo sarcoplasmático, túbulos T, miofibrilas, linha Z, membrana sarcoplasmática e citoesqueleto (HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; NOSAKA, 2008; SOUSA, TEIXEIRA e SOARES, 2014; NAUGHTON, MILLER e SLATER, 2017; OWENS *et al.*, 2018). Já a fase secundária está associada à cascata de eventos metabólicos provocados pela ruptura da homeostase do  $Ca^{2+}$ , inibição da função mitocondrial e depleção de adenosina trifosfato (ATP), promovendo a resposta inflamatória, desorganização do sarcolema e o extravasamento de

proteínas intramusculares para compartimentos extracelulares (CLARKSON e HUBAL, 2002; HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; NOSAKA, 2008; SMITH *et al.*, 2008; NAUGHTON, MILLER e SLATER, 2017; OWENS *et al.*, 2018).

Os marcadores indiretos frequentemente usados para identificar o dano muscular, como por exemplo, a DMIT e a CK apresentam um pico de detecção clínica entre 24 h e 48 h após o exercício físico (CLARKSON e HUBAL, 2002; BRANCACCIO, MAFFULLI e LIMONGELLI, 2007; LAURITZEN *et al.*, 2009; BARSS *et al.*, 2014; KOCH, R. e M., 2014; CHEN *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018) e a perda de força muscular imediatamente após o exercício físico (CLARKSON e HUBAL, 2002; MARGINSON *et al.*, 2005). O tempo necessário para a recuperação após o DMIE depende da magnitude do dano muscular inicial, e este é influenciado pela intensidade e duração do esforço, grupos musculares utilizados no exercício e ângulo articular (PEAKE *et al.*, 2017).

Após o dano muscular, o tecido muscular é reparado através de um processo que consiste em duas fases interdependentes, a degeneração e a regeneração (KARALAKI *et al.*, 2009). Na degeneração observa-se a necrose das fibras musculares, que é caracterizada pela ruptura do sarcolema das miofibras, resultando no aumento da permeabilidade das mesmas e extravasamento dos níveis séricos de proteínas musculares. Além disso, nessa fase ocorre a infiltração de células inflamatórias, como os neutrófilos e macrófagos, desempenhando um papel chave nesse processo (BONDESEN *et al.*, 2004; CHAZAUD, 2015; FATOUROS e JAMURTAS, 2016). Os neutrófilos que constituem a primeira linha de defesa na inflamação, são as primeiras células a chegarem no local da lesão (URSO, 2013; FATOUROS e JAMURTAS, 2016). Além disso, são responsáveis pela fagocitose dos detritos celulares oriundos do dano muscular (URSO, 2013). Após 24 h a 48 h, os monócitos se diferenciam em macrófagos e dão sequência à fagocitose e remoção do tecido danificado, bem como ativam as células miogênicas (células satélites) (KARALAKI *et al.*, 2009; CHAZAUD, 2015). Já na regeneração muscular as células satélites se proliferam e se diferenciam, dando origem aos mioblastos. Estes se fundem com as miofibras danificadas para reparar as mesmas, ou se fundem entre si, formando novas miofibras. Quando a fusão das células satélites é completada, o novo tecido muscular é o mesmo que o não lesionado, tanto morfológica quanto funcionalmente (KARALAKI *et al.*, 2009). Exercícios excêntricos máximos não habituais e com grande amplitude de movimento que

geralmente causam danos musculares graves, requerem uma recuperação completa prolongada (>1 semana), enquanto exercícios que se assemelham ao treinamento regular, cujo o dano muscular é leve, a recuperação ocorre em poucos dias (PAULSEN *et al.*, 2012).

Após o DMIE, ocorre uma adaptação que atenua seus sinais e sintomas, indicando que o músculo esquelético é protegido contra novos danos, quando exposto ao mesmo exercício. Este fenômeno é conhecido como efeito do exercício repetido (EER) (JAMURTAS *et al.*, 2000; MARGINSON *et al.*, 2005; CORATELLA, CHEMELLO e SCHENA, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017).

A literatura aponta as adaptações neurais, nas propriedades mecânicas do músculo, sinalização bioquímica e remodelamento estrutural da matriz extracelular como os possíveis responsáveis pelo EER (NOSAKA e AOKI, 2011; HYLDAHL e HUBAL, 2014; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). A adaptação neural refere-se ao recrutamento mais eficiente de unidades motoras, aumento do recrutamento de fibras de contração rápida, da sincronia das unidades motoras (NOSAKA e AOKI, 2011; HYLDAHL e HUBAL, 2014; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017), melhor distribuição da carga de trabalho entre as fibras e melhor utilização dos músculos sinérgicos durante o exercício (NOSAKA e AOKI, 2011; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017).

Forças mecânicas excêntricas aplicadas sobre as miofibrilas provocam a ruptura das linhas Z e dos filamentos contráteis e sobrecarga das membranas sarcoplasmáticas, reduzindo a capacidade de geração de força das fibras musculares, desorganizando o sistema de endomembranas e sarcolema (HYLDAHL e HUBAL, 2014; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017; PEAKE *et al.*, 2017). Além disso, os tecidos conjuntivos associados ao músculo (epimísio, perimísio e endomísio) e responsáveis pela distribuição da força de contração produzida pelas fibras musculares sobre todo o músculo também sofrem rompimento da matriz celular (KJAER, 2004; PURSLOW, 2010; FINDLEY, CHAUDHRY e DHAR, 2015). Após o reparo e remodelação muscular, uma sessão subsequente de exercício não promoverá DMIE na mesma extensão devido ao remodelamento dos filamentos intermediários para fortalecer a estrutura do sarcômero, menor sobrecarga mecânica nas fibras musculares (NOSAKA e AOKI, 2011; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015), remodelamento estrutural da matriz extracelular, que pode aumentar a rigidez

passiva através da elevação da expressão de colágeno, adesão da matriz extracelular e sinalização anabólica, promovendo o EER (MACKEY *et al.*, 2011; HYLDAHL e HUBAL, 2014; HYLDAHL *et al.*, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017).

A magnitude de proteção ao exercício repetido depende de alguns fatores, como a velocidade de contração do exercício (BARSS *et al.*, 2014), grupo muscular (DE LIMA e DENADAI, 2011), membro envolvido (HOWATSON e VAN SOMEREN, 2007; CHEN *et al.*, 2019), intervalo entre as sessões (NOSAKA *et al.*, 2001), condicionamento físico dos participantes (LEEDER *et al.*, 2014), idade (GORIANOVAS *et al.*, 2013) e número de repetições (HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). Ademais, o EER pode ser conferido após um dia da primeira sessão de exercício (CHEN *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018) e perdurar por até 9 meses (NOSAKA *et al.*, 2001).

Estudos sugerem que o dano muscular é necessário para que ocorra a adaptação do tipo ERR (MCHUGH *et al.*, 1999; PROSKE e MORGAN, 2001; CORATELLA, CHEMELLO e SCHENA, 2015). À vista disso, estratégias para atenuar esse dano, como a suplementação nutricional (HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; COOKE *et al.*, 2010; MCKINNON, GRAHAM e TIIDUS, 2012; KOHNE, ORMSBEE e MCKUNE, 2016), massagem, crioterapia, alongamento e exercício de baixa intensidade tem sido utilizadas (HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; TORRES *et al.*, 2012). No entanto, a aplicação de métodos de recuperação pode interferir de forma negativa na adaptação ao exercício (YAMANE *et al.*, 2006; SELLWOOD *et al.*, 2007) ou até mesmo não ter efeitos sobre o DMIE e EER (HOWATSON, GOODALL e VAN SOMEREN, 2009). Por outro lado, nos últimos anos, um método que tem se mostrado bastante eficaz em reduzir o DMIE é a fototerapia (CAMARGO *et al.*, 2012; ALBUQUERQUE-PONTES *et al.*, 2015; DE PAIVA *et al.*, 2016; FRITSCH *et al.*, 2016; VASCONCELOS *et al.*, 2018).

A fototerapia de baixa intensidade utilizando diodos emissores de luz (*Light emitting diode*, LED) ou amplificação da luz por emissão estimulada de radiação (*Light amplification by stimulated emission of radiation*, *Laser*) compreende o uso terapêutico de fontes de luz artificial de baixa intensidade, em comprimentos de onda de espectro visível (vermelho) ao invisível (infravermelho próximo), que emitem fótons podendo estimular ou inibir as vias de sinalização celulares (BAROLET, 2008; HUANG *et al.*, 2009; CHUNG *et al.*, 2012; HAMBLIN, 2017).

O uso do LED ou *Laser* apresentam efeitos biológicos similares, no entanto, o LED possui menor custo de fabricação e abrange maior área de aplicação e irradiação (KNEEBONE, 2006; CHUNG *et al.*, 2012; HEISKANEN e HAMBLIN, 2018). A ação da fototerapia parece depender do comprimento de onda utilizado (NAMPO *et al.*, 2016b). Segundo Hamblin e Demidova (2006), a janela terapêutica com maior absorção da luz nos tecidos (fotoceptores) se dá entre 600 nm e 950 nm. Espectros de luz entre 700 nm a 770 nm possuem atividade bioquímica limitada, por isto, não são utilizados (HAMBLIN e DEMIDOVA, 2006; CHUNG *et al.*, 2012; DE FREITAS e HAMBLIN, 2016).

Os principais fotoceptores estimulados pela fototerapia são os cobres de valência mista ( $C_{UA}$  e  $C_{UB}$ ) e os centros heme ( $\alpha$  e  $\alpha_3$ ) da citocromo c oxidase (Cco), enzima do complexo IV da cadeia transportadora de elétrons (KARU, 2010; 2014; PASSARELLA e KARU, 2014). A luz do espectro vermelho e infravermelho próximo provoca a dissociação do óxido nítrico, considerado um regulador negativo da cadeia respiratória e aumentando a atividade da enzima Cco, acelerando a síntese de ATP (KARU e KOLYAKOV, 2005; KARU, 2010; DE FREITAS e HAMBLIN, 2016; TSAI e HAMBLIN, 2017; HAMBLIN, 2018). O aumento da atividade da cadeia respiratória mitocondrial por fotobiomodulação também promove uma pequena produção de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, ativação das bombas sódio e cálcio e redução do desequilíbrio no balanço redução-oxidação (redox) das vias de sinalização celular inflamatória e proliferativa (HAMBLIN e DEMIDOVA, 2006; HUANG *et al.*, 2009). Hayworth *et al.* (2010) verificaram que o músculo esquelético parece ser sensível à atividade biomoduladora da luz. Os autores observaram aumento na atividade da Cco mais acentuados nas fibras do tipo I (54%), seguido das fibras intermediárias IIa (36%) e glicolíticas do tipo IIb (18%), sugerindo que a fototerapia pode contribuir nos sistemas aeróbios e anaeróbios.

Já Ferraresi *et al.* (2015a; 2015b) encontraram um aumento da síntese de ATP e do potencial da membrana mitocondrial até 24 h após a aplicação da fototerapia, demonstrando que seu efeito não é apenas momentâneo e pode se estender por longas horas. De acordo com Kneebone (2006), os principais efeitos observados no tecido após a aplicação da fototerapia são divididos em três: primários, secundários e terciários. Os efeitos primários se referem a interação dos fótons e mitocôndrias celulares que capturam, direcionam e transportam a energia proveniente dos fótons para energia química, esta utilizada para regular a atividade

celular. Os efeitos secundários transcorrem na mesma célula que os efeitos primários e compreendem na proliferação celular e síntese de proteínas. Já os efeitos terciários compreendem os efeitos sistêmicos da fototerapia, que se dá pelas respostas indiretas das células distantes daquelas que sofreram interação com os fótons de luz (KNEEBONE, 2006).

Diversas pesquisas demonstraram que a fototerapia com comprimento de luz vermelha e infravermelha próxima é um método de recuperação eficaz, uma vez que, apresenta efeitos antiálgicos, anti-inflamatórios e de atenuação dos marcadores indiretos de DMIE, promovendo uma recuperação muscular mais acelerada após o exercício (BJORDAL *et al.*, 2006; DOURIS *et al.*, 2006; HUANG *et al.*, 2009; BARONI *et al.*, 2010; SUSSAI *et al.*, 2010; BORSA, LARKIN e TRUE, 2013; BORGES *et al.*, 2014; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014; FELISMINO *et al.*, 2014; DE PAIVA *et al.*, 2016; NAMPO *et al.*, 2016b; DE MARCHI *et al.*, 2017b; HAMBLIN, 2018; MIGLIARIO *et al.*, 2018; VASCONCELOS *et al.*, 2018). Estudos destacam que a redução do estresse oxidativo, necrose muscular, apoptose celular, inflamação e aumento da microcirculação tecidual são alguns mecanismos que parecem explicar seus efeitos sobre o DMIE (RIZZI *et al.*, 2006; LIU *et al.*, 2009; FERRARESI, HAMBLIN e PARIZOTTO, 2012; FELISMINO *et al.*, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2016; VASCONCELOS *et al.*, 2018).

Nesse sentido, diversas pesquisas tem sido realizadas utilizando o comprimento de onda de 630 nm e 940 nm, apontando que a fototerapia pode ser aplicada como método de recuperação, uma vez que, previne o DMIE e seus efeitos (CAMARGO *et al.*, 2012; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2018; VASCONCELOS *et al.*, 2018). No entanto, não está estabelecido qual dos dois comprimentos de onda possui maior potencial.

Ademais, a fototerapia reduz a ativação do fator de transcrição nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B), devido à redução do estresse oxidativo (RIZZI *et al.*, 2006; HUANG *et al.*, 2009) e apresenta efeitos positivos sobre o reparo tecidual, o que poderia reduzir os intervalos de recuperação e facilitar o processo de adaptação tecidual (KNEEBONE, 2006; CASALECHI *et al.*, 2009; SERAFIM *et al.*, 2012). Assim, a fototerapia pode exercer um efeito protetor sobre o músculo, sem interferir no processo de adaptação ao EER.

## 2. OBJETIVOS

Para a elaboração deste trabalho, foi adotado o modelo escandinavo, seguindo a instrução normativa nº01/2017-PEF do Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física UEM/UEL.

Os objetivos do presente estudo foram:

- Avaliar os efeitos da fototerapia a 630 nm e 940 nm sobre a inibição do dano muscular induzido pelo exercício após exercício de salto pliométrico.
- Avaliar os efeitos da fototerapia com comprimento de onda vermelho (630 nm) ou infravermelho próximo (940 nm) sobre o efeito do exercício repetido.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### *Sujeitos*

O cálculo do tamanho da amostra revelou que um mínimo de 5 sujeitos deveria ser incluído em cada grupo de estudo para atingir 80% do poder estatístico e um erro do tipo I de até 5%. Considerando possíveis perdas de sujeitos ou amostras durante o seguimento, foram incluídos 10 voluntários por grupo de estudo. Sendo assim, o estudo incluiu 30 homens, com idade entre 18 e 35 anos, leucodermas e desabitados a realizar saltos pliométricos em seu treinamento habitual. Os participantes também deveriam ter pelo menos 6 meses de experiência com o treinamento de resistência (ACSM, 2006), que exige 150 minutos de atividade física moderada por semana. Foram excluídos do estudo os indivíduos que faziam uso de suplementos nutricionais ou drogas anti-inflamatórias e com lesões musculoesqueléticas que pudessem prejudicar o desempenho nos testes de salto. Os participantes foram informados sobre os procedimentos e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos da Universidade Estadual de Londrina (n. 2.650.252/2018) (Anexo A).

Os sujeitos foram alocados aleatoriamente em três grupos experimentais, por meio de sorteio usando envelopes opacos:

- LED 630 nm: Fototerapia a 630 nm;
- LED 940 nm: Fototerapia a 940 nm;
- Controle: Os indivíduos foram expostos ao equipamento comercial de LED desligado.

Um sujeito do grupo Controle não participou da segunda sessão de exercício e foi excluído do estudo. As características dos sujeitos são descritas na tabela 1. Não foram observadas diferenças entre os grupos em relação à idade, estatura e massa corporal.

**Tabela 1** - Características dos sujeitos nos Grupos LED 630 nm, LED 940 nm e Controle.

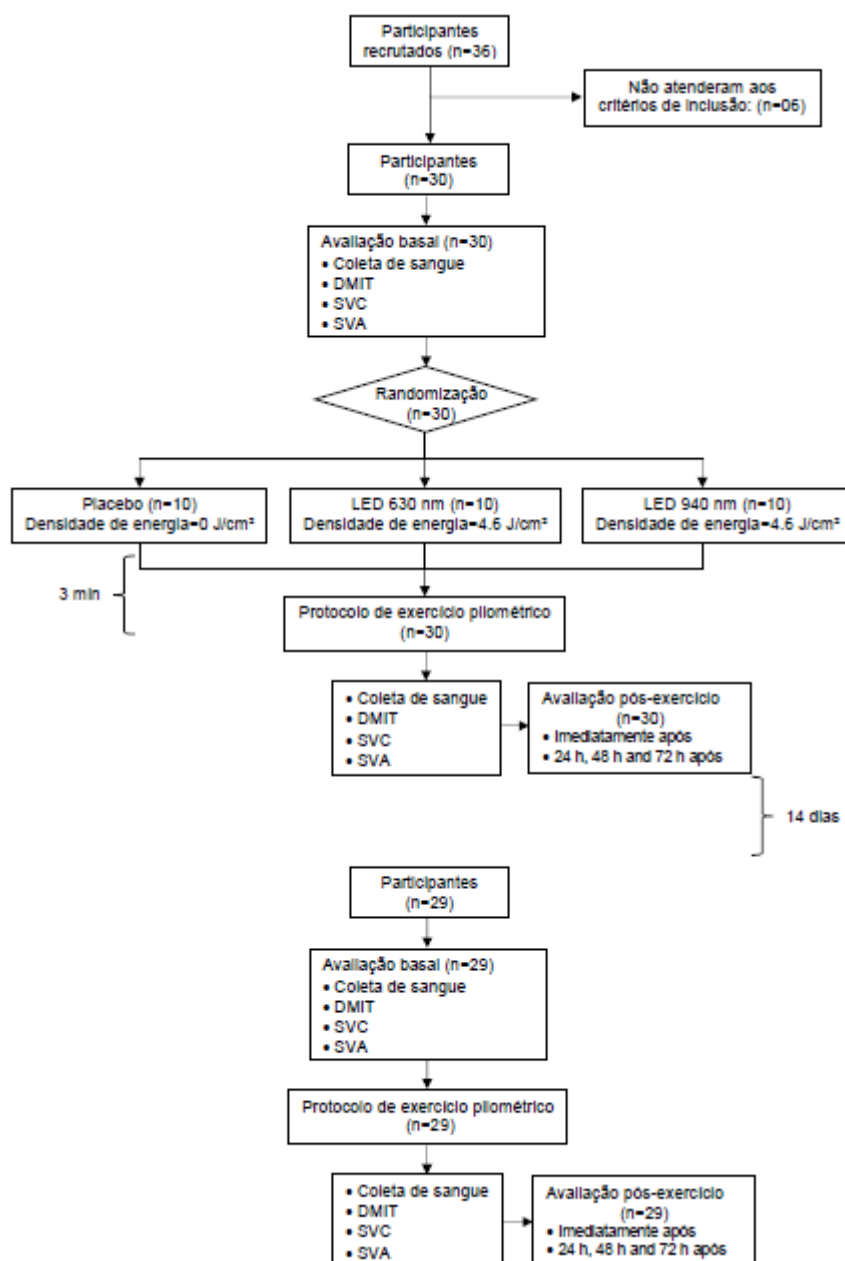
Variáveis	LED 630 (n=10)	LED 940 (n=10)	Controle (n=9)
Idade (anos)	24,81 ± 4,37	24,09 ± 4,51	24,92 ± 6,33
Massa corporal (Kg)	79,01 ± 8,56	68,10 ± 11,20	78,76 ± 15,44
Estatura (cm)	176,5 ± 6,38	173,6 ± 5,58	174,8 ± 7,06

P>0.05, Teste de ANOVA *one-way*.

### *Delineamento experimental*

O presente estudo é um ensaio clínico randomizado, duplo-cego e com grupo controle. Os sujeitos foram instruídos a não realizar treinamento físico intenso e ingerir bebidas contendo álcool, suplementos nutricionais e cafeína nas 72 h que antecederam o experimento. As coletas de sangue venoso, DMIT e desempenho no salto vertical com contramovimento (SVC) e com agachamento (SVA) foram realizadas antes da sessão de exercícios pliométricos, imediatamente após, 24 h, 48 h e 72 h. O tratamento com fototerapia ou controle foi administrado imediatamente antes do protocolo de exercício. Após 14 dias, era assumido que os participantes já haviam se recuperado do DMIE conferido pela primeira sessão (DE LIMA e DENADAI, 2011; GORIANOVAS *et al.*, 2013; BRIDGEMAN *et al.*, 2017) e o experimento foi reproduzido novamente, no entanto, sem a aplicação da fototerapia (figura 2). Anteriormente à coleta de dados de forma definitiva, foi realizado um estudo piloto para refinar os instrumentos e procedimentos do estudo.

Figura 2 – Desenho experimental do estudo.



Fonte: o próprio autor.

### Protocolo de salto pliométrico

Os sujeitos foram encorajados a realizar 5 séries de 20 saltos do tipo *drop jump*, em uma plataforma elevada de 50 cm (Sparta Gym, Itajaí, Brasil), com intervalo de 2 min entre as séries. O protocolo de exercício pliométrico iniciou com o sujeito em cima da caixa, no qual ele deveria saltar da mesma (salto em profundidade) com as mãos na cintura, devendo os dois pés tocar o solo ao mesmo

tempo. Assim que tocassem o solo, o sujeito deveria flexionar os joelhos até aproximadamente  $90^{\circ}$  e saltar o mais alto possível com as pernas esticadas. A cada salto, alternava a perna para subir na caixa (figura 3). A altura da plataforma foi estabelecida após a realização do estudo piloto.

**Figura 3** – Protocolo do exercício de salto pliométrico.

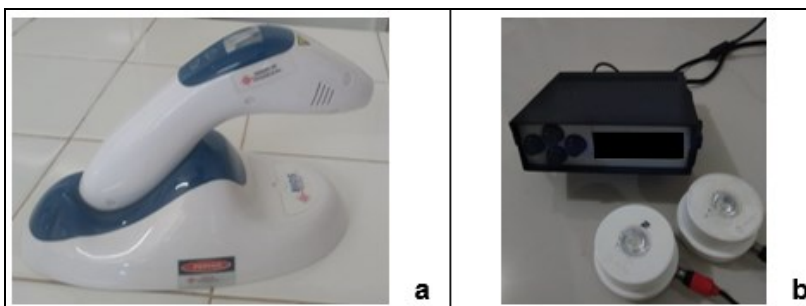


**Fonte:** o próprio autor.

#### *Fototerapia com diodos emissores de luz*

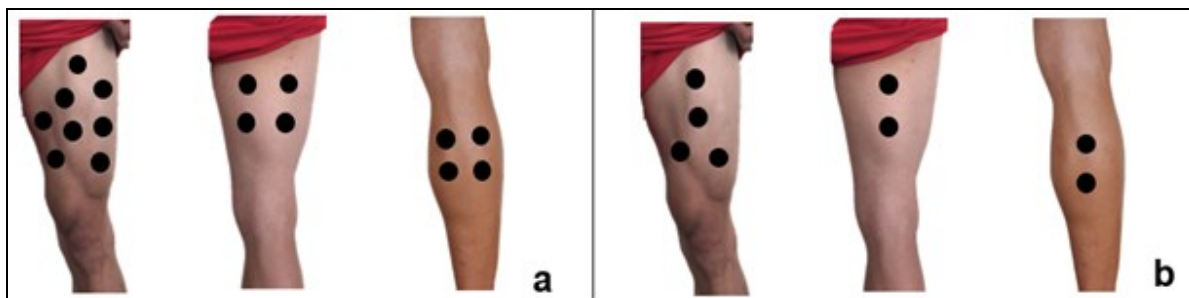
A fototerapia com diodos emissores de luz (LED) foi realizada apenas no primeiro dia de experimento, imediatamente antes da sessão de exercício pliométrico. O equipamento Bios Therapy II (Bios indústria e comércio de equipamentos médicos LTDA ®, São José dos Campos, Brasil) de luz vermelha, com comprimento de onda de 630 nm foi utilizado para o grupo LED 630 nm (figura 4a). A irradiação foi aplicada em 16 pontos de cada membro inferior (figura 5a), com 20 s de aplicação por ponto. Para o grupo LED 940 nm, uma sonda infravermelha desenvolvida pelo Laboratório de Óptica e Optoeletrônica (Laboratório de Óptica e Optoeletrônica da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, figura 4b), foi irradiada em 8 pontos de cada membro inferior (figura 5b), com 102 s de aplicação por ponto. O grupo Controle foi posicionado sobre a maca, nas mesmas condições e período de tempo dos sujeitos do grupo LED 940 nm, porém, com o equipamento desligado (figura 5b). Os parâmetros de irradiação estão descritos na tabela 2. Os sujeitos usaram óculos opacos e fones de ouvido para não identificar quais tratamentos foram aplicados. O operador não participou como amostragem e da análise de dados do estudo.

**Figura 4** – Aparelhos utilizados para a aplicação da fototerapia. a) Grupo LED 630 nm. a) Grupos LED 940 nm e Controle.



Fonte: o próprio autor.

**Figura 5** - Pontos de aplicação (círculos pretos). a) Grupo LED 630 nm. b) Grupo LED 940 nm e grupo Controle.



Fonte: o próprio autor.

**Tabela 2** - Dosimetria da fototerapia.

<b>Parâmetros</b>		
Comprimento de onda	LED 630 nm	LED 940 nm
Frequência de saída	Contínua	Contínua
Potência de saída	300 mW	140 mW
Tamanho do feixe	1,32 cm <sup>2</sup>	3,1 cm <sup>2</sup>
Densidade de potência	230 mW/cm <sup>2</sup>	45 mW/cm <sup>2</sup>
Dose	6 J por ponto	14,28 J por ponto
Total de energia por membro	97,1 J	114 J
Números de pontos	16	8
Área irradiada	21,12 cm <sup>2</sup>	24,8 cm <sup>2</sup>
Densidade de energia	4,6 J/cm <sup>2</sup>	4,6 J/cm <sup>2</sup>
Tempo irradiado por ponto	20 segundos	102 segundos
Tempo total de aplicação	320 segundos	816 segundos
Modo de aplicação	Estacionária em contato com a pele	Estacionária em contato com a pele

#### *Dor muscular de início tardio*

A DMIT foi registrada antes do protocolo de saltos pliométricos, imediatamente após, 24 h, 48 h e 72 h, utilizando a escala de Cook (COOK *et al.*, 1998) (Anexo B). Os sujeitos foram instruídos a realizar um agachamento com flexão de joelhos de aproximadamente 90° e informar o valor da dor percebida nos membros inferiores.

#### *Dosagem sérica de creatina quinase*

Foram coletados 5 ml de sangue venoso da veia antecubital usando a técnica de punção venosa em tubos de Vacutainer® não-heparinizado (BD Biociência do Brasil, Curitiba, Brasil). As amostras foram centrifugadas em 4000 g, durante 4 min, à 4 °C e o soro foi separado e congelado a -20 °C. A determinação da concentração de CK foi realizada por ensaio bioquímico em equipamento automatizado

(Dimension XLD, Siemens, Munique, Alemanha), utilizando kits comerciais de acordo com as instruções do fabricante.

### *Salto vertical com contramovimento e com agachamento*

Após um aquecimento padronizado, os participantes realizaram 3 SVC e 3 SVA, com 10 s de intervalo. Todas as tentativas foram executadas no tapete de contato conectado a um software de computador (Jump System Pro, CEFISE, Nova Odessa, São Paulo). Os sujeitos foram instruídos a manter as mãos na cintura durante os saltos. O SVC foi realizado com um contramovimento de 0 a 90° do ângulo do joelho, enquanto o SVA iniciou da posição estática a partir de 90° do ângulo do joelho (BOSCO, LUHTANEN e KOMI, 1983; HOWATSON, GOODALL e VAN SOMEREN, 2009). O melhor salto foi usado para fins estatísticos.

### *Análise estatística*

A distribuição dos dados foi realizada com o teste de Kolmogorov-Smirnov e correção de Dall-Wilkinson-Lilliefor. Diferenças intragrupos foram detectadas utilizando ANOVA de medidas repetidas e teste de Tukey (dados paramétricos) ou Friedman e teste de Dunn (dados não paramétricos). As diferenças intergrupos em diferentes momentos foram detectadas pela ANOVA *one-way* com teste de Tukey (dados paramétricos) ou Kruskal-Wallis e teste de Dunn (dados não paramétricos). A esfericidade dos dados foi analisada pelo teste de Mauchly com correção de Greenhouse-Geisser. Os efeitos do tratamento e tempo foram avaliados utilizando ANOVA *two-way* de medidas repetidas. Diferenças foram consideradas significantes se  $P < 0.05$ . A análise dos dados foi realizada com o software GraphPad Prism versão 5.01 (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA).

#### 4. RESULTADOS

##### **Phototherapy improves muscle recovery and did not impair repeated bout effect in plyometric exercise.**

###### Phototherapy and repeated bout effect

Susana Padoin. Master Student in Physical Education. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Aline Campos Zeffa. Master Student in Odontology. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Julio Cesar Molina Corrêa. Master Student in Physical Education. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Tarlyson Regioli de Angelis. Graduate Student in Physical Education. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Thuany Bezerra Moreira. Resident in Clinical Pathology. Veterinary hospital. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Lilian Keila Barazetti. PhD Student in Physical Education. Parana State University, Marechal Cândido Rondon, Brazil.

Dari de Oliveira Toginho Filho. Laboratory of Optical and Optoeletronica. Department of Physics. Center of Exact Sciences. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Solange de Paula Ramos. Study group of Tissue Regeneration, Adaptation and Repair. Center of Biological Sciences. State University of Londrina, Londrina, Brazil.

Correspondence Author:

Solange de Paula Ramos

Universidade Estadual de Londrina – Centro de Ciências Biológicas

Rodovia Celso Garcia Cid PR 445 km 380

Jardim Versalhes II

CEP: 86047-600 Londrina – PR – Brasil

E-mail: ramossolange@uel.br

## Disclosure of funding

The authors declare we received no financial support for this work from any of the following organizations: National Institutes of Health (NIH); Wellcome Trust; Howard Hughes Medical Institute (HHMI) and any other institution.

## Abstract

The phototherapy effects of red (630 nm) and near infrared (940 nm) light wavelengths were investigated on the inhibition of exercise-induced muscle damage (EIMD) and adaptation to repeated bout effect (RBE). Twenty-nine healthy men were randomized to receive Light-emitting diode therapy (LEDT) at 630 nm (4.6 J/cm<sup>2</sup>, 97 J energy), LEDT 940 nm (4.6 J/cm<sup>2</sup>, 114 J) or Control. After LEDT or Control treatment, subjects performed 100 drop-jumps (five sets of 20 repetitions). Creatine kinase (CK), delayed-onset muscle soreness (DOMS), countermovement jump (CMJ) and squat jump (SJ) were assessed before, immediately after and, 24 h, 48 h and 72 h after the bout. After 14 days, the subjects were submitted to the same plyometric exercise, without LEDT, and the signs and symptoms of EIMD were evaluated again. CK levels increased significantly 72 h after first bout in the Control group in relation to the LEDT 940 nm group ( $P < 0.01$ ). The LEDT 630 nm group showed a significant increase in SJ in 24 h in relation to the Control group ( $P < 0.05$ ), while, within 48 h, LEDT 940 nm showed a significant increase compared to the Control group ( $P < 0.05$ ). The two-way ANOVA revealed an interaction for treatment in SJ ( $F = 7.12$ ;  $P = 0.001$ ) and for time in CK levels ( $F = 6.78$ ;  $P = 0.001$ ). No differences were found between groups for DOMS and CMJ after the first bout. After the second bout of exercise, no differences were found between groups in all variables (CK, DOMS, CMJ and SJ). The results suggest that LEDT 630 nm and LEDT 940 nm treatment before eccentric exercise attenuated the EIMD and improves performance recovery without impairing RBE.

**Key-Words:** low level light therapy, skeletal muscle, creatine kinase, exercise.

## Introduction

It is well established that an unaccustomed exercise session involving the stretching-shortening contraction cycles may cause post exercise inflammation and underperformance known as exercise-induced muscle damage (EIMD) (CLARKSON e HUBAL, 2002; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). The structural damage of muscle fibers are usually followed by temporary loss of muscular power and strength, decreased range of motion, muscle edema, inflammation, delayed onset muscle soreness (DOMS), and increased serum concentration of lactate dehydrogenase, myoglobin, and creatine kinase (CK) (PROSKE e MORGAN, 2001; CLARKSON e HUBAL, 2002; PEAKE, NOSAKA e SUZUKI, 2005; PROSKE e ALLEN, 2005; HOWATSON e VAN SOMEREN, 2008; TOFAS *et al.*, 2008; CHATZINIKOLAOU *et al.*, 2010; SKURVYDAS *et al.*, 2011; BAUMERT *et al.*, 2016). However, following an appropriated period of recovery, a second bout of the same exercise are protected from EIMD, a phenomenon known as repeated bout effect (RBE) (JAMURTAS *et al.*, 2000; MARGINSON *et al.*, 2005; CORATELLA, CHEMELLO e SCHENA, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017).

Some studies suggest that muscle damage is required for RBE adaptation could occur, since it induces the expression of signaling pathways associated with protein synthesis and cell proliferation (MCHUGH *et al.*, 1999; PROSKE e MORGAN, 2001; HYLDAHL *et al.*, 2011; CORATELLA, CHEMELLO e SCHENA, 2015). However, EIMD may jeopardize training schedule, due to pain and temporary loss of performance. In order to attenuate sign and symptoms of EIMD, recovery methods are commonly used by athletes (MANCINELLI *et al.*, 2006; POURNOT *et al.*, 2011; BAHNERT, NORTON e LOCK, 2013; VERSEY, HALSON e DAWSON, 2013; HILL *et al.*, 2014; SANCHEZ-URENA, ROJAS-VALVERDE e GUTIERREZ-VARGAS, 2018). Although, the application of recovery strategies, such as cold water immersion, seemed not to have effects on exercise adaptation (ROBERTS *et al.*, 2015; YAMANE, OHNISHI e MATSUMOTO, 2015; DE FREITAS *et al.*, 2017). Some studies demonstrated that chronic exposure to cold water immersion blunt performance gains and the transcriptional pathways associated with adaptation to strength training (ROBERTS *et al.*, 2015; YAMANE, OHNISHI e MATSUMOTO, 2015).

Recently, some evidence suggest that phototherapy may have beneficial effects in athletic performance, reducing EIMD (NAMPO *et al.*, 2016a; NAMPO *et al.*, 2016b). The method may be useful for accelerating recovery and improving tissue adaptation (DOURIS *et al.*, 2006; BORSA, LARKIN e TRUE, 2013; NAMPO *et al.*, 2016b; HAMBLIN, 2017). This therapeutic modality uses low level light irradiation with wavelengths ranging from red to near infrared spectrum to stimulate tissue repair and downmodulate inflammatory reactions and pain (BAROLET, 2008; SERAFIM *et al.*, 2012; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014; MIGLIARIO *et al.*, 2018). The light interacts with living tissues, stimulating the production of ATP and generating anti-inflammatory, anti-oxidant and analgesic effects (HUANG *et al.*, 2009; HAMBLIN, 2018; MIGLIARIO *et al.*, 2018). It also induce cell proliferation and extracellular matrix synthesis (KARU e PYATIBRAT, 2011; PASSARELLA e KARU, 2014; HAMBLIN, 2017). Animal and clinical studies demonstrated that phototherapy can avoid EIMD after strength and aerobic intense exercises (LIU *et al.*, 2009; CAMARGO *et al.*, 2012; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014; NAMPO *et al.*, 2016b; DE MARCHI *et al.*, 2017a). A study investigating prevention of muscle inflammation and edema after a set of plyometric jumps, demonstrated a reduced echo intensity values into quadriceps muscles treated with infrared irradiation, suggesting an anti-inflammatory effect in a EIMD protocol (FRITSCH *et al.*, 2016). However, considering the concept that EIMD are necessary to induce RBE, it is necessary to investigate if applying phototherapy before an EIMD protocol, such as plyometric exercise, will not jeopardize the adaptation to RBE. Therefore, this study had two objectives: a) to verify the effects of two different wavelengths of phototherapy (630 nm and 940 nm) on the inhibition of exercise-induced muscle damage following plyometric jump exercise; b) determine whether inhibition of muscle damage might affect RBE. This study hypothesis was that phototherapy exerts a protective effect on the muscle, without interfering in the process of adaptation to repeated exercise.

## **Material and Methods**

### *Experimental approach to the problem*

The plyometric exercise, employing 100 repetitions of drop jump, was used to induce EIMD since it has proven to cause muscle damage and the RBE. In this work,

we selected subjects that were not familiarized with plyometric training during their habitual physical training, in order to impose an unaccustomed physical challenge with faster shortening-stretching contraction cycles. Three groups of subjects were evaluated for a control treatment and two wavelengths of irradiation, suggested as appropriated to be used as exercise recovery method. To evaluate the degree of loss of function elicited by the plyometric exercise, we employed the countermovement (CMJ) and squat jumps (SJ) in order to evaluate the decrements in force generation during concentric contraction and elastic energy storage. To evaluate the inflammatory process and identify clinical signs of EIMD, it was recorded the DOMS and circulating CK levels (a marker of muscle damage). The subjects were evaluated before the plyometric exercise protocol, immediately after, then at 24 h, 48 h and 72 h. The subjects were submitted to the same plyometric exercise, without application of any recovery method, after two weeks and the signs and symptoms of EIMD were again evaluated. The study design allowed the authors to determine the efficacy of two different wavelengths for irradiation protocols as a recovery method and the impact of phototherapy in the RBE adaptation.

### *Subjects*

A minimum of 5 subjects should be included in each study group to reach 80% of statistical power and a type I error up to 5%. Considering possible losses of subjects or samples from the first to second bout of exercise, it was included 10 volunteers per study group. Therefore, the study included 30 men, aged between 18 and 35 years, leucodermic, and unaccustomed to perform plyometric exercises in their usual training. Participants were also required to have at least 6 months of experience with resistance training (ACSM, 2006), which call for 150 minutes of moderate physical activity per week. Individuals who used nutritional supplements or anti-inflammatory drugs, with musculoskeletal injuries that could impair jumping performance were excluded from the study. The volunteers were informed about the procedures and signed the Informed Consent Form. The study was approved by the Committee of Ethics in Research involving human beings from the State University of Londrina (n. 2.650.252).

The subjects were randomly allocated into 3 experimental groups, by random drawing using opaque envelopes:

- LEDT 630: phototherapy using a 630 nm light-emitting diode (LEDT).
- LEDT 940: phototherapy using a 940 nm LEDT.
- Control: subjects were exposed to a commercial LEDT equipment turned off.

One subjects from the Control group did not performed the second bout of exercise and was excluded from the study. Subjects characteristics are described in table 3. No differences in age, height and weight were observed between groups.

**Table 3** – Subjects' characteristics in Groups LEDT 630, LEDT 940 and Control.

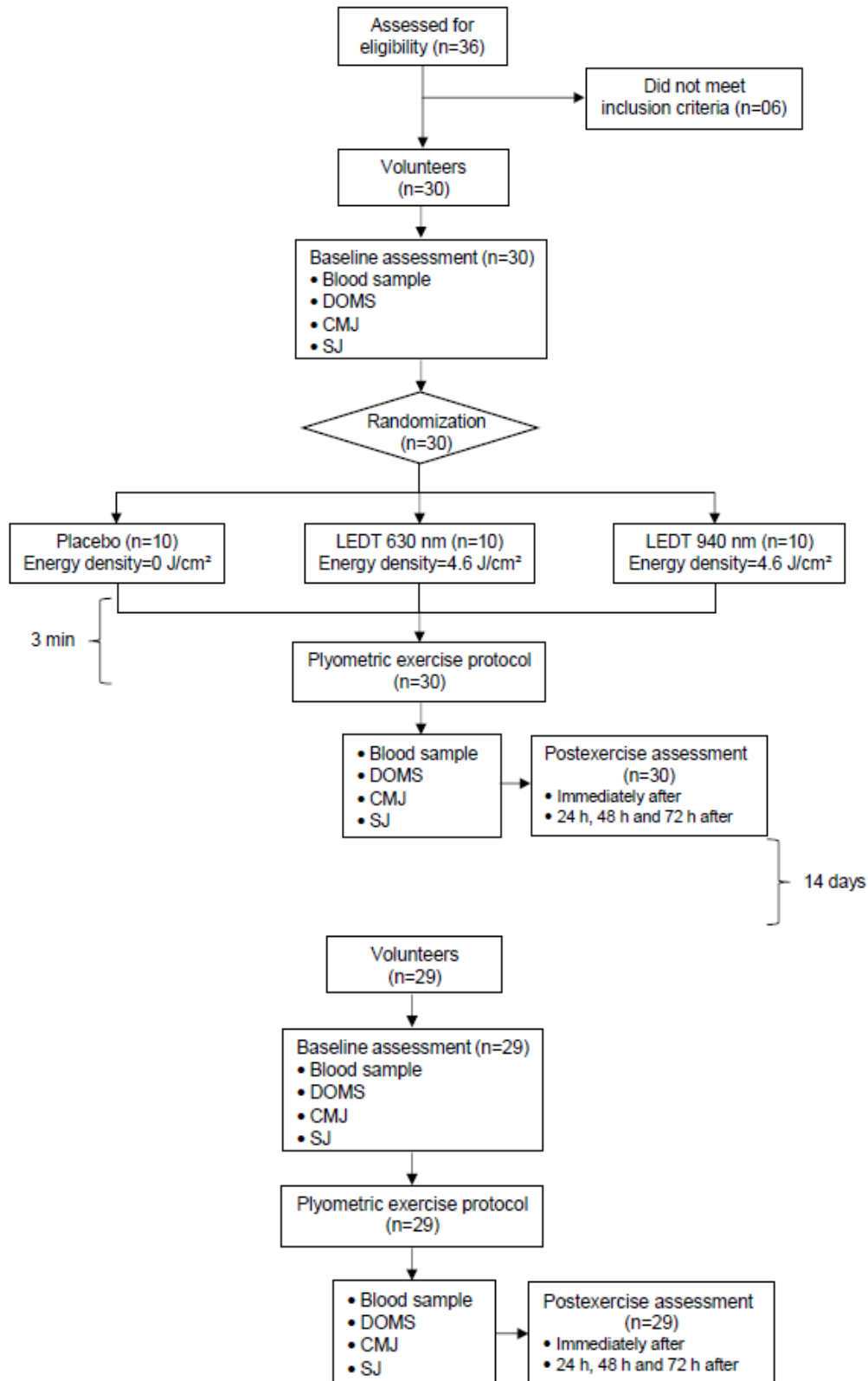
Variables	LEDT 630 (n=10)	LEDT 940 (n=10)	Control (n=09)
Age (years)	24.81 ± 4.37	24.09 ± 4.51	24.92 ± 6.33
Weight (kg)	79.01 ± 8.56	68.1 ± 11.2	78.76 ± 15.44
Height (cm)	176.5 ± 6.38	173.6 ± 5.58	174.8 ± 7.06

Mean ± standard deviation,  $P > 0.05$ , ANOVA one-way test.

### *Experimental design*

The present study was a randomized, double-blind, controlled study. The subjects were instructed to not perform any intense physical training or to ingest alcohol beverages, nutritional supplements and caffeine within 72 h that preceded and thorough the experiment. Venous blood collections, DOMS, CMJ and SJ tests were performed before the plyometric exercise sessions, immediately after, 24 h, 48 h and 72 h. The phototherapy or control treatments were administered immediately before the exercise protocol. After 14 days, the experiment was replicates, however, without the application of phototherapy (figure 6).

**Figure 6** – A schematic summary of the study design.

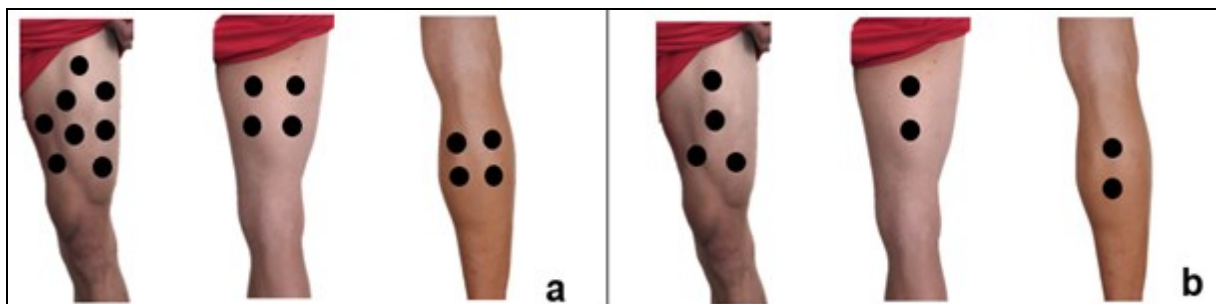


### *Plyometric exercise protocol*

After familiarization with the test, the subjects were encouraged to perform 5 sets of 20 drop jumping on a 50 cm raised platform (Sparta Gym, Itajaí, Brazil), within 2 min interval between the sets. The plyometric exercise protocol started with the subject on the box from which he should jump (drop) with his hands on his waist, both feet should touch the ground at the same time. As soon as he touched the ground, the subject should bend his knees to about  $90^{\circ}$  and jump as high as possible with the legs stretched out. In each leap, the leg to climb on the box was alternated.

### *Phototherapy with light-emitting diodes (LEDT)*

Phototherapy with light-emitting diodes (LEDT) was performed only on the first day of the experiment, immediately before the plyometric exercise session. The red-light Bios Therapy II equipment (Bios medical equipments, São José dos Campos, Brazil), with a wavelength of 630 nm was used in the LEDT 630 group. The irradiation was applied in 16 points of each lower limb (figure 7a), with 20 s of application per point. For LEDT 940 nm group, a custom-made infrared probe developed by the Laboratory of Optics and Optoelectronics (Laboratory of Optics and Optoelectronics of the State University of Londrina, Londrina, Brazil) was irradiated on 8 points of each lower limb (figure 7b), with 102 s of application per point. The control group was placed in same conditions of experimental groups and a commercial probe was placed in the same points of LEDT 940 nm group, but with the equipment turned off. The irradiation parameters are described in table 4. Subjects wore opaque glasses and ear phones to not identify which treatment were applied. The operator did not take place in any stage of data sampling and analysis.



**Figure 7** – Application points (black circles). a) LEDT 630 nm Group. b) LEDT 940 nm Group and Control Group.

**Table 4** – Phototherapy dosimetry.

<b>Parameters</b>		
	LEDT 630 nm	LEDT 940 nm
Wavelengths	LEDT 630 nm	LEDT 940 nm
LEDT frequency	Continuous	Continuous
Output power	300 mW	140 mW
Spot size area	1.32 cm <sup>2</sup>	3.1 cm <sup>2</sup>
Power density	230 mW/cm <sup>2</sup>	45 mW/cm <sup>2</sup>
Dose	6 J per point	14.28 J per point
Total energy per limb	97.1 J	114 J
Number of points	16	8
Irradiation area	21.12 cm <sup>2</sup>	24.8 cm <sup>2</sup>
Energy density	4.6 J/cm <sup>2</sup>	4.6 J/cm <sup>2</sup>
Irradiation time per point	20 s	102 s
Total irradiation time	320 s	816 s
Application mode	Stationary in skin contact	Stationary in skin contact

#### *Delayed onset muscle soreness (DOMS)*

Muscle soreness were recorded before the plyometric exercise protocol, immediately after, 24 h, 48 h and 72 h, using Cook's scale (COOK *et al.*, 1998). The subjects were instructed to perform a squat with their body weight of approximately 90° and they should inform the perceived pain value.

### *Serum creatine quinase (CK)*

A 5 ml of venous blood was collected from the antecubital vein using venous puncture technique in non-heparinized Vacutainer® (BD Biosciences of Brazil, Curitiba, Brazil) tubes. The samples were centrifuged at 4000g for 4 min at 4 °C and the blood serum was separated and frozen at -20 °C. The determination of CK concentration was performed in an automated biochemical system (Dimension XLD, Siemens, Munich, Germany), using commercial kits accordingly to fabricant's instructions.

### *Countermovement jump (CMJ) and squat jump (SJ)*

After a standardized warm-up, the participants performed 3 CMJ and 3 SJ, with 10 s intervals. All attempts were performed on a contact mat connected to a computer software (Jump System Pro, CEFISE, Nova Odessa, São Paulo). They were instructed to keep their hands on their waist during the jumps. CMJ was performed with 0 to 90° countermovement of the knee angle, while SJ started from the static position from 90° of the knee angle (KOMI e BOSCO, 1978; BOSCO, LUHTANEN e KOMI, 1983). The best jump was used for statistical purposes.

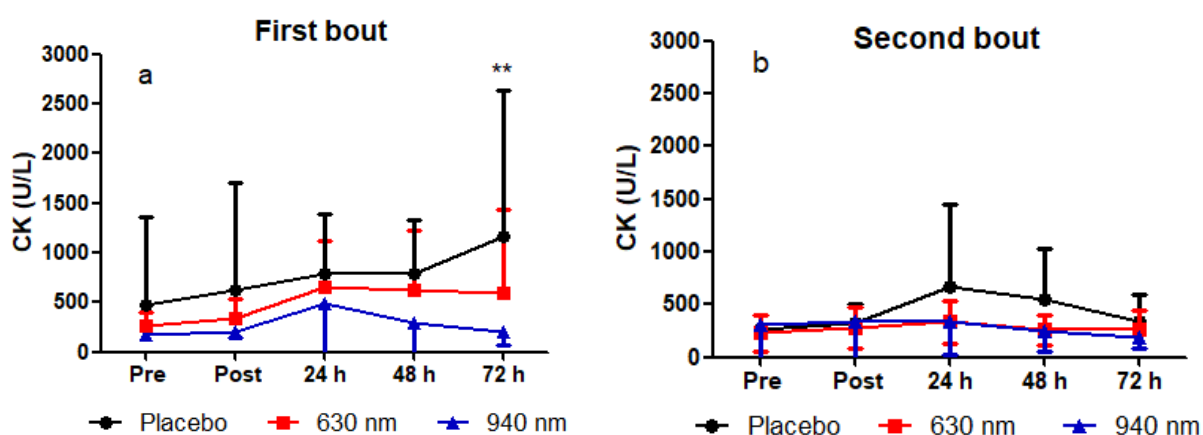
### *Statistical analyses*

The data distribution was tested with Kolmogorov-Smirnov test with Dall-Wilkinson-Lilliefors adjust. Intra-group differences were detected using repeated measure ANOVA and Tukey tests, or Friedman and Dunn tests. Inter-group differences at different times were detected by one-way ANOVA with Tukey test or Kruskal-Wallis and Dunn tests. The sphericity of data was analyzed by Mauchly's test with Greenhouse-Geisser correction. Effects of treatment and time were evaluated using two-way ANOVA. Differences were considered significant if  $P < 0.05$ . The data analysis was performed with GraphPad Prism software version 5.01 (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA).

## Results

Twenty-four hours after the first bout (figure 8a), Control (median: 555, interquartile 25 to 75% range: 398 to 716.5 U/L,  $P < 0.005$ ), LEDT 630 nm (490.5, 353.8 to 1098 U/L,  $P < 0.005$ ) and LEDT 940 nm (291.5, 234 to 344.8 U/L,  $P < 0.005$ ) increase median serum levels of CK in relation to Pre values (Dunn's test). At 48 h (figure 8a), Control (638, 278 to 1340 U/L,  $P < 0.01$ ) and LEDT 630 nm (304.4, 242 to 1049 U/L,  $P < 0.05$ ) groups still presented increased levels of CK in relation to Pre values (Dunn's test). At 72 h (figure 8a), Control (653, 275.5 to 2333 U/L,  $P < 0.05$ ) group presented higher levels of serum CK in relation to Pre values (Dunn's test). The two-way ANOVA revealed an interaction effect only for time ( $F = 6.78$ ;  $P = 0.001$ ) in CK levels. At 72 h, the median CK levels were significantly increased in Control group in relation to LEDT 940 nm group ( $P < 0.01$ , Dunn's test, figure 8a).

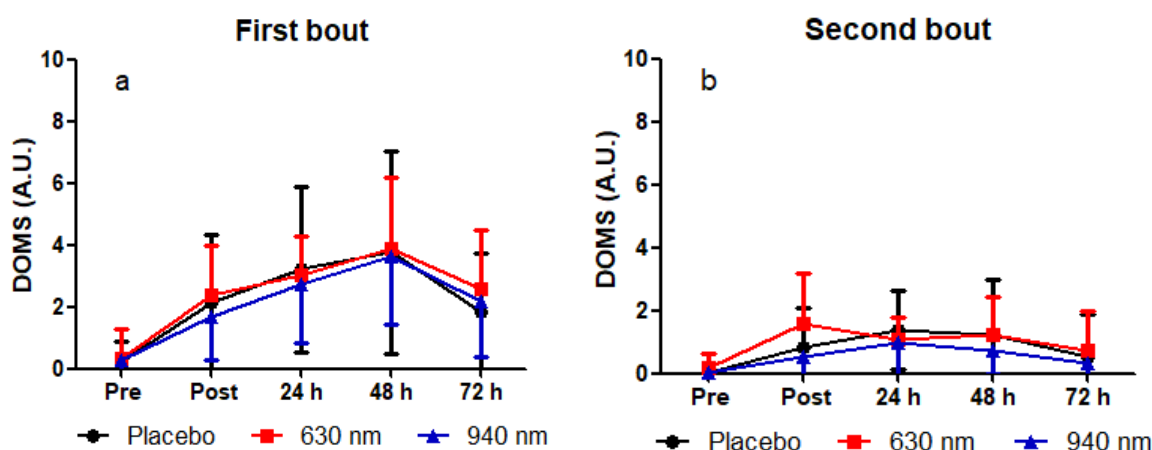
Twenty-four hours after the second bout (figure 8b), Control group (392, 229 to 928.5 U/L,  $P < 0.05$ ) increased median levels of CK in relation to Pre values (Dunn's test). At 48 h (figure 8b), median CK levels were still elevated in Control group (326, 174 to 921 U/L,  $P < 0.05$ , Dunn's test). No effect for time ( $F = 1.26$ ;  $P = 0.27$ , two-way ANOVA) and treatment ( $F = 1.10$ ;  $P = 0.34$ , two-way ANOVA) were observed in the second bout of exercise (figure 8b).



**Figure 8. Mean (standard deviation) levels of creatine kinase in subjects submitted to plyometric jump.** a) First bout of drop jumps. b) Second bout of drop jumps, 14 days after the first bout. \*\* $P < 0.01$ , Control x LEDT 940 nm (Dunn's test).

No effect for time ( $F = 0.29$ ;  $P = 0.96$ ) and treatment ( $F = 0.13$ ;  $P = 0.97$ ) were observed in the first bout of exercise (two-way ANOVA, figure 9a). DOMS were

attenuated in all groups in the second bout of exercise (figure 9b). A small increase in DOMS were detected in Control (1, 0.5 to 2 A.U,  $P=0.05$ ) group after 24 h and LEDT 630 nm (0.7, 0.3 to 2.2 A.U,  $P=0.05$ ) group after 48 h (Dunn's test, figure 9b) in relation to Pre values. No effect for time ( $F=0.47$ ;  $P=0.87$ ) and treatment ( $F=2.20$ ;  $P=0.11$ ) were observed in the second bout of exercise in DOMS scale (two-way ANOVA, figure 9b).



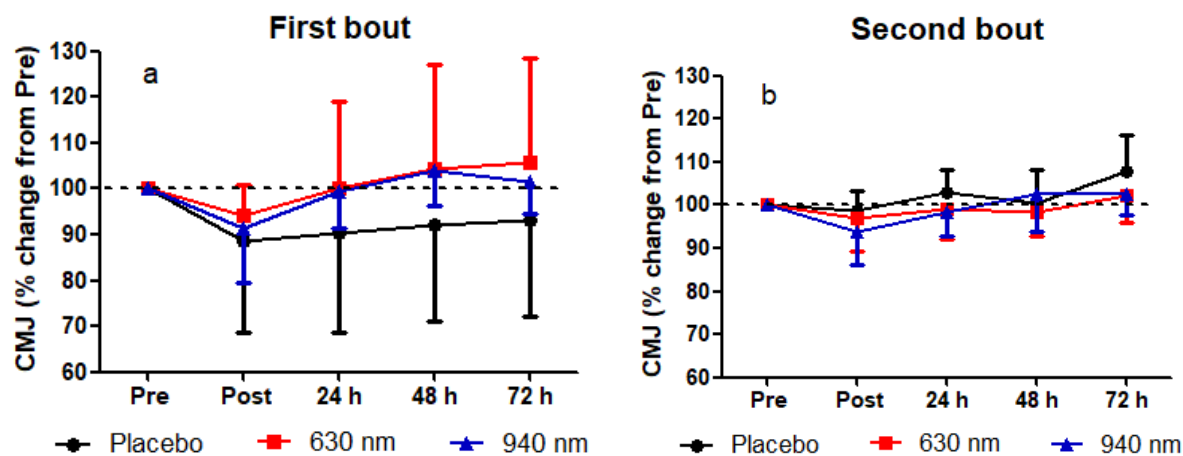
**Figure 9.** Mean (standard deviation) levels of delayed onset muscle soreness in Pre, Post, after 24 h, 48 h and 72 h in subjects submitted to plyometric jump. a) First bout of drop jumps. b) Second bout of drop jumps, 14 days after the first bout.

The CMJ and SJ performances were normalized by percentual changes from Pre values (figure 10 and 11).

The LEDT 630 nm group presented a reduction in CMJ performance (92.13, 88.62 to 100.2%,  $P<0.05$ , Dunn's test) immediately after plyometric exercise (figure 10a). LEDT 940 nm (97.37, 86.97 to 98.95%,  $P>0.05$ ) and Control (92.41, 72.94 to 102.9%,  $P>0.05$ , Friedman test) presented non-significant decrements in jump performance (figure 10a). At 24 h, LEDT 630 nm (96.95, 88.26 to 101.8%,  $P>0.05$ , Dunn's test) and LEDT 940 nm (99.72, 94.60 to 106.5%,  $P>0.05$ , Dunn's test) returned to values close to Pre values, whereas control group was still lower than Pre values up to 72 h (figure 10a). However, it was not detected effects for time ( $F=0.94$ ,  $P=0.48$ , two-way ANOVA) and treatment interactions ( $F=1.09$ ,  $P=0.34$ , two-way ANOVA) in the first bout of exercise (figure 10a).

No differences between groups were observed in the second bout of plyometric exercise (figure 10b). No effect for time ( $F=1.45$ ,  $P=0.18$ , two-way

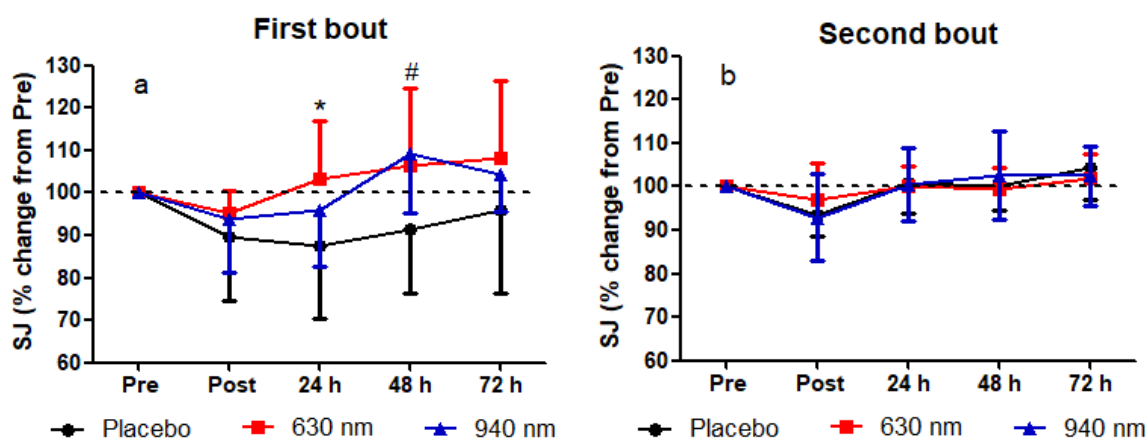
ANOVA) and treatment ( $F=1.34$ ,  $P=0.28$ , two-way ANOVA) was observed in the second bout of exercise for percentage change in CMJ (figure 10b).



**Figure 10.** Mean (standard deviation) levels of countermovement jump in Pre, Post, after 24 h, 48 h and 72 h in subjects submitted to plyometric jump. a) First bout of drop jump. b) Second bout of drop jump, 14 days after the first bout.

The SJ performance was not significantly reduced at Post in all groups (figure 11a). However, at 24 h, LEDT 630 nm (102.7, 97.22 to 106.9%) presented SJ performance significantly higher than Control (90.65, 73.62 to 100.6%,  $P<0.05$ ) group. At 48 h, LEDT 940 nm (106.2, 101.6 to 115.0%,  $P<0.05$ ) presented higher SJ performance in relation to Control (97.93, 83.24 to 100.7%,  $P<0.05$ , Dunn's test). The two-way ANOVA revealed an interaction effect only for treatment ( $F=7.12$ ,  $P=0.001$ ) for percentage change in SJ (figure 11a).

After the second bout of exercise, only Control group decreased significantly jump performance ( $93.65 \pm 5.01\%$ ,  $P<0.05$ , Tukey's test) in relation to Pre values. No differences over time were observed in LEDT 630 nm and 940 nm groups ( $P>0.05$ , Friedman test) (figure 11b). The two-way ANOVA revealed no interaction effect for time ( $F=0.52$ ,  $P=0.84$ ) and treatment ( $F=0.01$ ,  $P=0.99$ ) in second bout (Figure 11b).



**Figure 11.** Mean (standard deviation) levels of squat jump in Pre, Post, after 24 h, 48 h and 72 h in subjects submitted to plyometric jump. a) First bout of drop jump. b) Second bout of drop jump, 14 days after the first bout. \* $P < 0.05$  LEDT 630 nm x Control; # $P < 0.05$  LEDT 940 nm x Control (Dunn's test).

## Discussion

The main finding of this study is that phototherapy with red (630 nm) or near infrared (940 nm) wavelengths did not impair the adaptation to RBE and had protective effect on skeletal muscle, attenuating levels of circulating CK and performance impairment after the first session of plyometric exercise. In the second bout of exercise, values of CK, DOMS and loss of performance were attenuated, suggesting LED therapy did not inhibit RBE.

Serum CK concentration peaks after 24 to 48 h after a muscle damaging exercise, and can remain high up to 72 h (MIYAMA e NOSAKA, 2004; BRANCACCIO, MAFFULLI e LIMONGELLI, 2007; MAGAL *et al.*, 2010). Experimental and clinical trials with red and near infrared light have already demonstrated the reduction of CK levels after EIMD signs (BARONI *et al.*, 2010; SUSSAI *et al.*, 2010; BORSA, LARKIN e TRUE, 2013; FELISMINO *et al.*, 2014; NAMPO *et al.*, 2016b; ZAGATTO *et al.*, 2016; DE MARCHI *et al.*, 2017a; VASCONCELOS *et al.*, 2018), corroborating our findings. Some mechanisms that may explain the effect of phototherapy on muscle damage prevention include the reduction of inflammation, oxidative stress, cellular apoptosis, muscle necrosis, improved local microcirculation and improved ATP synthesis (RIZZI *et al.*, 2006; LIU *et al.*, 2009; FERRARESI, HAMBLIN e PARIZOTTO, 2012; FELISMINO *et al.*, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2016; VASCONCELOS *et al.*, 2018). At 72 h after the first bout,

serum CK activity was attenuated in LEDT 940 nm group compared to Control, which is aligned with other studies that used near infrared and combined red and infrared light in upper and lower limbs exercise (FELISMINO *et al.*, 2014; DE PAIVA *et al.*, 2016; DE MARCHI *et al.*, 2017a), suggesting that phototherapy is effective in attenuating muscle damage at 72 h. Although light optimally interacts with living tissue in wavelengths between 600 to 950 nm, in which there is lower scattering and absorption by the tissue chromophores, wavelengths between 780 nm to 950 nm have a greater penetration into tissue (HAMBLIN e DEMIDOVA, 2006; CHUNG *et al.*, 2012; DE FREITAS e HAMBLIN, 2016) inducing a more prominent effect on muscle protection by near infrared irradiation.

The EIMD is accompanied by DOMS, which might be caused by swelling, inflammation and increase noxious substances (CLARKSON e HUBAL, 2002). DOMS peak occurs between 24 h and 48 h after exercise (CLARKSON e HUBAL, 2002; LAURITZEN *et al.*, 2009; BARSS *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018), returning to basal levels in 4 to 5 days (HOWATSON, VAN SOMEREN e HORTOBAGYI, 2007; CHEN *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018). No effect of LED therapy was observed in DOMS after the first bout, although the second bout demonstrated RBE for this parameter. Indeed, a previous experimental study of our group revealed a reduced pain threshold when 630 nm light was applied after a bout of damaging exercise (VASCONCELOS *et al.*, 2018). Although we applied the same energy density in the present study, we could not detect any clinical effect on DOMS. Different from the animal study, we wonder that we could not disperse the same amount of energy in the entire human muscle, so the effects on pain may be limited at the energy dose employed here.

Although some research has already reported positive effect of phototherapy on the reduction of DOMS (BJORDAL *et al.*, 2006; DOURIS *et al.*, 2006; BORGES *et al.*, 2014; DE PAIVA *et al.*, 2016; DE MARCHI *et al.*, 2017b), these studies applied an energy density above ( $5.1 \text{ J/cm}^2$  to  $8 \text{ J/cm}^2$ ) that applied in our study ( $4.6 \text{ J/cm}^2$ ). Other studies that applied pre-exercise treatment also did not find reduction in DOMS symptoms (GLASGOW *et al.*, 2001; BARONI *et al.*, 2010; AVER VANIN *et al.*, 2016). Aver Vanin *et al.* (AVER VANIN *et al.*, 2016) applied higher densities of energy ( $54.95 \text{ J/cm}^2$ ,  $164.84 \text{ J/cm}^2$  and  $274.73 \text{ J/cm}^2$ ), while (GLASGOW *et al.*, 2001) used an energy density of  $3 \text{ J/cm}^2$ , without clinical attenuation of DOMS. Indeed, a systematic review by Nampo *et al.* (2016b), found a low efficacy of phototherapy on

DOMS, due to small number of studies and an heterogeneity in irradiation parameters. Since some variables such as dose, wavelength, irradiation area, irradiation time, application mode (pulsed or continuous), and power density are not yet fully understood and can influence the magnitude of the effects and cause divergence in results (ENWEMEKA, 2009; ALVES *et al.*, 2014; BORGES *et al.*, 2014; COTLER *et al.*, 2015; FERRARESI, HUANG e HAMBLIN, 2016). Further studies were necessary to identify a dose of energy more efficient to attenuate DOMS symptoms in human tissues.

The temporary loss of muscle strength after eccentric exercise has being suggested to be a reliable indicator of EIMD (WARREN, LOWE e ARMSTRONG, 1999; CLARKSON e HUBAL, 2002; SKURVYDAS *et al.*, 2011). Studies with plyometric exercise had the CMJ and SJ values deteriorated up to 72 h (MARGINSON *et al.*, 2005; CHATZINIKOLAOU *et al.*, 2010; SKURVYDAS *et al.*, 2011). The strength loss after eccentric contractions is caused by sarcomere structural disruption, excitation-contraction coupling failure, disturbed ion transport and inflammation (CLARKSON e HUBAL, 2002; MCHUGH, 2003; NAUGHTON, MILLER e SLATER, 2017). The application of red and near-infrared phototherapy contributes to increase the activity of the cytochrome c oxidase enzyme and the transport of electrons through mitochondrial respiratory chain, increasing ATP synthesis (KARU e KOLYAKOV, 2005; HUANG *et al.*, 2009). The secondary effects modulates positively the antioxidant activity (RIBEIRO *et al.*, 2016) and increases local microcirculation (IHSAN, 2005). Thus, it reduces oxidative stress and inflammation (VLADIMIROV, OSIPOV e KLEBANOV, 2004; DE ALMEIDA *et al.*, 2011; DE ALMEIDA *et al.*, 2014; AVER VANIN *et al.*, 2016), reducing secondary damage of muscle fibers, and reducing time to recovery after exercise (CAMARGO *et al.*, 2012; ALVES *et al.*, 2014; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014). The literature highlights that phototherapy using near infrared irradiation was also effective in attenuating the reduction of maximal voluntary contraction (BARONI *et al.*, 2010) and peak torque after eccentric exercise (DE OLIVEIRA *et al.*, 2017). Similar results were found with red light, preventing loss of muscle strength and range of motion after exercise on elbow flexor muscles (BORGES *et al.*, 2014). At 24 h after first bout exercise, there was a significant difference between LEDT 630 nm and Control group in SJ. Whereas after 48 h, the difference was found between LEDT 940 nm and

Control group. Thus, the results indicate that LEDT has protective effect on the loss of strength after exercise.

Despite of a protective effect against EIMD, phototherapy did not have negative impacts on RBE. Neural and local adaptations may account for the adaptation to RBE (MCHUGH *et al.*, 1999; CLARKSON e HUBAL, 2002; MCHUGH, 2003; HOWATSON, VAN SOMEREN e HORTOBAGYI, 2007; NOSAKA e AOKI, 2011; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015; NAUGHTON, MILLER e SLATER, 2017). Neural adaptation to a first bout of eccentric exercise induces a more efficient recruitment of motor units, increased recruitment of fast twitch muscle fibers, motor unit synchrony (MCHUGH *et al.*, 1999; HOWATSON, VAN SOMEREN e HORTOBAGYI, 2007; NOSAKA e AOKI, 2011; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015), better distribution of the workload between the muscle fibers and improved use of synergetic muscle during exercise (NOSAKA e AOKI, 2011). In this way, the mechanical overload on a second bout of exercise decrease the mechanical overload on muscle fibers. This type of adaptation may not be influenced by phototherapy in the present study, since LED therapy was not applied on the second bout. However, phototherapy appears to increase muscle fiber recruitment during exercise, as observed by electromyographic analysis (TOMA *et al.*, 2018) and may accounted for reduced muscle damage during the first exercise bout. Curiously, the protective effects were more evident in CMJ test. Whereas SJ account with no elastic force storage, i.e. less involvement of connective tissue to generate force, it resembled the damage to muscle fibers stretched by mechanical loads. On the other hand, most of inflammatory reaction occurs into connective tissue matrix, and its disruption may jeopardize CMJ performance. Considering that mechanical load may damage muscle fibers, but phototherapy efficiently decreased inflammatory reactions on perimysium (CAMARGO *et al.*, 2012; DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014; VASCONCELOS *et al.*, 2018), a faster recovery of CMJ performance may be expected.

Muscle damage occurs when the myofibrillar integrity is lost and non-contractile connective tissue elements are disrupted. With the subsequent exercise session, it is also suggested that there is a remodeling of intermediate filaments (titin and desmin) to strengthen the sarcomere structure and a remodeling of connective tissue matrix, turning muscle more resistant to mechanical challenge (MCHUGH *et al.*, 1999; MCHUGH, 2003; NOSAKA e AOKI, 2011; BRIDGEMAN, MCGUIGAN e GILL, 2015; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). The phototherapy presents

important effects on protein synthesis, matrix remodeling and cell proliferation (KARU e PYATIBRAT, 2011; PASSARELLA e KARU, 2014; HAMBLIN, 2017). These effects may accelerate tissue repair but could also improve adaptation to RBE. Although the present study suggested a faster physical recovery in irradiated groups, no treatment effect were detect on capacity to generate force and store elastic energy on connective matrix in SJ and CMJ after the second exercise bout.

A blunt in inflammatory cell infiltration into muscle was observed after the second bout of exercise (PEAKE, NOSAKA e SUZUKI, 2005; HUBAL *et al.*, 2008; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). It is not clear if the immune response is modulated by RBE or the inflammatory response were blunted by a lower degree of damage to muscle components (HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). Nevertheless, phototherapy can inhibit inflammatory infiltration and muscle necrosis after a bout of muscle damaging exercise (CAMARGO *et al.*, 2012; VASCONCELOS *et al.*, 2018) probably decreasing the initial sensitization of immune cells. It suggested that the inhibition of the inflammatory reaction after the first bout did not accounted for downmodulation of inflammatory reaction on the second bout.

A single bout of eccentric exercise bout may increase the expression of genes associated with the NF- $\kappa$ B inflammatory pathway, including genes for inflammatory cytokines, adhesion molecules and chemokines (HYLDAHL *et al.*, 2011; HYLDAHL, CHEN e NOSAKA, 2017). Application of phototherapy before exercise may increase in ATP production and low levels of reactive oxygen species, stimulating cellular proliferation and blocking activation of inflammatory pathways, such as NF- $\kappa$ B, (RIZZI *et al.*, 2006; HUANG *et al.*, 2009), without affecting the RBE adaptation.

Furthermore, phototherapy is a feasible non-pharmacological agent for the treatment of musculoskeletal injuries, non-invasive, safe, easy to administer and without side effects (BORSA, LARKIN e TRUE, 2013; HAMBLIN, 2017). We concluded that phototherapy at 940 nm can attenuate CK release in 72 h and loss of performance in the SJ at 48 h after first bout. While LED 630 nm attenuated the loss performance in the SJ at 24 h after first bout of exercise.

## **Practical Applications**

To our knowledge, this is the first study to analyze the effects of LEDT on RBE. The results of this study confirm that LEDT should be incorporated to sport

training programs to reduce negative effects of lengthening contractions during sport activities and did not impair RBE. Further researches are needed to test effects chronic of LEDT during the recovery period after exercise and your protective effect on skeletal muscle.

### **Acknowledgments**

The authors would like to thank Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES-Brazil) for funding study grants to SP (grant n. 1798841/2018) and ACZ (grant n. 1763037/2017), and Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FAADCT-Brazil) for funding study grant to JCMC (grant n. 88882.168352/2018-1). TRA received scholarship grant from 146644/2018-2 (CNPq). The authors declare that they have no financial or other interest concerning the content of this paper.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo encontrou efeitos positivos da fototerapia de espectro vermelho (630 nm) e infravermelho próximo (940 nm) na adaptação ao exercício, ao não prejudicar o EER. Além disso, na primeira sessão de exercício, o LED 940 nm atenuou os níveis de CK, enquanto o LED 630 nm e 940 nm atenuaram a perda de desempenho no SVA. Esses resultados encorajam o uso do LED em programas de treinamento esportivo para reduzir os efeitos negativos das contrações que envolvam o ciclo alongamento-encurtamento e não prejudicar o EER.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE-PONTES, G. M. *et al.* . Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of low-level laser therapy on cytochrome c oxidase activity in intact skeletal muscle of rats. **Lasers Med Sci**, v. 30, n. 1, p. 59-66, 2015.

ALVES, A. N. *et al.* . Effects of low-level laser therapy on skeletal muscle repair: a systematic review. **Am J Phys Med Rehabil**, v. 93, n. 12, p. 1073-85, 2014.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. Baltimore: 2006.

AVER VANIN, A. *et al.* . Pre-exercise infrared low-level laser therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans, what is the optimal dose? a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Photomed Laser Surg**, v. 34, n. 10, p. 473-482, 2016.

BAHNERT, A.; NORTON, K.; LOCK, P. Association between post-game recovery protocols, physical and perceived recovery, and performance in elite Australian Football League players. **J Sci Med Sport**, v. 16, n. 2, p. 151-6, 2013.

BAROLET, D. Light-emitting diodes (LEDs) in dermatology. **Semin Cutan Med Surg**, v. 27, n. 4, p. 227-38, 2008.

BARONI, B. M. *et al.* . Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 110, n. 4, p. 789-96, 2010.

BARSS, T. S. *et al.* . Velocity-specific strength recovery after a second bout of eccentric exercise. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 2, p. 339-349, 2014.

BAUMERT, P. *et al.* . Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing. **Eur J Appl Physiol**, v. 116, n. 9, p. 1595-625, 2016.

BJORDAL, J. M. *et al.* . Low-level laser therapy in acute pain: a systematic review of possible mechanisms of action and clinical effects in randomized placebo-controlled trials. **Photomed Laser Surg**, v. 24, n. 2, p. 158-168, 2006.

BONDESEN, B. A. *et al.* . The COX-2 pathway is essential during early stages of skeletal muscle regeneration. **Am J Physiol Cell Physiol**, v. 287, n. 2, p. C475-83, 2004.

BORGES, L. S. *et al.* . Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. **Lasers Med Sci**, v. 29, n. 3, p. 1139-44, 2014.

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

BOSCO, C.; LUHTANEN, P.; KOMI, P. V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. **Eur J Appl Physiol**, v. 50, p. 273-282, 1983.

BRANCACCIO, P.; MAFFULLI, N.; LIMONGELLI, F. M. Creatine kinase monitoring in sport medicine. **Br Med Bull**, v. 81-82, p. 209-30, 2007.

BRIDGEMAN, L. A. *et al.* . The effect of exercise-induced muscle damage after a bout of accentuated eccentric load drop jumps and the repeated bout effect. **J Strength Cond Res**, v. 31, n. 2, p. 386-394, 2017.

BRIDGEMAN, L. A.; MCGUIGAN, M. R.; GILL, N. D. Eccentric exercise, exercise induced muscle damage and the repeated bout effect: a brief review. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 3, p. 74-84, 2015.

CAMARGO, M. Z. *et al.* . Effects of light emitting diode (LED) therapy and cold water immersion therapy on exercise-induced muscle damage in rats. **Lasers Med Sci**, v. 27, n. 5, p. 1051-8, 2012.

CASALECHI, H. L. *et al.* . The effects of low-level light emitting diode on the repair process of achilles tendon therapy in rats. **Lasers Med Sci**, v. 24, n. 4, p. 659-65, 2009.

CHATZINIKOLAOU, A. *et al.* . Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. **J Strength Cond Res**, v. 24, n. 5, p. 1389-1398, 2010.

CHAZAUD, B. Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: application to exercise-induced muscle damage management. **Immunol Cell Biol**, v. 94, n. 2, p. 140-5, 2015.

CHEN, T. C. *et al.* . Contralateral repeated bout effect of eccentric exercise of the elbow flexors. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 10, p. 2030-9, 2016.

CHEN, T. C. *et al.* . Contralateral repeated bout effect of the knee flexors. **Med Sci Sports Exerc**, v. 50, n. 3, p. 542-550, 2018.

CHEN, T. C. *et al.* . Damage and the repeated bout effect of arm, leg and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. **Scand J Med Sci Sports**, 2019.

CHUNG, H. *et al.* . The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. **Ann Biomed Eng**, v. 40, n. 2, p. 516-33, 2012.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-induced muscle damage in humans. **Am J Phys Med Rehabil**, v. 81, n. 11 Suppl, p. S52-69, 2002.

COOK, D. B. *et al.* . Sex differences in naturally occurring leg muscle pain and exertion during maximal cycle ergometry. **Int J Neurosci**, v. 95, n. 3, p. 183-202, 1998.

COOKE, M. B. *et al.* . Whey protein isolate attenuates strength decline after eccentrically-induced muscle damage in healthy individuals. **J Int Soc Sports Nutr**, v. 7, p. 30, 2010.

CORATELLA, G.; CHEMELLO, A.; SCHENA, F. Muscle damage and repeated bout effect induced by enhanced-eccentric squat exercise. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 56, n. 12, p. 1540-1546, 2015.

COTLER, H. B. *et al.* . The use of low level laser therapy (LLLT) or musculoskeletal pain. **MOJ Orthop Rheumatol**, v. 2, n. 5, 2015.

DA COSTA SANTOS, V. B. *et al.* . Cold water immersion or LED therapy after training sessions: effects on exercise-induced muscle damage and performance in rats. **Lasers Med Sci**, 2018.

DA COSTA SANTOS, V. B. *et al.* . LED therapy or cryotherapy between exercise intervals in Wistar rats: anti-inflammatory and ergogenic effects. **Lasers Med Sci**, v. 29, n. 2, p. 599-605, 2014.

DE ALMEIDA, P. *et al.* . Low-level laser therapy improves skeletal muscle performance, decreases skeletal muscle damage and modulates mRNA expression of COX-1 and COX-2 in a dose-dependent manner. **Photochem Photobiol**, v. 87, n. 5, p. 1159-63, 2011.

DE ALMEIDA, P. *et al.* . What is the best treatment to decrease pro-inflammatory cytokine release in acute skeletal muscle injury induced by trauma in rats: low-level laser therapy, diclofenac, or cryotherapy? **Lasers Med Sci**, v. 29, n. 2, p. 653-8, 2014.

DE FREITAS, L. F.; HAMBLIN, M. R. Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy. **IEEE J Sel Top Quantum Electron**, v. 22, n. 3, 2016.

DE FREITAS, V. H. *et al.* . Effect of cold water immersion performed on successive days on physical performance, muscle damage, and inflammatory, hormonal, and oxidative stress markers in volleyball players. **J Strength Cond Res**, 2017.

DE LIMA, L. C. R.; DENADAI, B. S. Efeito protetor após sessões de exercício excêntrico: comparação entre membros superiores e inferiores. **Motriz**, v. 17, n. 4, p. 738-747, 2011.

DE MARCHI, T. *et al.* . Phototherapy for improvement of performance and exercise recovery: Comparison of 3 commercially available devices. **J Athl Train**, v. 52, n. 5, p. 429-438, 2017a.

DE MARCHI, T. *et al.* . Does photobiomodulation therapy is better than cryotherapy in muscle recovery after a high-intensity exercise? A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Lasers Med Sci**, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2017b.

DE OLIVEIRA, A. R. *et al.* . Pre-exercise infrared photobiomodulation therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans: What is the optimal power output? **Photomed Laser Surg**, v. 35, n. 11, p. 595-603, 2017.

DE PAIVA, P. R. *et al.* . Photobiomodulation therapy (PBMT) and/or cryotherapy in skeletal muscle restitution, what is better? A randomized, double-blinded, placebo-controlled clinical trial. **Lasers Med Sci**, v. 31, n. 9, p. 1925-1933, 2016.

DOUGLAS, J. *et al.* . Chronic adaptations to eccentric training: a systematic review. **Sports Med**, v. 47, p. 917-941, 2017.

DOURIS, P. *et al.* . Effect of phototherapy on delayed onset muscle soreness. **Photomed Laser Surg**, v. 24, n. 3, p. 377-382, 2006.

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

FATOUROS, I. G.; JAMURTAS, A. Z. Insights into the molecular etiology of exercise-induced inflammation: opportunities for optimizing performance. **J Inflamm Res**, v. 9, p. 175-186, 2016.

FELISMINO, A. S. *et al.* . Effect of low-level laser therapy (808 nm) on markers of muscle damage: a randomized double-blind placebo-controlled trial. **Lasers Med Sci**, v. 29, n. 3, p. 933-8, 2014.

FERRARESI, C. *et al.* . Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. **Lasers Med Sci**, v. 30, n. 4, p. 1259-67, 2015.

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

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

FINDLEY, T.; CHAUDHRY, H.; DHAR, S. Transmission of muscle force to fascia during exercise. **J Bodyw Mov Ther**, v. 19, n. 1, p. 119-23, 2015.

FOSCHINI, D.; PRESTES, J.; CHARRO, M. A. Relação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum**, v. 9, n. 1, p. 101-106, 2007.

FRITSCH, C. G. *et al.* . Effects of low-level laser therapy applied before or after plyometric exercise on muscle damage markers: randomized, double-blind, placebo-controlled trial. **Lasers Med Sci**, v. 31, n. 9, p. 1935-1942, 2016.

GLASGOW, P. D. *et al.* . Low intensity monochromatic infrared therapy: a preliminary study of the effects of a novel treatment unit upon experimental muscle soreness. **Lasers Surg Med**, v. 28, p. 33-39, 2001.

GORIANOVAS, G. *et al.* . Repeated bout effect was more expressed in young adult males than in elderly males and boys. **Biomed Res Int**, v. 2013, p. 218970, 2013.

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

HAMBLIN, M. R. Mechanisms and mitochondrial redox signaling in photobiomodulation. **Photochem Photobiol**, v. 94, n. 2, p. 199-212, 2018.

HAMBLIN, M. R.; DEMIDOVA, T. N. Mechanisms of low level light therapy. **SPIE**, v. 6140, 2006.

HAYWORTH, C. R. *et al.* . In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. **Photochem Photobiol**, v. 86, n. 3, p. 673-680, 2010.

HEISKANEN, V.; HAMBLIN, M. R. Photobiomodulation: lasers vs. light emitting diodes? **Photochem Photobiol Sci**, v. 17, n. 8, p. 1003-1017, 2018.

HILL, J. *et al.* . Compression garments and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis. **Br J Sports Med**, v. 48, n. 18, p. 1340-6, 2014.

HOWATSON, G.; GOODALL, S.; VAN SOMEREN, K. A. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 105, n. 4, p. 615-21, 2009.

HOWATSON, G.; VAN SOMEREN, K.; HORTOBAGYI, T. Repeated bout effect after maximal eccentric exercise. **Int J Sports Med**, v. 28, n. 7, p. 557-63, 2007.

HOWATSON, G.; VAN SOMEREN, K. A. Evidence of a contralateral repeated bout effect after maximal eccentric contractions. **Eur J Appl Physiol**, v. 101, n. 2, p. 207-14, 2007.

HOWATSON, G.; VAN SOMEREN, K. A. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. **Sports Med**, v. 38, n. 6, p. 483-503, 2008.

HUANG, Y. Y. *et al.* . Biphasic dose response in low level light therapy. **Dose Response**, v. 7, n. 4, p. 358-83, 2009.

HUBAL, M. J. *et al.* . Inflammatory gene changes associated with the repeated-bout effect. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 294, p. 1628-1637, 2008.

HYLDAHL, R. D.; CHEN, T. C.; NOSAKA, K. Mechanisms and mediators of the skeletal muscle repeated bout effect. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 45, n. 1, p. 24-33, 2017.

HYLDAHL, R. D.; HUBAL, M. J. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. **Muscle Nerve**, v. 49, n. 2, p. 155-70, 2014.

HYLDAHL, R. D. *et al.* . Extracellular matrix remodeling and its contribution to protective adaptation following lengthening contractions in human muscle. **FASEB J**, v. 29, n. 7, p. 2894-904, 2015.

HYLDAHL, R. D. *et al.* . Activation of nuclear factor-kappaB following muscle eccentric contractions in humans is localized primarily to skeletal muscle-residing pericytes. **FASEB J**, v. 25, n. 9, p. 2956-66, 2011.

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

ISNER-HOROBETI, M.-E. *et al.* . Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. **Sports Med**, v. 43, p. 483-512, 2013.

JAMURTAS, A. Z. *et al.* . Effects of plyometric exercise on muscle soreness and plasma creatine kinase levels and its comparison with eccentric and concentric exercise. **J Strength Cond Res**, v. 14, n. 1, p. 68, 2000.

KANDA, K. *et al.* . Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. **EIR**, v. 19, p. 72-85, 2013.

KARALAKI, M. *et al.* . Muscle regeneration: cellular and molecular events. **In Vivo**, v. 23, p. 779-796, 2009.

KARU, T. Mitochondrial mechanisms of photobiomodulation in context of new data about multiple roles of ATP. **Photomed Laser Surg**, v. 28, n. 2, p. 159-60, 2010.

KARU, T. **Handbook of Photomedicine**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2014.

KARU, T.; KOLYAKOV, S. F. Exact action spectra for cellular responses relevant to phototherapy. **Photomed Laser Surg**, v. 23, n. 4, p. 355-361, 2005.

KARU, T.; PYATIBRAT, L. Gene expression under laser and light-emitting diodes radiation for modulation of cell adhesion: Possible applications for biotechnology. **IUBMB Life**, v. 63, n. 9, p. 747-53, 2011.

KJAER, M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. **Physiol Rev**, v. 84, p. 649-698, 2004.

KNEEBONE, W. J. Practical applications of low level laser therapy. **Pract Pain Manag**, v. 6, n. 8, p. 34-40, 2006.

KOCH, A. J.; R., P.; M., M. The creatine kinase to resistance exercise. **J Musculoskelet Neuronal Interact**, v. 14, n. 1, p. 68-77, 2014.

KOHNE, J. L.; ORMSBEE, M. J.; MCKUNE, A. J. Supplementation strategies to reduce muscle damage and improve recovery following exercise in females: a systematic review. **Sports (Basel)**, v. 4, n. 4, 2016.

KOMI, P. V.; BOSCO, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Med Sci Sports Exerc**, v. 10, n. 4, p. 261-265, 1978.

LAURITZEN, F. *et al.* . Gross ultrastructural changes and necrotic fiber segments in elbow flexor muscles after maximal voluntary eccentric action in humans. **J Appl Physiol**, v. 107, p. 1923-1934, 2009.

LEEDER, J. D. *et al.* . Recovery and adaptation from repeated intermittent-sprint exercise. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 9, n. 3, p. 489-96, 2014.

LIU, X.-G. *et al.* . Effects of low-level laser irradiation on rat skeletal muscle injury after eccentric exercise. **Photomed Laser Surg**, v. 27, n. 6, p. 863-870, 2009.

MACKEY, A. L. *et al.* . Sequenced response of extracellular matrix deadhesion and fibrotic regulators after muscle damage is involved in protection against future injury in human skeletal muscle. **FASEB J**, v. 25, n. 6, p. 1943-59, 2011.

MAGAL, M. *et al.* . Relationship between serum creatine kinase activity following exercise-induced muscle damage and muscle fibre composition. **J Sports Sci**, v. 28, n. 3, p. 257-66, 2010.

MANCINELLI, C. A. *et al.* . The effects of massage on delayed onset muscle soreness and physical performance in female collegiate athletes. **Phys Ther Sport**, v. 7, n. 1, p. 5-13, 2006.

MARGINSON, V. *et al.* . Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. **J Appl Physiol**, v. 99, p. 1174-1181, 2005.

MCHUGH, M. P. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. **Scand J Med Sci Sports**, v. 13, n. 1, p. 88-97, 2003.

MCHUGH, M. P. *et al.* . Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. **Sports Med**, v. 27, n. 3, p. 157-170, 1999.

MCKINNON, N. B.; GRAHAM, M. T.; TIIDUS, P. M. Effect of creatine supplementation on muscle damage and repair following eccentrically-induced damage to the elbow flexor muscles. **J Sports Sci Med**, v. 11, p. 653-659, 2012.

MIGLIARIO, M. *et al.* . Near infrared low-level laser therapy and cell proliferation: The emerging role of redox sensitive signal transduction pathways. **J Biophotonics**, p. e201800025, 2018.

MIYAMA, M.; NOSAKA, K. Muscle damage and soreness following repeated bouts of consecutive drop jumps. **Abv Exerc Sports Physiol**, v. 10, n. 3, p. 63-69, 2004.

NAMPO, F. K. *et al.* . Low-level phototherapy to improve exercise capacity and muscle performance: a systematic review and meta-analysis. **Lasers Med Sci**, v. 31, n. 9, p. 1957-1970, 2016a.

NAMPO, F. K. *et al.* . Effect of low-level phototherapy on delayed onset muscle soreness: a systematic review and meta-analysis. **Lasers Med Sci**, v. 31, n. 1, p. 165-77, 2016b.

NAUGHTON, M.; MILLER, J.; SLATER, G. J. Impact-induced muscle damage and contact sports: etiology, effects on neuromuscular function and recovery, and the modulating effects of adaptation and recovery strategies. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 13, n. 8, p. 962-969, 2017.

NOSAKA, K. **Skeletal muscle damage and repair**. United States of America: Human Kinetics, 2008. 337

NOSAKA, K.; AOKI, M. S. Repeated bout effect: research update and future perspective. **BrJB**, v. 5, n. 1, p. 5-15, 2011.

NOSAKA, K. *et al.* . How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 9, p. 1490-1495, 2001.

OWENS, D. J. *et al.* . Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? **Eur J Sport Sci**, p. 1-15, 2018.

PASSARELLA, S.; KARU, T. Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation. **J Photochem Photobiol B**, v. 140, p. 344-58, 2014.

PAULSEN, G. *et al.* . Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? **EIR**, v. 18, p. 42-96, 2012.

PEAKE, J. M. *et al.* . Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. **J Appl Physiol (1985)**, v. 122, n. 3, p. 559-570, 2017.

PEAKE, J. M.; NOSAKA, K.; SUZUKI, K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. **Exerc Immunol Rev**, v. 11, p. 64-85, 2005.

POURNOT, H. *et al.* . Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 7, p. 1287-95, 2011.

PROSKE, U.; ALLEN, T. J. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 33, n. 2, p. 98-104, 2005.

PROSKE, U.; MORGAN, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **J Physiol**, v. 537, n. 2, p. 333-345, 2001.

PURSLOW, P. P. Muscle fascia and force transmission. **J Bodyw Mov Ther**, v. 14, n. 4, p. 411-7, 2010.

RIBEIRO, B. G. *et al.* . Red and infrared low-level laser therapy prior to injury with or without administration after injury modulate oxidative stress during the muscle repair process. **PLoS One**, v. 11, n. 4, p. e0153618, 2016.

RIZZI, C. F. *et al.* . Effects of low-level laser therapy (LLLT) on the nuclear factor (NF)-kappaB signaling pathway in traumatized muscle. **Lasers Surg Med**, v. 38, n. 7, p. 704-13, 2006.

ROBERTS, L. A. *et al.* . Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. **J Physiol**, v. 593, n. 18, p. 4285-301, 2015.

SANCHEZ-URENA, B.; ROJAS-VALVERDE, D.; GUTIERREZ-VARGAS, R. Effectiveness of two cold water immersion protocols on neuromuscular function recovery: a tensiomyography study. **Front Physiol**, v. 9, p. 766, 2018.

SELLWOOD, K. L. *et al.* . Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. **Br J Sports Med**, v. 41, n. 6, p. 392-7, 2007.

SERAFIM, K. G. *et al.* . Effects of 940 nm light-emitting diode (led) on sciatic nerve regeneration in rats. **Lasers Med Sci**, v. 27, n. 1, p. 113-9, 2012.

SKURVYDAS, A. *et al.* . Predictive value of strength loss as an indicator of muscle damage across multiple drop jumps. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 36, p. 353-360, 2011.

SMITH, C. *et al.* . The inflammatory response to skeletal muscle injury. **Sports Med**, v. 38, n. 11, p. 947-969, 2008.

SOUSA, M.; TEIXEIRA, V. H.; SOARES, J. Dietary strategies to recover from exercise-induced muscle damage. **Int J Food Sci Nutr**, v. 65, n. 2, p. 151-63, 2014.

SUSSAI, D. A. *et al.* . Low-level laser therapy attenuates creatine kinase levels and apoptosis during forced swimming in rats. **Lasers Med Sci**, v. 25, n. 1, p. 115-20, 2010.

TOFAS, T. *et al.* . Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 2, p. 490-496, 2008.

TOMA, R. L. *et al.* . Photobiomodulation (PBM) therapy at 904 nm mitigates effects of exercise-induced skeletal muscle fatigue in young women. **Lasers Med Sci**, v. 33, n. 6, p. 1197-1205, 2018.

TORRES, R. *et al.* . Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. **Phys Ther Sport**, v. 13, n. 2, p. 101-14, 2012.

TSAI, S. R.; HAMBLIN, M. R. Biological effects and medical applications of infrared radiation. **J Photochem Photobiol B**, v. 170, p. 197-207, 2017.

URSO, M. L. Anti-inflammatory interventions and skeletal muscle injury: benefit or detriment? **J Appl Physiol (1985)**, v. 115, n. 6, p. 920-8, 2013.

VASCONCELOS, A. B. *et al.* . Modulation of exercise-induced muscular damage and hyperalgesia by different 630 nm doses of light-emitting diode therapy (LEDT) in rats. **Lasers Med Sci**, 2018.

VERSEY, N. G.; HALSON, S. L.; DAWSON, B. T. Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. **Sports Med**, v. 43, n. 11, p. 1101-30, 2013.

VLADIMIROV, Y. A.; OSIPOV, A. N.; KLEBANOV, G. I. Photobiological principles of therapeutic applications of laser radiation. **Biochemistry**, v. 69, n. 1, p. 81-90, 2004.

VOGT, M.; HOPPELER, H. H. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. **J Appl Physiol**, v. 116, p. 1446-1454, 2014.

WARREN, G. L.; LOWE, D. A.; ARMSTRONG, R. B. Measurement tools used in the study of eccentric contraction – induced injury. **Sports Med**, v. 27, n. 1, p. 43-69, 1999.

YAMANE, M.; OHNISHI, N.; MATSUMOTO, T. Does regular post-exercise cold application attenuate trained muscle adaptation? **Int J Sports Med**, v. 36, n. 8, p. 647-53, 2015.

YAMANE, M. *et al.* . Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. **Eur J Appl Physiol**, v. 96, n. 5, p. 572-80, 2006.

ZAGATTO, A. M. *et al.* . Effects of low-level laser therapy on performance, inflammatory markers, and muscle damage in young water polo athletes: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. **Lasers Med Sci**, v. 31, n. 3, p. 511-21, 2016.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

#### “Efeito da fototerapia na adaptação ao exercício repetido”

Prezado Senhor:

Gostaríamos de convidá-lo para participar da pesquisa “Efeito da fototerapia na adaptação ao exercício repetido”, a ser realizada em na Universidade Estadual de Londrina. O objetivo da pesquisa é avaliar se a aplicação de luz emitida por diodos emissores de luz da cor vermelha e infravermelha sobre os músculos das pernas diminui a dor e promovem a recuperação da força após a realização de exercícios de saltos. Além disso, também vamos avaliar se a aplicação da luz, chamada fototerapia, atrapalha a adaptação do músculo ao teste de saltos, mantendo a redução da dor e melhorando a recuperação da força muscular após a repetição dos testes de saltos. Sua participação é muito importante e ela se daria da seguinte forma: na primeira etapa do estudo, vamos coletar uma amostra de sangue do braço, você realizará um aquecimento com movimentos para as pernas, realizará 6 saltos em um equipamento (tapete conectado a um computador portátil) que medirá a altura do seu salto (avaliação da força das pernas). A seguir você será sorteado para receber a aplicação de fototerapia vermelha ou de fototerapia infravermelha ou de nenhum tratamento (controle) nas suas pernas. Após a fototerapia ou um período de repouso deitado em maca (controle), você realizará um teste de saltos pliométricos, sendo que você subirá em uma plataforma elevada, saltará, e assim que seus pés tocarem o chão você dobrará os joelhos para amortecer o impacto e saltará novamente. Serão realizados 5 séries de 20 saltos, com um intervalo de 2 minutos de descanso entre as séries. Após os testes de saltos pliométricos, será coletado uma nova amostra de sangue, você será questionado sobre a presença de dor e realizará novamente 6 saltos em um equipamento que avaliará a altura do salto. Após 24, 48 e 72 horas, você deverá retomar a academia para perguntamos novamente se você sente dor, coletar uma amostra de sangue, e realizar os 6 saltos para avaliação da força muscular das pernas. Na segunda etapa do experimento, que será realizada após 14 dias, todos os procedimentos serão repetidos, exceto a fototerapia.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas

\*Termo de Consentimento Livre Esclarecido apresentado, atendendo, conforme normas da Resolução 466/2012 de 12 de dezembro de 2012.

somente para os fins desta pesquisa e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. As amostras de sangue serão utilizadas apenas para a análise de proteínas inflamatórias e de lesão muscular e serão descartadas após a análise dos resultados.

Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado(a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados são identificar um método de recuperação muscular que permita reduzir a dor após exercícios e acelerar a recuperação muscular, sem atrapalhar a adaptação ao exercício. Quanto aos riscos, esclarecemos que são mínimos, uma vez que os exercícios pliométricos são utilizados de rotina para treinamento físico e serão monitorados por profissionais de educação física. No entanto, durante o exercício, caso você sinta dor articular ou muscular, o teste de salto será interrompido. Caso você se sinta muito cansado nas séries de salto, os intervalos entre séries para descanso poderão ser aumentados ou você poderá interromper o teste. As coletas de sangue serão realizadas por profissional treinado e habilitado, com o máximo cuidado para que não provoque desconforto e formação de hematomas. Caso ocorra formação de hematoma no local da punção, você será orientado a aplicar bolsa de água fria no local, por 3 dias consecutivos, durante 10 minutos, de forma intermitente para diminuir o desconforto local. Após 3 dias, será orientado a aplicar bolsa de água morna, para facilitar a remoção de hematoma residual. Não há necessidade de você alterar sua rotina habitual de treinamento em função dos testes e coletas de dados a serem realizados.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar a Prof. Solange de Paula Ramos (Departamento de Histologia – Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid PR445, km 380, Londrina-PR, telefone: (43) 3371-5499/99901-4992, e-mail: ramossolange@uel.br), ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue à você.

Londrina, \_\_\_\_ de maio de 2018.

\*Termo de Consentimento Livre Esclarecido apresentado, atendendo, conforme normas da Resolução 466/2012 de 12 de dezembro de 2012.

**Pesquisador Responsável**

RG: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar voluntariamente da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): \_\_\_\_\_

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

Obs.: Caso o participante da pesquisa seja menor de idade, o texto deve estar voltado para os pais e deve ser incluído ainda, campo para assinatura do menor e do responsável.

## **ANEXOS**

## ANEXO A - Parecer consubstanciado do CEP



CENTRO DE ÉTICA EM  
PESQUISA ENvolvendo  
SERES HUMANOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Efeito da fototerapia na adaptação ao exercício repetido

**Pesquisador:** Solange de Paula Ramos

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 87870618.7.0000.5231

**Instituição Proponente:** Departamento de Histologia

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 2.650.252

**Apresentação do Projeto:**

Sujeitos submetidos a exercício repetido não habituados e de caráter exoêntrico como o salto pliométrico apresentam danos às estruturas do sarcômero provocando dor muscular de acometimento tardio (DOMS), resposta inflamatórias localizadas, aumento dos níveis de creatina quinase circulantes e redução do desempenho físico. Uma estratégia que pode reduzir os danos provocados pela primeira sessão de exercício é a fototerapia com diodos emissores de luz (LEDT - light-emmiting diodes). No entanto, não existem estudos que investiguem efeito da fototerapia sobre o Efeito do Exercício Repetido especificamete em marcadores de dano muscular, desempenho e inflamação, após exercício pliométrico. Dessa forma, o objetivo do presente estudo é avaliar o efeito da fototerapia com diodos emissores de luz (630 nm e 940 nm) sobre a adaptação ao exercício repetido em sujeitos submetidos ao exercício de saltos pliométricos. Para tanto, 45

**Endereço:** LABESC - Sala 14

**Bairro:** Campus Universitário

**UF:** PR

**Município:** LONDRINA

**Telefone:** (43)3371-5455

**CEP:** 86.057-970

**E-mail:** cep268@uel.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 2.850.252

individuos,

convidados por telefone do gênero masculino, leucodermas, 18 a 35 anos e fisicamente ativos serão submetidos a duas sessões de 100 saltos pliométricos, com intervalo de 14 dias entre elas. Para identificar o efeito

da fototerapia, serão coletadas amostras sanguíneas para análise de creatina quinase e inflamação; dor muscular de acometimento tardio (DOMS); e desempenho nos saltos verticais com contramovimento e agachamento antes, imediatamente após o

exercício de saltos pliométricos, após 24 h,

48 h e 72 h. Os sujeitos serão aleatorizados em 3 grupos: fototerapia à 630 nm; fototerapia à 940 nm e

grupo placebo, de modo que, a aplicação da

fototerapia se dará apenas no primeiro dia de experimento, anteriormente aos saltos pliométricos. Em suma

este projeto tem como hipótese Hipótese:

A fototerapia diminuirá o dano muscular provocado pela primeira sessão de exercício, mas não inibirá a adaptação ao exercício repetido.

#### Objetivo da Pesquisa:

##### Objetivo Primário:

Avaliar o efeito da fototerapia com diodos emissores de luz (630 nm e 940 nm) sobre a adaptação ao exercício repetido em sujeitos submetidos ao exercício de saltos pliométricos.

##### Objetivo Secundário:

Identificar o comprimento de onda (vermelho ou infravermelho) com maior potencial de prevenir o dano muscular induzido por exercício. Avaliar se a aplicação da fototerapia interfere sobre o processo de adaptação ao exercício repetido.

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: De acordo com a pesquisadora os procedimentos de salto pliométrico podem provocar fadiga, sendo necessário aumentar o tempo de intervalo entre as séries. Caso o sujeito reporte dor nas articulações ou qualquer desconforto articular o protocolo de altos será interrompido. Os

Endereço: LABESC - Sala 14	CEP: 86.057-970
Bairro: Campus Universitário	
UF: PR Município: LONDRINA	
Telefone: (43)3371-5455	E-mail: cep268@uel.br



COMITÊ DE ÉTICA EM  
PESQUISA ENVOLVENDO  
SERES HUMANOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 2.650.252

procedimentos de coleta de sangue podem provocar desconforto no local da punção, como formação de edema e hematomas, sem comprometer a função muscular e articular. Caso ocorra formação de hematoma no local da punção, o sujeito será orientado a aplicar bolsa de água fria no local, por 3 dias consecutivos, durante 10 minutos, de forma intermitente para diminuir o desconforto local. Após 3 dias, será orientado a aplicar bolsa de água morna, para facilitar a remoção de hematoma residual.

**Benefícios:** os benefícios esperados são determinar qual procedimento de fototerapia promove melhor proteção contra o dano muscular induzido por exercício pliométrico. Determinar se a fototerapia inibe ou promove melhorias na adaptação muscular do tipo efeito de exercício repetido.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa é relevante.

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

- Folha de rosto devidamente assinada;
- Cronograma adequado
- Orçamento adequado e justificado.
- autorização de co-participante devidamente assinada (academia onde será realizada a pesquisa).
- TCLE em linguagem clara, em forma de convite, com os objetivos da pesquisa, riscos e benefícios esclarecidos.

**Recomendações:**

Não há.

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

Não há.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Prezado (a) Pesquisador (a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade imprimi-lo para apresentação aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Coordenação CEP/UEL.

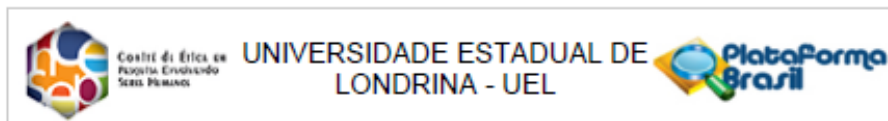
Endereço: LABESC - Sala 14  
Bairro: Campus Universitário

UF: PR Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 2.650.252

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1115290.pdf	26/04/2018 17:10:59		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Fototerapia.docx	26/04/2018 17:10:15	Solange de Paula Ramos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	26/04/2018 17:08:51	Solange de Paula Ramos	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	resposta_parecer.docx	26/04/2018 17:07:36	Solange de Paula Ramos	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao.pdf	17/04/2018 15:50:43	Solange de Paula Ramos	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	EDGE.pdf	17/04/2018 15:50:22	Solange de Paula Ramos	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	17/04/2018 15:47:59	Solange de Paula Ramos	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

LONDRINA, 11 de Maio de 2018

Assinado por:  
**Alexandrina Aparecida Maciel Cardelli**  
 (Coordenador)

Endereço: LABESC - Sala 14  
 Bairro: Campus Universitário CEP: 86.057-970  
 UF: PR Município: LONDRINA  
 Telefone: (43)3371-5455 E-mail: cep268@uel.br

## ANEXO B - Escala de dor muscular percebida

## ESCALA DE DOR MUSCULAR PERCEBIDA

0 – NENHUMA DOR

½ - DOR MUITO FRACA (APENAS PERCEPTÍVEL)

1 – DOR FRACA

2 – DOR SUAVE

3 – DOR MODERADA

4 – DOR UM POUCO FORTE

5 – DOR FORTE

6

7 – DOR MUITO FORTE

8

9

10 – DOR EXTREMAMENTE INTENSA

- DOR INSUPOORTÁVEL