



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**EFEITOS DA TERAPIA LED (LIGHT-EMITTING DIODE) DE
BAIXA POTÊNCIA SOBRE O DESEMPENHO FUNCIONAL DE
JOVENS ATLETAS DE FUTEBOL**

THIAGO MALDONADO

São Carlos
Março de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**EFEITOS DA TERAPIA LED (LIGHT-EMITTING DIODE) DE
BAIXA POTÊNCIA SOBRE O DESEMPENHO FUNCIONAL DE
JOVENS ATLETAS DE FUTEBOL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia, área de concentração: Biotecnologia

Discente: Thiago Maldonado

Orientadores: Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato

Prof. Dr. Nivaldo Antônio Parizotto

São Carlos

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M244et

Maldonado, Thiago.

Efeitos da terapia LED (Light-Emitting Diode) de baixa potência sobre o desempenho funcional de jovens atletas de futebol / Thiago Maldonado. -- São Carlos : UFSCar, 2013. 76 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Futebol. 2. Fototerapia. 3. Desempenho. 4. Atletas. I. Título.

CDD: 796.334 (20ª)

Thiago Maldonado

Dissertação de Mestrado submetida
à Coordenação do Programa de
Pós-Graduação em Biotecnologia,
da Universidade Federal de São
Carlos, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia

Aprovado em: 22/03/2013

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato



Prof. Dr. Euclides Matheucci Jr.,



Prof.ª Dr.ª Fernanda Paolillo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível.

Gostaria de externar meus sinceros agradecimentos a todos que colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho, em especial aos meus orientadores Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato e Prof. Dr. Nivaldo Parizzoto pela confiança, orientação e amizade que me propiciaram. Registro um agradecimento especial ao Mestre e Doutorando Cleber Ferrarezi e a Dr^a. Fernanda Paolillo, por compartilharem comigo toda sabedoria e me guiarem no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da Universidade de São Paulo (USP), em especial ao Laboratório de Apoio tecnológico (LAT) pelo desenvolvimento do protótipo para terapia LED, essencial para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, por terem me proporcionado todas as condições necessárias para que tivesse sucesso nesta caminhada, sempre me apoiando e orientando com sabedoria de quem sempre lutou para suas conquistas. Ao meu Pai, por ser além de um amigo um orientador na vida e nos trabalhos acadêmicos. À minha Mãe pela amizade, apoio e confiança depositada em mim em todos esses anos. Muito Obrigado.

Um agradecimento carinhoso à minha esposa, namorada e amiga Gabriela, por todo apoio, carinho e compreensão.

Agradeço também a todos da minha família, irmã, meus avós, tios, tias, e primos; a todos obrigado pelo convívio e aprendizado em todos esses anos.

Gostaria de registrar também um agradecimento eterno ao Prof. Dr. Miguel de Arruda (UNICAMP) por ser, além de mestre, um amigo, sempre entendendo como quem vivenciou cada experiência por mim vivida nesses anos de universidade e mesmo na vida profissional.

Agradeço a todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da UFSCAR por compartilharem comigo tanta riqueza e sabedoria.

Aos docentes formadores da banca examinadora pelas suas críticas construtivas, sugestões e apontamentos que contribuíram muito para este trabalho.

Obrigado a todos os profissionais com quem tive oportunidade de trabalhar, e aos clubes aonde trabalhei e desenvolvi meus trabalhos.

A todos, meu Muito Obrigado!!

SUMÁRIO

Capítulo 1	9
1. Introdução	9
1.1 Fisiologia do Jogador de Futebol	11
1.2 Conceito de Força	13
1.3 Salto Vertical	13
1.4 Testes de Salto Vertical	14
1.5 Velocidade	16
1.6 Fadiga Muscular	16
1.7 Fototerapia	18
2. Tema de Interesse e Motivação	23
Capítulo 2	24
Estudo I	25
Efeitos da Terapia LED de Baixa Potência sobre o Desempenho Funcional de Atletas de Futebol: Estudo Duplo-Cego, Randomizado e com Placebo	25
Key Words: light-emitting diode therapy (LEDT), physical training, athlete, football	
2.1 – Introdução	27
2.1 – Introdução	28
2.2 - Métodos	29
2.3 – Resultados	36
2.4 – Discussão e Conclusão	42
Estudo II	46
Efeitos da Terapia LED de Baixa Potência sobre a Cinética da Enzima Creatina Quinase (ck) em Atletas de Futebol: Estudo Cruzado, Duplo-cego, Randomizado e com Placebo.	46
2.5 – Introdução	49
2.6 – Métodos	50
2.7 – Resultados	55
2.8 – Discussão e Conclusão	59
Capítulo 3	63
Conclusões	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

Lista de Figuras

Figura 1- Fototerapia e maquinária enzimática – A) Pontos de aplicação da fototerapia sobre o músculo quadríceps femoral. B) Mecanismo das lançadeiras de creatina mitocondrial	21
Figura 2– Manta infravermelha para fototerapia.	30
Figura 3 – Aplicação da terapia LED. A: quadríceps. B: isquiotibiais. C: tríceps sural.	33
Figura 4- Posicionamento para avaliação do Salto Vertical. A: Semi-agachamento (90° de flexão dos joelhos) e mãos posicionadas sobre a região supra-ilíaca. B: Voo no salto vertical – extensão dos joelhos.....	34
Figura 5– A: Posicionamento das fotocélulas a 0, 10 e 35 metros no campo de futebol. B: Corrida dos jogadores e registro da velocidade média nas distâncias de 10 metros e 35 metros.....	35
Figura 6 – Altura em centímetros (cm) do salto vertical no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$ e †: $p < 0,001$. Anova Two-way com medidas repetidas.	38
Figura 7 – Potência muscular em Watts (W) desenvolvida no teste de salto vertical no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Anova Two-way com medidas repetidas.....	38
Figura 8 – Velocidade média em metros por segundo (m/s) desenvolvida na corrida de 10 metros no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). †: $p < 0,001$. Anova Two-way com medidas repetidas.	39
Figura 9 – Velocidade média em metros por segundo (m/s) desenvolvida na corrida de 35 metros no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Anova Two-way com medidas repetidas.	39
Figura 10 – Aumento percentual da altura em centímetros (cm) do salto vertical dos grupos LEDT (terapia LED: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). †: $p < 0,001$. Teste de Mann Whitney.	40
Figura 11 – Aumento percentual da potência muscular em Watts (W) do salto vertical dos grupos LEDT (terapia LED: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Teste de Mann Whitney.	40
Figura 12 – Aumento percentual da velocidade média em metros por segundo (m/s) na corrida de 10 metros (m) dos grupos LEDT (terapia LED: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Teste de Mann Whitney.....	41
Figura 13 – Aumento percentual da velocidade média em metros por segundo (m/s) na corrida de 35 metros (m) dos grupos LEDT (terapia LED: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Teste de Mann Whitney.....	41
Figura 14– Crioterapia de imersão	53
Figura 15 – Procedimento para coleta da enzima CK: A) materiais e equipamento utilizados; B) pequena perfuração no dedo indicador com lanceta descartável e; C) coleta de sangue com capilar.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1- Característica de cada diodo de LED (light-emitting diode), parâmetros da terapia LED (LEDT) e regiões de irradiação sobre os músculos da coxa.....	32
Tabela 2– Características clínicas dos atletas.....	37
Tabela 3 – Comparação dos ganhos percentuais dos grupos de terapia LED (LEDT: light-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo) no teste de Mann Whitney.....	37
Tabela 4 - Características clínicas dos atletas.	56
Tabela 5 – Tempo de jogo dos atletas que realizaram terapia LED, placebo e crioterapia.	57
Tabela 6– Concentração sanguínea de creatina quinase (CK) nos atletas de futebol.....	58

CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente, a inovação tecnológica no esporte é de extrema importância, pois a melhora no desempenho físico é fundamental para atletas de alto rendimento, para populações especiais e para saúde geral das pessoas, principalmente nesta década em que o Brasil sediará a copa do mundo em 2014 e as olimpíadas e para-olimpíadas em 2016.

O treinamento físico conjugado aos efeitos da fototerapia de baixa potência sobre a bioenergética tem demonstrado uma potencialização do desempenho muscular, como o aumento das capacidades físicas condicionantes de força e velocidade, bem como uma possível influência na diminuição da fadiga e do estresse metabólico induzido pelo exercício físico de caráter intenso. Então, vários estudos investigam o uso da fototerapia tanto no desenvolvimento físico como na recuperação do tecido muscular, pois é conhecido que a atividade física promove alterações na homeostasia celular e tecidual, assim, nessas condições, a fototerapia tem uma janela de atuação terapêutica intensificada. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos crônico e agudo do exercício físico associado à fototerapia em atletas profissionais de futebol.

Apresenta-se uma breve contextualização do tema abordado, com ênfase nas características fisiológicas do jogo e do jogador de futebol, bem como as capacidades físicas envolvidas na atividade alvo. Apresenta-se também uma síntese do estado da arte envolvendo atividade física e fototerapia, bem como das influências bioquímicas e fisiológicas dessa terapia associada às atividades de treinamento esportivo a que foram submetidos os atletas de futebol.

Capítulo 1

1. Introdução

O bom preparo físico e consequente desempenho esportivo tem atingido, nas últimas décadas, um papel diferencial nos resultados de esportes individuais e coletivos decorrente principalmente do avanço científico e tecnológico. A biotecnologia – uso de conhecimento sobre os processos biológicos e sobre as propriedades dos seres vivos para criação de produtos e soluções para a evolução social – tem sido aplicada em diversos domínios, por exemplo, na agricultura, ciências dos alimentos, de medicamentos, medicina e nos esportes. No contexto esportivo, a biotecnologia vem se tornando, a cada dia, mais importante e necessária nos processos de treinamento, preparação e desenvolvimento esportivo. Esta área da ciência está diretamente ligada ao desenvolvimento de produtos de tecnologia integrada com o desempenho de atletas, materiais esportivos, tecnologias de informação e análise táticas de diversas modalidades esportivas.

A fototerapia é uma modalidade terapêutica que utiliza a luz para tratamento de diversas doenças, tornando-se uma importante ferramenta para diversas áreas ligadas à saúde, como a medicina, odontologia, fisioterapia e, recentemente, com fortes evidências científicas que mostram seus benefícios ao condicionamento para a prática do exercício físico (BAGNATO, 2008; DE BRITO VIEIRA et al., 2011; FERRARESI et al., 2011; DE MARCHI et al., 2012).

No campo do esporte de alto rendimento, a preocupação com a preparação desportiva e o desempenho de atletas, em especial dos jogadores de futebol, tem sido alvo de diversas pesquisas nos últimos anos (BANGSBO, 1994; EKBLÖM, 1994; WEINECK, 2000; HESPANHOL et al., 2006; GOMES e DE SOUZA, 2008; SARGENTIM, 2010).

O futebol é uma atividade física e mentalmente complexa, que exige do atleta o desenvolvimento máximo das capacidades mentais e físicas, devido a sua ampla gama de exigências motoras dinâmicas, onde os atletas devem estar muito bem e integralmente preparados tática, física e tecnicamente (EKBLÖM, 1994; VERKHOSHANSKI et al., 2000; WEINECK, 2000; HESPANHOL et al., 2006; GOMES e DE SOUZA, 2008; SARGENTIM, 2010). A atividade física intermitente solicita variadas fontes energéticas, pois alternam corridas de alta, média e baixa intensidade, além das exigências de força e potência muscular, saltos, corridas laterais, mudanças de direção e períodos de recuperação com corridas

contínuas de baixa intensidade e caminhadas (REILLY, 1997; WEINECK, 2000; MCARDLE; KATCH e KATCH, 2003).

Apesar da predominância da via metabólica ser aeróbia durante o jogo, pode-se avaliar e quantificar a intensidade do esforço num jogo de futebol pela distância total percorrida e pelo percentual dessa distância realizado em altas intensidades. Ekblom (1994) ressalta que a principal diferença entre as equipes de qualidade é a intensidade do jogo. Assim, a principal diferença entre as equipes parece não estar na distância total percorrida pelos seus jogadores, mas no percentual dessa distância realizado em elevada intensidade. Ekblom (1994) ainda faz referência de que 8 a 18% da distância total percorrida são em alta intensidade. Reilly e Thomas (1976) descrevem que a divisão das ações na distância total percorrida é: andar (25%), trotar (37%), piques (11%), deslocar para trás (6%) e corrida submáxima (20%). Estes dados nos levam a concluir que o metabolismo aeróbio oxidativo é o principal fornecedor de energia durante a partida, porém o metabolismo anaeróbio é o determinante para o sucesso na atividade. Nesse contexto, Wisloff et al., (2004) estudaram a influência da capacidade aeróbia em atletas de futebol, evidenciando que a melhora desta capacidade esta diretamente relacionada a um melhor desempenho referente ao número de ações que envolvem grande intensidade durante uma partida de futebol, como velocidade, força e agilidade. Também, encontraram forte correlação entre velocidade de curta metragem com um bom desempenho no teste de força de uma repetição máxima (1RM), bem como a influencia positiva da capacidade de força na velocidade cíclica em atletas de futebol.

Muitos estudos têm associado à capacidade física de força dos atletas, analisada através de testes de saltos verticais, associando esta característica ao desempenho dos atletas no que diz respeito à velocidade de *sprint* em curtas distancias, característica esta fundamental nos momentos decisivos em partidas de futebol (SARGENTIM, 2010). Destaca-se também que atletas com bons níveis de condicionamento físico é um fator essencial para se atingir uma posição de destaque no futebol. Isso é explicado pela constante exigência fisiológica da atividade competitiva. Além do componente físico, outro aspecto que vem ganhando destaque são os processos de aperfeiçoamento das metodologias de treinamento, em especial, com grande atenção dada à prevenção de lesões e a uma maior longevidade esportiva dos atletas (MIGUEL e HESPANHOL, 2009). Assim, as metodologias associadas à recuperação física, prevenção de lesões, e de aperfeiçoamento das capacidades físicas dos atletas vêm ganhando grande destaque nas rotinas diárias de treinamento. Além disto, a ênfase dos trabalhos de capacitação e condicionamento físico está relacionada diretamente aos treinamentos de força, velocidade, agilidade e potência muscular, os quais têm uma característica

predominantemente anaeróbia, exigindo muito do sistema musculoesquelético (MIGUEL e HESPANHOL, 2009).

A rotina de treinamento, somado às competições simultâneas, bem como os períodos e metodologias de recuperação entre jogos e treinos, muitas vezes são insuficientes e, conseqüentemente, provoca um aumento nas dores musculares tardias, significativo déficit de rendimento nos treinamentos e competições, além de um possível aumento no índice de lesões nesses indivíduos (WEINECK, 2000). Desta maneira, a busca por novas tecnologias que visam dar suporte tático, técnico e físico é essencial neste modelo e contexto esportivo moderno.

A fototerapia, como recurso tecnológico, associada ao exercício físico pode promover modulação bioenergética celular e aumentar o desempenho muscular, como força e velocidade, redução da fadiga e melhora da atividade física (LEAL JUNIOR, E. C. et al., 2008; LEAL JUNIOR et al., 2009a; DE BRITO VIEIRA et al., 2011; 2012), fato de extrema importância para os profissionais envolvidos na preparação, recuperação e reabilitação física, bem como aos demais indivíduos envolvidos na prática esportiva.

A seguir é apresentada uma breve síntese das características fisiológicas dos jogadores de futebol; conceitos e alguns testes funcionais para mensurar o desempenho de atletas de futebol; conceitos de fadiga muscular e fototerapia.

1.1 Fisiologia do Jogador de Futebol

Baseando-se nos estudos de Garret e Kirkendall (2003), demonstra-se que o jogador de futebol possui estatura média, porém tende a ser forte e magro. No tocante à composição corporal, o percentual de gordura corporal normalmente varia entre 8 e 12% (AL-HAZZAA et al., 2001; GARRETT e KIRKENDALL, 2003).

Em geral, segundo alguns estudos nacionais e internacionais, podem-se observar algumas características em comum entre os atletas de futebol. Os valores médios de estatura, massa corporal e percentual de gordura de futebolistas são, respectivamente, 177 cm, 74,5 kg e 9,8% para futebolistas sul-americanos (RIENZI et al., 2000); 180 cm, 78,6 kg e 8,6% para futebolistas profissionais de equipe da primeira divisão espanhola (CASAJÚS, 2001); 178,8 cm e 75,2kg para futebolistas profissionais de diferentes equipes da 1ª divisão portuguesa (MAGALHÃES et al., 2001) e 177 cm, 77,9 kg e 11,2% (%) para futebolistas profissionais ingleses (STRUDWICK; REILLY e DORAN, 2002).

Garret e Kirkendall (2003) destacam que existem diferenças no tamanho e na composição corporal dos futebolistas por posição de jogo. Na literatura especializada, ainda verificamos que os goleiros possuem maior massa corporal comparado aos zagueiros, meio-campistas e atacantes, e possuem significativamente maior percentual de gordura que todos os demais jogadores. Ainda, entre os demais jogadores, exceto o goleiro, o percentual de gordura é muito similar (média de 10,5%).

Algumas das pesquisas relacionadas à capacidade aeróbia concluíram que o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) varia entre 55 a 65 ml/kg/min (EKBLÖM, 1986; GARRETT e KIRKENDALL, 2003). Além disso, há uma diferença entre os jogadores devido a sua posição tática no jogo, pois os atletas meio-campistas possuem maior $VO_{2máx}$ que os zagueiros, seja em valores absolutos ou relativos a massa corporal (WISLÖFF et al., 2004). Ainda neste contexto, Santos (1999) estudou futebolistas das quatro principais divisões do campeonato português, e verificou que existem diferenças significantes entre os laterais e atacantes também.

Bangsbo (1994) investigou o limiar anaeróbio de jogadores de futebol profissional da Dinamarca. Nesse estudo, o autor utilizou uma concentração fixa de ácido láctico de 3.0 mmol/l como intensidade ótima de transição entre os metabolismos aeróbio e anaeróbio, verificando que o limiar anaeróbio médio dos atletas foi 80,7% do $VO_{2máx}$, com variação de 66,4 e 92,4%. Isso corresponde a uma velocidade média de corrida na esteira de 14,5km/h. Ainda, este autor analisou o limiar anaeróbio em atletas de diferentes posições táticas e constatou que os laterais e os meio-campistas apresentaram valores semelhantes de limiar anaeróbio (15,9km/h e 15,0km/h), porém significativamente mais elevados do que os goleiros (13,8km/h), os zagueiros (13,4km/h) e os atacantes (13,6km/h).

Em relação à capacidade anaeróbia, Al-Hazzaa et al., (2001) realizaram um estudo utilizando como teste de desempenho anaeróbio o teste de *Wingate* em atletas de futebol da Seleção Nacional da Arábia Saudita de 1998. Os autores concluíram que o pico de potência e a potência média para os 30 segundos registrados de teste, em valores absolutos, apresentaram diferenças significativas ($p < 0.01$) entre os jogadores das diferentes posições. Sendo que os zagueiros são superiores em ambas as medidas de desempenho anaeróbio quando comparado com os outros jogadores. No entanto, quando expresso em valores relativos à massa corporal, as medidas de desempenho anaeróbio não apresentam diferenças entre o atletas que jogam nas diferentes posições táticas do jogo.

O teste de salto vertical, como recurso de avaliação de força, indica diferenças significativas nos zagueiros e atacantes em comparação aos laterais e meio campistas. Ainda,

os zagueiros e atacantes possuem maior desempenho no salto vertical que os laterais e jogadores de meio campo. Ainda, em relação aos estudos relativos à força muscular no futebol, a correlação entre o torque isocinético e a velocidade máxima da bola no chute também são foco de estudos científicos (MIGUEL e HESPANHOL, 2009).

Segundo Hespanhol et AL. (2006), as habilidades de mudança de direção, agilidade, e as capacidades coordenativas parecem ser características necessárias para um alto desempenho nos atletas de futebol. Existem muitos testes de agilidade, porém poucos dados são conhecidos. Desta maneira esta revisão de literatura ainda nos mostra uma significativa deficiência de estudos e novas metodologias aplicadas ao futebol e aos esportes coletivos no sentido de maximizar estas capacidades físicas necessárias e decisivas para um ótimo desenvolvimento e rendimento dos atletas desportivos.

1.2 Conceito de Força

No âmbito esportivo, a força tem sido entendida pelo contexto da complexidade. É nesse sentido que a força é entendida como a capacidade do sistema neuromuscular em gerar tensão, com certa intensidade em uma determinada velocidade específica para vencer e sustentar certa resistência (KRAEMER; HÄKKINEN e RIBEIRO, 2004).

1.3 Salto Vertical

O desempenho e a execução ótima de uma tarefa de movimento constituem também um componente essencial do esporte em todos os níveis. O desempenho do salto vertical é tratado como uma ação básica e fundamental para varias modalidades esportivas. Em geral, o desempenho do salto vertical se torna essencial ao alto rendimento dos jogadores (FORTE e MACALUSO, 2008). Um bom desempenho possibilita ao atleta a superação de alguns limites impostos por determinadas situações de jogo ou impostas pela equipe adversária. Em específico ao futebol, o desempenho de salto vertical esta associado ao bom desempenho em *sprints* de curta duração (20-40m), os quais se relacionam a momentos decisivos da partida.

Na tentativa de compreender o desempenho de salto vertical, é importante considerar vários elementos que compõem e interagem dentro do objetivo, ou seja, o elemento físico, o antropométrico, o técnico e o tático. Assim, para que ocorra um bom desempenho exige-se

uma combinação dos vários elementos citados. A altura total, a altura saltada e a técnica do salto são fatores que merecem destaque dentro do desempenho de salto vertical.

As alterações significativas nos resultados do desempenho do salto vertical são caracterizadas pelas mudanças na função neuromuscular, tais como, força máxima, capacidade do ciclo estiramento-encurtamento, e na potência muscular (VOIGT et al., 1995). Essas mudanças indicam uma melhora no desempenho de salto e consequentemente no desempenho dos atletas e, em específico, do jogador de futebol.

Potência muscular e sua manifestação no desempenho de salto vertical: segundo Cavagna (1977), o bom desempenho do atleta em relação à altura saltada no teste de salto vertical está diretamente ligado a sua capacidade de força. Esses fatores são contribuições do componente contrátil muscular que envolve o sistema de recrutamento e sincronização (HUTTON, 1993), do componente elástico (CAVAGNA, 1977; KOMI e BOSCO, 1978) e do componente elástico reflexo (HUTTON, 1993).

Em estudo realizado previamente (YOUNG; MCLEAN e ARDAGNA, 1995) com experientes atletas em movimentos de salto vertical foi investigada a relação de expressão de força de membros inferiores e o desempenho em salto vertical. Os atletas analisados fizeram testes específicos para que fosse avaliado o desempenho em salto vertical, com técnicas e teste parado e de salto precedido de 1, 3, 5 e 7 passadas de aproximação, e testes feitos para estimar a manifestação de força.

1.4 Testes de Salto Vertical

Para descrição dos testes que estimam a força através do salto vertical, é válido e necessário lembrar os trabalhos prévios que trazem algumas destas descrições, como o teste de salto vertical com meio agachamento em posição estática, salto vertical com contramovimento sem contribuição dos membros superiores e salto partindo de uma queda (KOMI e BOSCO, 1978; BOSCO; LUHTANEN e KOMI, 1983; BOSCO, 1994; BOSCO e KOMI, 2008). Segue a descrição de cada tipo de salto vertical.

Salto vertical com meio agachamento partindo em posição estática: este teste consiste na realização de um salto vertical com meio agachamento, partindo de uma posição estática com uma flexão de joelho de 90 graus sem que haja contramovimento prévio de qualquer

segmento; as mãos devem obrigatoriamente se manter fixas próximas ao quadril na região supra-ílica para que seja isolada a força exclusiva de membros inferiores sem a interferência dos membros superiores; é necessário que os joelhos permaneçam em extensão durante o voo (KOMI e BOSCO, 1978).

Este teste permite por meio da altura mensurada no teste, quantificar a manifestação da potência muscular dos membros inferiores (BADILLO; AYESTARÁN e DOS SANTOS DORNELLES, 2001). Barbanti (2002) aponta que esse tipo de salto é usado para medir a potência muscular, entendendo que o fator de capacidade contrátil acrescenta outro fator relativo à capacidade de sincronização e recrutamento da contração das fibras musculares. No que diz respeito ao número de tentativas, o teste permite que sejam executadas de duas a quatro tentativas. Outra importante característica do teste é observar o tempo de permanência na fase estática de agachamento. Variações no tempo em posição estática precedente ao salto vertical variam entre 2 e 3 segundos. Bosco (2000) destaca que durante esse tipo de teste, a importância do tempo de posição estática é fundamental para a leitura dos testes, uma vez que, quanto maior o tempo na posição estática, menor o uso da força e do componente elástico, sendo maior a dependência do componente contrátil.

Quando ao tempo de intervalo entre cada salto, observa-se variações de 10 a 120 segundos; a explicação para todas as variações dizem respeito à fadiga muscular (VOIGT et al., 1995).

Salto vertical com contramovimento sem contribuição dos membros superiores: este teste se dá pela realização do salto vertical a partir da posição ereta, mantendo os joelhos em extensão a 180 graus, com as mãos fixas e próximas ao quadril, na região supra-ílica. Os saltos verticais são realizados com a técnica do contramovimento numa situação específica em que o atleta realiza o ciclo de alongamento encurtamento (flexão e extensão dos joelhos) descrito previamente (KOMI e BOSCO, 1978). Nesse teste os joelhos devem ficar em extensão durante o voo.

O objetivo do teste é medir a manifestação da potência muscular adicionado da energia elástica do ciclo alongamento-encurtamento dos músculos do quadríceps femoral e isquiotibiais (KOMI e BOSCO, 1978).

De acordo com o número de tentativas se observa semelhanças com saltos verticais, porém Voigt et al., (1995) utilizou 11 tentativas para análise dos fatores que influenciam o salto vertical máximo, necessitando de uma pré ativação do sistema neuromuscular.

Salto vertical partindo de uma queda: esse salto vertical é realizado partindo de uma posição ereta, com o tronco ereto, sobre um banco de determinada altura, com os joelhos mantidos em extensão completa, as mãos permanecendo fixas na região supra-ilíaca. O teste tem início quando o avaliado realiza uma queda do banco avançando um dos pés impulsionando o corpo para baixo, e no momento do contato dos pés com o solo o avaliado deve frear a flexão dos joelhos no ângulo de 90 graus, saltando em seguida o mais alto possível. A altura da queda pode variar de 20 a 100 cm (BOSCO, 1994). Vale ressaltar que essa técnica de salto vertical objetiva a altura individual ótima de queda para execução dos saltos verticais partindo de uma queda (KOMI e BOSCO, 1978)

1.5 Velocidade

A velocidade é o principal requisito motor, o qual permite tanto a movimentação, quanto a assimilação de outras capacidades do condicionamento, além da força e coordenação. Ainda, o termo velocidade também se refere à capacidade de executar ações motoras em curtos intervalos de tempo a partir das aptidões disponíveis do condicionamento, em função do sistema neuromuscular. A definição de velocidade no âmbito do futebol está relacionada com a capacidade múltipla que depende da rápida reação do manuseio da situação e da rapidez em iniciar o movimento e dar sequência ao mesmo, bem como, da aptidão com a bola no drible, além do rápido reconhecimento e utilização das respectivas situações (WEINECK, 2000).

1.6 Fadiga Muscular

Fadiga é definida como a diminuição da capacidade de gerar força muscular máxima e voluntária induzida pelo exercício (ASMUSSEN, 1979; EDWARDS, 1981; ENOKA e STUART, 1992). Nesta definição geral existe uma forte tendência nas pesquisas em investigar alguns parâmetros sobre a manifestação da fadiga.

A fadiga como resultado da diminuição da força máxima depende da experiência do atleta e poderá ter um aumento na variabilidade durante a estimativa de força. Com esse apontamento, Adeyanju e Akanle (1996) estimaram o efeito da fadiga em atletas treinados, participantes de eventos que envolvam força e potência. Os resultados demonstraram que em atletas treinados em potência, a estimativa de força era maior comparado aos atletas treinados

em resistência. Neste contexto, em esportes coletivos como o futebol, observa-se atletas com predomínio das capacidades de resistência e outros com predomínio das capacidades físicas de força e potência, assim, obtém-se diferentes níveis de fadiga e estresse muscular em uma mesma atividade.

Pode-se considerar a fadiga como o processo de falha na manutenção da força ou potência máxima durante contrações repetidas, ainda a definição de Edwards (1981) ressalta a falha na capacidade da manutenção de força requerida ou esperada. Para Assmussen (1979) a fadiga é a diminuição transitória dos resultados da capacidade de trabalho para determinada atividade física prevista, normalmente caracterizada pela falha na manutenção ou no desenvolvimento de certa força. Assim, o conceito do processo de fadiga é uma tarefa complexa, pois a origem da fadiga tem sido atribuída a fatores centrais e periféricos (BIGLAND-RITCHIE et al., 1982). Essa divisão conduz aos fatores que afetam o sistema neuromuscular (fadiga periférica), por exemplo, o aumento do potássio extracelular, o aumento do ácido láctico e a consequente diminuição do pH sanguíneo que altera a condutibilidade neural e consequentemente os níveis e intensidades de contração muscular, já no sistema nervoso central (fadiga central), ocorre a redução do input para o motoneurônio durante a realização de trabalho intenso em atletas, diminuindo consequentemente o processo contrátil da musculatura (FITTS, 1994). Segundo de Smilios (1998) a fadiga aponta uma considerável redução na força máxima e na manutenção da força requerida, capacidade esta diretamente relacionada à velocidade de curta metragem utilizada nos momentos decisivos de uma partida de futebol.

Green (1997) ressalta dois componentes da fadiga periférica: metabólico e não metabólico. No componente metabólico destaca-se um distúrbio no potencial energético da produção de trabalho. Já no componente não metabólico ocorre a interrupção na estrutura mediada pelo alto nível de força expedida pela contração muscular.

Para entender e quantificar os níveis de fadiga e estresse muscular que podem acarretar em redução das produções de força, os níveis plasmáticos da enzima creatina quinase tem sido utilizada para mensurar os níveis de lesão e estresse muscular decorrentes da atividade física intensa, revelando os níveis de estresse e de fadiga do sistema musculoesquelético após uma atividade esportiva. Segundo Sorichter et al. (1999) os níveis plasmáticos médios desta enzima para homens é de 80 U/l.

1.7 Fototerapia

Segundo Bagnato et al., (2008) pode-se definir ou conceituar fototerapia pela utilização de luz como recurso terapêutico em diversas áreas ligadas a ciência da vida.

A fototerapia é uma atividade terapêutica que vem sendo estudada e desenvolvida em diferentes áreas ligadas a saúde, medicina, odontologia, fisioterapia (BAGNATO, 2008) e mais recentemente relacionada à atividade física.

Apesar do emprego da luz nos processos ligados a saúde nos remeter aos tempos da Pré História aonde os efeitos da fototerapia era atribuído a fatos sobrenaturais, este campo de trabalho é consideravelmente novo, e integra diversas áreas de conhecimento, entre elas a física, a química e a biologia.

Tecnologias ópticas e fotônicas, como os emissores de luz laser (acrômio para amplificação da luz por emissão estimulada de radiação) e LEDs (acrômio para diodos que emitem luz) para interação luz-tecido biológico (BAGNATO 2008) eram projetadas, desenvolvidas e utilizadas apenas para tratamentos médicos e odontológicos, mas agora podem ser desenvolvidas e utilizadas na prática esportiva.

Bagnato (2008) relata que o uso da fototerapia de alta potência tem possibilitado a médicos realizarem atos cirúrgicos de extrema precisão e delicadeza. O laser já é utilizado na medicina tanto como instrumento de corte, como também em cirurgias oftalmológicas de extrema precisão, em tratamentos contra células cancerígenas, cálculos renais, processos odontológicos e de fisioterapia devido a forte interação da luz com o interior das células, possibilitando micro alterações celulares que modificam o curso de seu ciclo vital.

Na prática esportiva, a fototerapia de baixa potência parece relacionar-se com as mitocôndrias celulares, proporcionando um aumento dessas organelas por meio da fusão de mitocôndrias menores e vizinhas para a formação de mitocôndrias gigantes (BAKEEVA et al., 1993). Além dessa adaptação estrutural, a maquinaria enzimática mitocondrial também é modificada, conduzindo à maior disponibilidade energética para a realização das atividades celulares (BAKEEVA et al., 1993; VIEIRA et al., 2006). Dessa forma, a associação da fototerapia ao treinamento de resistência pode otimizar as adaptações específicas ao treinamento de resistência, proporcionando uma adaptação enzimática (VIEIRA et al., 2006), redução da fadiga muscular (LOPES-MARTINS et al., 2006; DE BRITO VIEIRA et al., 2011) e aumento da capacidade aeróbia (VIEIRA et al., 2008).

Contudo, os estudos mais recentes investigaram os efeitos da fototerapia de baixa potência sobre o treinamento físico de força em humanos, os quais todos evidenciaram resultados muito satisfatórios para a redução da fadiga muscular e aumento do desempenho físico apenas nos indivíduos submetidos aos exercícios de alta intensidade associados à fototerapia. Esses estudos identificaram: menores níveis séricos de creatina quinase (CK), lactato sanguíneo em teste anaeróbico máximo do tipo Wingate (LEAL JUNIOR et al., 2009a); aumento do número de repetições máximas e menores níveis de lactato sanguíneo (LEAL JUNIOR et al., 2009d); menor nível de dor de início tardio mensurada na escala visual analógica para dor (VAS), menores concentrações de lactato desidrogenase (LDH) e creatina quinase (CK) e aumento da máxima força voluntária (BARONI et al., 2010a); aumento do número de repetições máximas e menores níveis de lactato sanguíneo e creatina quinase (CK) (LEAL JUNIOR et al., 2010); maior torque e potência muscular, carga máxima de trabalho e perimetria da coxa (FERRARESI et al., 2011). Segundo esses autores, a fototerapia possivelmente modula o estresse oxidativo celular (LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009d), aumentando a atividade de enzimas antioxidantes (DE MARCHI et al., 2011) e a expressão de genes específicos que podem promover melhoria no desempenho muscular (FERRARESI et al., 2011).

No ambiente esportivo estas interações entre luz e sistema biológico surgem como novas possibilidades de quebras na homeostase celular projetando possíveis alterações nos sistemas energéticos e de recuperação das células musculares, que pode possibilitar a melhora tanto dos aspectos de desempenho do atleta como também na possibilidade de acelerar a recuperação entre atividades diárias de treinamentos e competições, com consequente aumento do rendimento e da longevidade esportiva.

Abaixo, observa-se algumas definições importantes sobre os sistemas emissores de luz:

Sistemas laser/LED: é importante definirmos os sistemas laser e LED de baixa potência para poder diferenciá-lo quanto ao nível de excitabilidade que o mesmo pode causar no tecido biológico alvo. Estes sistemas emitem luz no tecido biológico alvo excitando partes da molécula do tecido e dependendo da dose de luz poderá ocorrer uma bioestimulação ou uma bioinibição, no que diz respeito às reações bioquímicas e fisiológicas das células irradiadas. Já um sistema laser e LED de alta potência deposita no tecido biológico alvo gera uma energia muito superior, chegando muitas vezes a romper o tecido biológico, servindo normalmente como instrumento de corte ou modificação permanente de um tecido ou célula.

Segundo Bagnato et al. (2008) os sistemas de laser de baixa potência, também denominados de LLLT (low-level laser therapy) podem causar analgesia, biomodulação de respostas celulares, modificações nas reações químicas e fisiológicas de tecidos biológicos, com conseqüente ação anti-inflamatória, aumento da microcirculação sanguínea e regeneração tecidual, da mesma maneira que encontramos nos sistemas LEDs de baixa potência. Assim, essas terapias irradiam as células biológicas por determinados comprimentos de onda que podem alterar as reações e respostas do tecido biológico (FIGURA 1) para possibilitar diversos efeitos terapêuticos, principalmente quando estes dispositivos são utilizados em associação com o exercício físico.

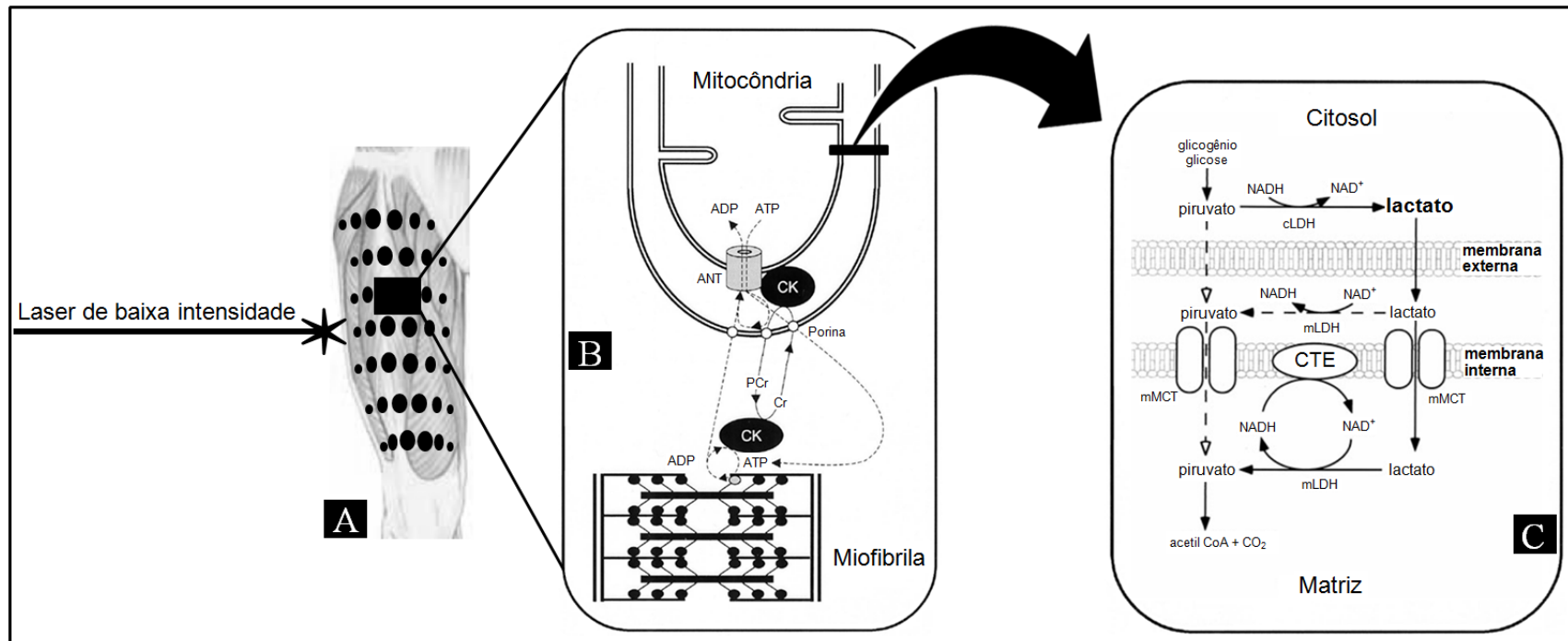


Figura 1- Fototerapia e maquinaria enzimática – A) Pontos de aplicação da fototerapia sobre o músculo quadríceps femoral. B) Mecanismo das lançadeiras de creatina mitocondrial. Nesse mecanismo, a creatina (Cr) é transportada do local de sua utilização (miofibrilas) para a mitocôndria, onde a fosfocreatina (PCr) é transportada no sentido contrário. Em razão da presença da creatina quinase mitocondrial (CK) na porção interna da membrana mitocondrial, a Cr reage com o ATP (adenosina tri-fosfato) produzido na fosforilação oxidativa que re-sintetiza a PCr, aumentando a concentração de ADP (adenosina di-fosfato) e, por sua vez, estimula a respiração. No entanto, PCr diminui a concentração de ADP e a respiração. Sigla: ANT (adenine nucleotide translocase). C) Oxidação do lactato via mitocondrial. Nesse mecanismo o lactato pode ser transportado para o espaço intermembranas ou ir diretamente para a matriz mitocondrial, onde é oxidado à piruvato pelo NAD⁺ (nicotinamida adenina dinucleotídeo oxidado); reação catalizada pela enzima lactato desidrogenase mitocondrial (mLDH). O NAD reduzido (NADH) é oxidado na cadeia transportadora de elétrons (CTE) e fornece os elétrons e prótons necessários para a produção aeróbia de ATP. Siglas: mMCT (mitochondrial Monocarboxylate Transporters) (FERRARESI et al., 2011).

Atualmente, diversos estudos que associam a fototerapia com o exercício físico são realizados em animais (CORAZZA et al. 2013; AQUINO et al. 2012) e em seres humanos para promover alterações metabólicas e melhor adaptação muscular frente aos exercícios físicos crônicos (PAOLILLO et al., 2012; FERRARESI et al. 2011) e agudos (LEAL JUNIOR et al., 2009a; LEAL JUNIOR et al., 2009d). Os LEDs são fontes emissoras de luz mais acessíveis do ponto de vista econômico e possuem uma maior área emissora de luz comparada ao laser. Além disso, os efeitos terapêuticos sobre os tecidos biológicos parecem estar mais relacionados ao comprimento de onda e à dose aplicada que a própria fonte emissora de luz. Dessa maneira, a fototerapia por LEDs tornou-se uma alternativa muito atraente para a fotoestimulação de grandes áreas a um baixo custo, produzindo efeitos satisfatórios para a redução da fadiga muscular (PAOLILLO et al., 2011).

A padronização dos estudos sobre fototerapia é incentivada pela Associação Mundial de Laserterapia (WALT), no sentido de que todos os parâmetros de irradiação sejam apresentados para facilitar a comparação dos dados. Assim, estudos devem ser realizados para compreender os possíveis mecanismos que explicam os efeitos observados por diferentes doses de irradiação, além da informação de todos os parâmetros de irradiação e do equipamento utilizado, já que grande parte dos estudos encontrados na literatura não apresentam todos os dados sobre as fontes de luz, comprimento de onda, energia, densidade de potência, frequência de emissão, área e formato do feixe, dificultando a comparação dos resultados obtidos (BJORDAL, 2012).

Para isso o conhecimento conceitual de algumas grandezas físicas são importantes e fundamentais para aplicação correta da dose durante a fototerapia:

- Potência: define a taxa com que uma quantidade de energia é transmitida ao tecido e é medida pelo Watt (W) ou Joule por segundo (J/s);
- Densidade de potência: é a razão pela qual a potencia é dissipada por área de tecido e utiliza-se a grandeza Watt por centímetro ao quadrado (W/cm^2);
- Energia: traduz a quantidade de luz depositada no tecido alvo irradiado, a unidade de referencia é o Joule (J) ou ainda esta grandeza é calculada multiplicando-se a potência de saída em watts pelo tempo de terapia ou irradiação, em segundos (W.s);
- Dose, fluência ou densidade de energia: esta grandeza reflete a quantidade de energia irradiada e aplicada no tecido com relação a área sobre a qual a energia esta sendo

dissipada, ou seja é a unidade que traduz a quantidade de energia por unidade de área e utiliza-se para isto o Joule por centímetro ao quadrado (J/cm^2).

2. Tema de Interesse e Motivação

A preparação desportiva e o desempenho de atletas são alvos de diversas pesquisas nas ultimas décadas. Atingir níveis cada vez maiores de rendimento em uma modalidade esportiva, superar recordes, e ainda conquistar títulos e campeonatos tem se tornado objetivo principal de clubes esportivos, atletas, treinadores e preparadores físicos.

Altos investimentos dentro do esporte, em especial no futebol, tem aumentado a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias esportivas e a implementação das metodologias de treinamento para proporcionarem maior conquista de títulos e longevidade esportiva. Vale ressaltar que um atleta que faz parte de grandes investimentos, quando lesionado, gera grandes prejuízos a seus investidores diretos e indiretos. Fazem parte deste contexto, patrocinadores, os meios de comunicação, empresários e também os clubes a que estão federados esses atletas.

Ainda, no futebol, a ênfase dos trabalhos de capacitação e condicionamento estão relacionados diretamente aos treinamentos de força, velocidade e agilidade, os quais têm uma característica predominantemente anaeróbia, exigindo muito do sistema músculo-esquelético, pois estes atletas estão constantemente expostos ao estresse fisiológico. Portanto, o desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias são essenciais para aumentar o desempenho físico, acelerar a recuperação pós-exercício e repercutir em bons resultados de competições, bem como, na longevidade esportiva.

A presente dissertação investigou os efeitos da fototerapia sobre o exercício físico crônico e agudo em atletas de futebol através da realização de dois estudos clínicos, duplo-cego, randomizados e com placebo. Esses estudos clínicos são apresentados no Capítulo 2.

Capítulo 2

Neste Capítulo são apresentados dois estudos experimentais, envolvendo atletas de um clube de futebol profissional do estado de São Paulo, que são denominados ESTUDO 1 e ESTUDO 2.

No Estudo I, o objetivo geral consiste em investigar os efeitos crônicos do exercício físico associado à terapia LED infravermelha em atletas profissionais de futebol. Os objetivos específicos consistem em investigar a altura do salto vertical, a potência muscular e a velocidade de corrida após 12 sessões de terapia LED e placebo realizadas no período de 6 semanas de treinamento esportivo.

No Estudo II, o objetivo geral consiste em investigar os efeitos agudos do exercício físico associado à terapia LED infravermelha em atletas profissionais de futebol. Os objetivos específicos consistem em investigar os níveis de creatina quinase (CK) após jogo com aplicação de 3 diferentes doses de radiação infravermelha ($3,75 \text{ J/cm}^2$; $7,5 \text{ J/cm}^2$ e $11,25 \text{ J/cm}^2$), terapia placebo e, também, com a realização da crioterapia.

A partir dos resultados destes estudos serão discutidos pontos relevantes para caracterização de uma nova metodologia de treinamento esportivo e recuperação pós-exercício para atletas de futebol.

Estudo I

Efeitos da Terapia LED de Baixa Potência sobre o Desempenho Funcional de Atletas de Futebol: Estudo Duplo-Cego, Randomizado e com Placebo

RESUMO

Contexto e Objetivos: Recentemente, a fototerapia por laser e LEDs de baixa potência vem sendo utilizada para aumentar o desempenho físico e acelerar a recuperação pós-exercício. Este estudo consiste em investigar os efeitos da terapia LED, na faixa do infravermelho (850 nm) e baixa potência (50 mW) sobre o desempenho físico de atletas de futebol após 06 semanas de treinamentos específicos desse esporte.

Desenho do estudo/Materiais e métodos: Foi realizado um estudo clínico, randomizado, duplo cego e com placebo. Participaram do estudo 16 atletas de futebol com idade entre 14 e 16 anos de idade. Os atletas foram alocados randomicamente em 2 grupos iguais: (i) grupo treinamento associado à terapia LED (LEDT) e (ii) grupo treinamento associado à terapia LED placebo (Placebo). A terapia LED ou placebo foi aplicada sobre o quadríceps femoral, isquiotibiais e tríceps sural imediatamente após os treinamentos, 2 vezes por semana, durante 6 semanas consecutivas, totalizando 12 sessões de terapia. Foi utilizado um dispositivo contendo um arranjo de 50 LEDs de baixa potência (850nm, 50 mW, 30 s sobre cada grupo muscular e energia de 75 J). O desempenho funcional dos atletas em salto vertical e em corridas de 10 e 35 metros foram realizados através da plataforma de salto e fotocélulas no período pré e pós-treinamento e terapia LED.

Resultados: O grupo LEDT aumentou significativamente a altura (cm) do salto vertical (de $36,02 \pm 3,95$ para $39,20 \pm 4,52$; $p < 0,001$) e a potência muscular (W) (de $382,62 \pm 31,82$ para $417,62 \pm 31,19$; $p = 0,003$) nesse mesmo teste. A velocidade média (m/s) da corrida de 10m aumentou significativamente no grupo LEDT (de $5,94 \pm 0,35$ para $6,13 \pm 0,45$; $p < 0,001$) assim como para a corrida de 35m (de $7,43 \pm 0,32$ para $7,51 \pm 0,32$; $p = 0,003$). O grupo Placebo mostrou aumento significativo apenas para a altura do salto vertical (de $36,25 \pm 4,55$ para $37,38 \pm 4,26$; $p = 0,017$).

Conclusão: A fototerapia por LED de baixa potência aplicada após o treinamento físico pode aumentar o desempenho físico dos atletas de futebol, evidenciado pelo aumento da altura de salto, potência muscular e velocidade de corrida.

Palavras-chave: terapia LED (LEDT), treinamento físico, atleta, futebol.

ABSTRACT

Context and Objectives: Nowadays, phototherapy has been used to enhance physical performance and to accelerate recovery after exercise. The aim of this study was to evaluate the effects of LED therapy (850 nm) and low power (50 mW) on the physical performance of soccer players after 6 weeks of soccer training.

Study design/materials and methods: a randomized, double-blind clinical trial, controlled with placebo study was conducted. Sixteen soccer athletes aged between 14 and 16 years participated in the study. The athletes were randomly allocated into 2 groups: (i) training group associated with the LED therapy (LEDT) and (ii) training group associated with the placebo LED therapy (placebo). LED therapy or placebo were applied on the quadriceps, hamstrings and sural triceps immediately after training, twice a week during 6 consecutive weeks (12 sessions of therapies). The LED device (850nm, 50 mW, 30 s on each muscle group and energy of 75 J) was used for phototherapy. The functional performance was evaluated through the jump platform (vertical jump) and photocells (10 and 35 meter races) in the period pre and post training plus LED therapy or placebo therapy.

Results: the LEDT Group significantly increased the height (cm) of vertical jump (from 36.02 ± 3.95 to 39.20 ± 4.52 ; $p < 0.001$) and the muscle power (W) (from 382.62 ± 31.82 to 417.62 ± 31.19 ; $p = 0.003$) in this same test. The LEDT showed significant increases for the average speed (m/s) at 10 m race (from 5.94 ± 0.35 to 6.13 ± 0.45 ; $p < 0.001$) and 35 m (from 7.43 ± 0.32 to 7.51 ± 0.32 ; $p = 0.003$). The Placebo group showed significant increases only for the height of vertical jump (from 36.25 ± 4.55 to 37.38 ± 4.26 ; $p = 0.017$).

Conclusion: LED therapy applied after physical training can improve functional performance of soccer players, evidenced by improvements of the jump height, muscle power and speed racing.

Key Words: light-emitting diode therapy (LEDT), physical training, athlete, football

2.1 – Introdução

O futebol é uma atividade complexa que exige do atleta o melhor desenvolvimento de suas capacidades físicas e mentais devido a sua ampla gama de exigências motoras imprevisíveis e dinâmicas (WEINECK, 2000). A partir dos fundamentos da fisiologia do exercício, o futebol é uma atividade física intermitente com solicitação de variadas fontes energéticas, pois alternam corridas de alta, média e baixa intensidades, força, potência muscular, saltos, corridas laterais, mudanças de direção, e períodos de recuperação com corridas contínuas de baixa intensidade e caminhadas (HESPANHOL et al., 2006).

Diante às diversas solicitações energéticas no futebol, a fototerapia de baixa potência pode ter grande efeito sobre as mitocôndrias celulares, proporcionando um aumento dessas organelas por meio da fusão de mitocôndrias menores e vizinhas para a formação de mitocôndrias gigantes (BAKEEVA et al., 1993). Além dessa adaptação estrutural, a maquinaria enzimática mitocondrial também pode ser modificada, conduzindo à maior disponibilidade energética para a realização das atividades celulares (BAKEEVA et al., 1993), incluindo a contração muscular (VIEIRA et al., 2006; LEAL JUNIOR, E. C. et al., 2008; BARONI et al., 2010b; FERRARESI et al., 2011; DE BRITO VIEIRA et al., 2012).

De acordo com Karu, Pyatibrat e Afanasyeva (2004), a fototerapia é justificada pela teoria bioquímica através do aumento da atividade mitocondrial e por alterações no estado redox, no qual, ocorre a conversão de energia electromagnética em energia bioquímica com o aumento da produção de adenosina trifosfato (ATP).

Alguns estudos clínicos investigaram os efeitos crônicos do exercício físico associado à fototerapia em jovens do sexo feminino (VIEIRA et al. 2011) e masculino (FERRARESI et al. 2011), bem como, em mulheres na pós-menopausa (PAOLILLO et al. 2011; PAOLILLO et al. 2012). Entretanto, os efeitos da fototerapia sobre o exercício crônico em atletas profissionais de futebol ainda não foram demonstrados.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos da terapia LED, na faixa do infravermelho (850 nm) e baixa potência (50 mW) sobre o desempenho físico de atletas de futebol (categoria sub 15) durante 06 semanas de treinamentos específicos desse esporte.

2.2 - Métodos

Foi realizado um ensaio clínico randomizado, duplo-cego e com placebo. Todos os procedimentos foram devidamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (Parecer 218/2012) e pode ser visualizado no Anexo 1. Todos os sujeitos foram informados sobre os objetivos do estudo, procedimentos e, após a admissão ao experimento, o responsável legal de cada atleta menor de idade assinou um termo de consentimento livre e esclarecido. O atual estudo foi registrado no National Institutes of Health (NIH) Clinical Trials, U.S. (NCT 01770977).

Sujeitos

Os sujeitos foram recrutados entre os atletas de futebol de campo da categoria sub 15 de uma equipe de futebol profissional. De 22 atletas, fizeram parte do estudo 16 jogadores, pois 1 atleta apresentava diferente rotina de treinamento e os outros 5 atletas foram desconsiderados em função dos critérios de exclusão deste trabalho.

Crítérios de Inclusão

Os sujeitos deveriam ser saudáveis com idade entre 14 e 16 anos, púberes ou púberes finais, índice de massa corpórea (IMC) entre 18 e 25 Kg/m², ser atleta de futebol de campo da categoria sub 15 e seguirem a rotina dos treinamentos estipulados pela equipe de futebol profissional para a qual jogavam. Ainda, os atletas não poderiam fazer suplementação de proteínas.

Crítérios de Exclusão

Os sujeitos não poderiam apresentar qualquer história de lesão muscular ou distúrbios do sistema osteoarticular dos membros inferiores 6 meses prévios ao estudo, doenças no sistema cardiovascular ou outras doenças sistêmicas, como abordado por estudo prévio (FERRARESI et al., 2010).

Randomização

A randomização foi realizada por meio de sorteio e os sujeitos foram alocados igualmente em dois grupos distintos: grupo treinamento associado à LEDT (LEDT) e grupo treinamento associado à LEDT-Placebo (Placebo). Este critério randomizado foi escolhido

para que não houvesse influência do conhecimento das características dos atletas por parte do avaliador na formação dos grupos.

Instrumentos

Neste estudo foram utilizados: (i) uma plataforma de salto (Multprint Full, Hidrofit Ltda, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) para registro da altura do salto vertical e da potência muscular; (ii) três fotocélulas (Multprint Full, Hidrofit Ltda, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) nas posições de 0, 10 e 35 metros para a quantificação da velocidade de corrida e; (iii) um protótipo para fototerapia (Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PII1037105, data de depósito: 29/08/2011, título: "Dispositivo Emissor de Luz com Formato Anatômico para Aumento do Desempenho Físico e Reparo do Tecido Muscular e Tendíneo") contendo um arranjo de 50 diodos do tipo LED (850nm) igualmente dispostos sobre material maleável de 34x18 centímetros (Figura 2) desenvolvido pelo Laboratório de Apoio Tecnológico (LAT), do Instituto de Física de São Carlos (IFSC), da Universidade de São Paulo (USP).

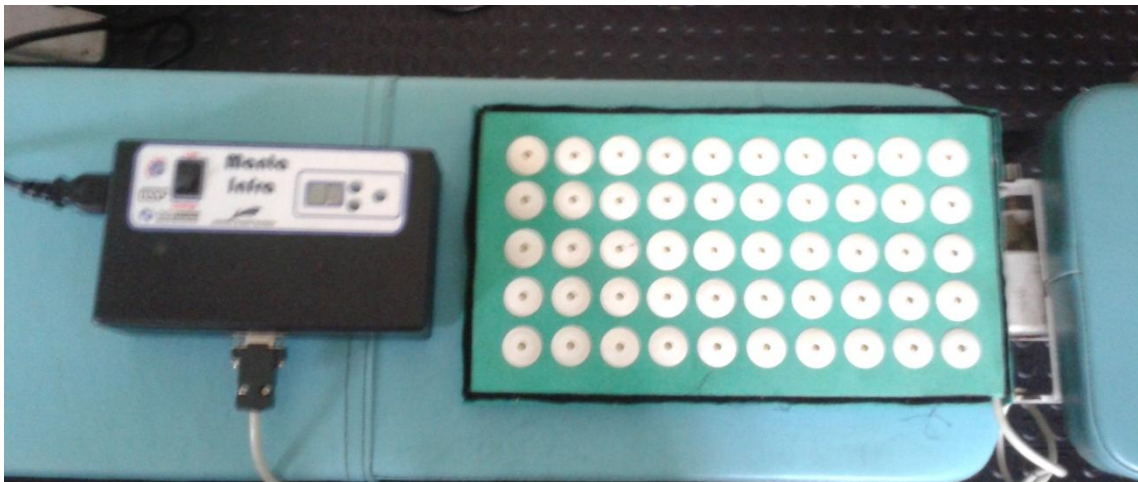


Figura 2– Manta infravermelha para fototerapia.

Procedimentos

Características clínicas dos atletas

Foi avaliada a maturação biológica, os dados antropométricos e a composição corporal dos atletas. A maturação biológica foi determinada pelo índice de Tanner que consiste na sistematização da sequência do desenvolvimento das características sexuais secundárias no adolescente, através da descrição dos estágios de maturação sexual que são classificados à inspeção durante exame físico, e variam do estágio 1 (infantil) ao 5 (adulto), considerando-se o desenvolvimento da genitália externa (G) e da pilosidade pubiana (P) para o sexo masculino (LOURENÇO e QUEIROZ, 2010). A avaliação antropométrica consistiu em realizar medidas de estatura em centímetro (cm) e massa corpórea em quilograma (kg), através de balança biométrica. Para avaliação da composição corporal foi utilizada a adipometria através de 4 dobras cutâneas (trícipital, subescapular, supra-ilíaca e abdominal) de acordo com o protocolo de Faulkner (CAMPEIZ et al., 2004).

Treinamentos

Os grupos LEDT e Placebo seguiram a rotina dos treinamentos específicos da modalidade esportiva, os quais foram conduzidos pelo técnico e preparador físico da equipe. Os treinamentos consistiram de um volume diário de 90 minutos de treinamentos específicos de futebol e 01 jogo semanal de 60 minutos. Foram divididos ao longo do microciclo semanal, treinos táticos de jogo, treinamentos aeróbio e anaeróbio, trabalhos específicos de propriocepção e fortalecimento muscular, além de treinamento de caráter regenerativo, totalizando um volume semanal de 510 minutos. Os atletas se encontravam no período competitivo do macrociclo proposto.

Os treinamentos específicos de futebol foram realizados 05 vezes por semana somada a uma sexta atividade que era um jogo oficial do campeonato paulista categoria sub 15, durante 6 semanas. O procedimento experimental deste estudo foi definido de acordo com a periodização do treinamento proposto para a equipe, o mesociclo escolhido estava dentro do período competitivo e tinha como característica determinante o desenvolvimento da capacidade física de força e resistência específica de jogo, que são capacidades físicas escolhidas para embasar o conteúdo deste estudo. Durante o procedimento experimental, não houve interferência ou qualquer modificação do treinamento proposto pelo técnico e pelo preparador físico do clube de futebol, apenas a aplicação da terapia LED (efetiva ou placebo) que foi aplicada 2 vezes por semana imediatamente após a sessão dos treinamentos de força,

que aconteciam as terças e quintas-feiras, conforme a periodização definida pela comissão técnica da equipe.

Protocolo de Terapia LED

A terapia LED (LEDT) ou a LEDT-Placebo foram aplicadas sobre 3 regiões dos membros inferiores direito e esquerdo dos atletas (Figura 3): músculos do quadríceps femoral (região anterior da coxa), músculos isquiotibiais (região posterior da coxa) e tríceps sural (panturrilha). O tempo de aplicação sobre cada região foi de 30 segundos e a terapia sempre foi realizada imediatamente após os treinos 2 vezes por semana, durante 6 semanas, totalizando 12 sessões de terapia. O grupo LEDT-Placebo recebeu uma irradiação LED placebo, pois enquanto o display do equipamento contava o tempo da terapia (30 segundos), a irradiação não era transmitida de fato. Esse equipamento possui uma chave seletora que permite desligar a emissão da irradiação dos diodos de LED. Os parâmetros de irradiação da terapia LED são descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Característica de cada diodo de LED (light-emitting diode), parâmetros da terapia LED (LEDT) e regiões de irradiação sobre os músculos da coxa

Número de LEDs do equipamento	50
Distância entre os LED	3 cm
Comprimento de onda dos LED	850nm
Frequência	Contínuo
Potência de cada diodo	50 mW
Área do diodo	0,2 cm ²
Densidade de potência	0,5 W/cm ²
Tempo de tratamento sobre cada região	30 segundos
Energia por diodo LED em 30 segundos	1,5 J
Densidade de energia em 30 segundos	7,5 J/cm ²
Número de pontos irradiados por região	50
Energia total aplicada por grupo muscular	75 J

Siglas. J: Joule; W (Watts); cm (centímetros).

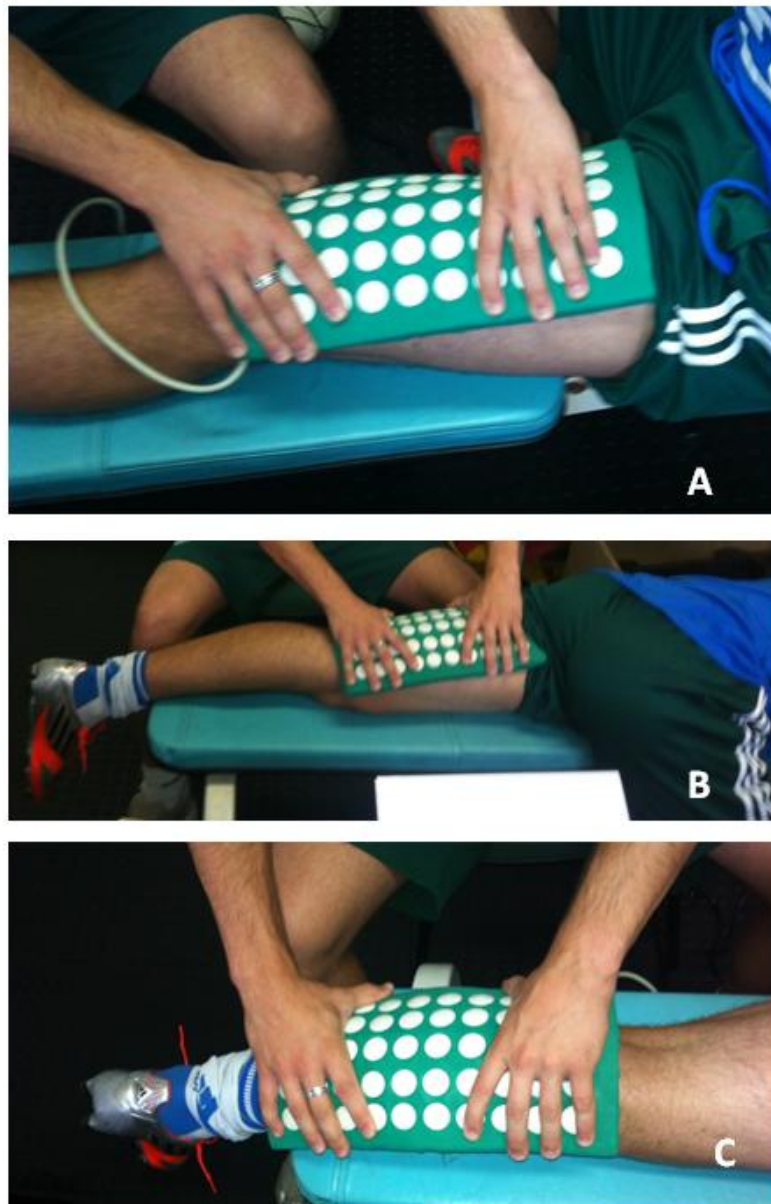


Figura 3 – Aplicação da terapia LED. A: quadríceps. B: isquiotibiais. C: tríceps sural.

Para avaliação funcional dos jogadores de futebol foram realizados os testes de salto vertical e de corrida de 10 e 35 metros, nessa respectiva ordem, sempre no período matutino do dia. Estas avaliações foram realizadas no período pré e pós 6 semanas de treinamento.

Protocolo de Avaliação do Salto Vertical

Os atletas realizaram 05 saltos verticais seguindo metodologia previamente proposta (KOMI e BOSCO, 1978). Essa metodologia consiste na realização de um salto vertical com semi-agachamento na angulação de 90 graus de flexão do joelho, partindo de uma posição estática e sem que haja contramovimento prévio de qualquer segmento corpóreo. As mãos estavam fixas e próximas ao quadril (região supra-ílica) durante o salto e os joelhos permaneceram em extensão durante o voo (KOMI e BOSCO, 1978). Cada atleta realizou 5 tentativas de salto vertical, intervaladas por 3 minutos e foi considerado válido o melhor salto, ou seja, o salto com a maior altura (em centímetros). Todos os saltos foram realizados sobre plataforma de salto, registrando-se a altura e a potência muscular (em Watts). A Figura 4 (A e B) ilustra essa avaliação.

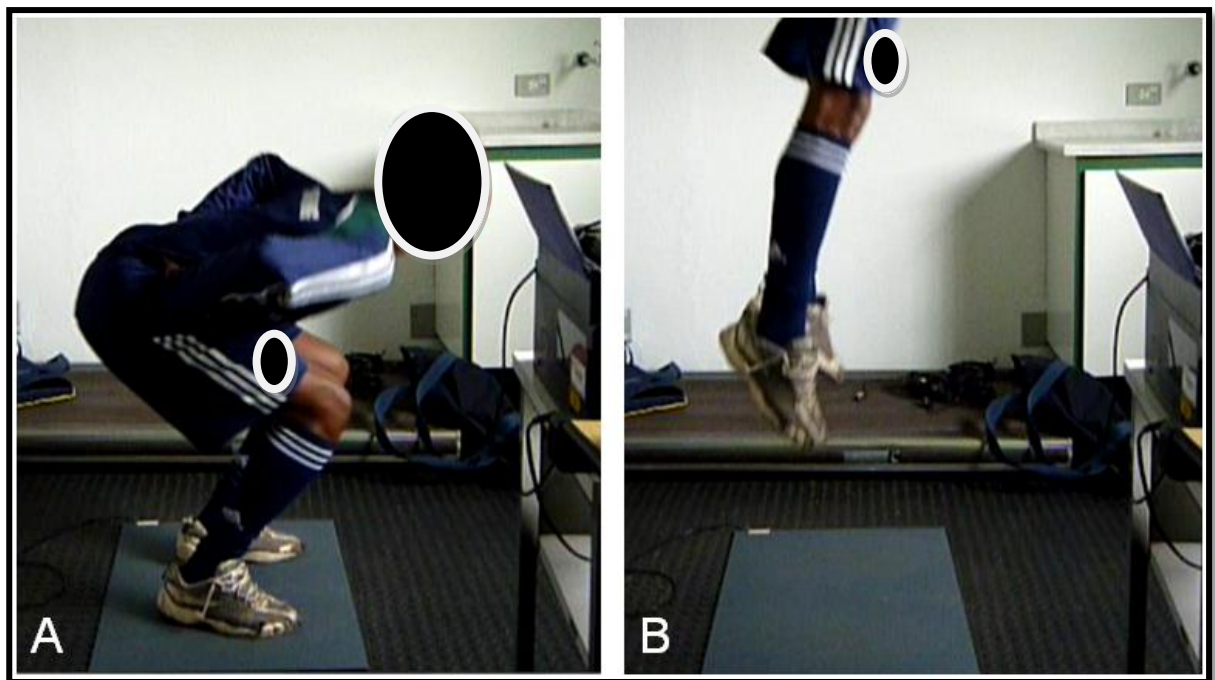


Figura 4- Posicionamento para avaliação do Salto Vertical. A: Semi-agachamento (90° de flexão dos joelhos) e mãos posicionadas sobre a região supra-ílica. B: Voo no salto vertical – extensão dos joelhos.

Protocolo de Avaliação da velocidade de corrida em 10 e 35 metros

A avaliação da velocidade de corrida foi realizada no campo de futebol e três fotocélulas foram utilizadas nessa avaliação: a primeira foi colocada na posição 0 metros, a segunda a 10 metros de distância da primeira e a terceira a 35 metros da primeira (Figura 5A). Os atletas correram a distância de 35 metros para se identificar as velocidades média (m/s) de 0 a 10 metros e de 0 a 35 metros. Os atletas realizaram 3 tentativas e a de maior velocidade foi considerada para as análises (Figura 5B).



Figura 5– A: Posicionamento das fotocélulas a 0, 10 e 35 metros no campo de futebol. B: Corrida dos jogadores e registro da velocidade média nas distâncias de 10 metros e 35 metros.

Análise estatística

Foi analisada a normalidade da distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade das variâncias pelo teste de Levene. O efeito da LEDT sobre o desempenho funcional (salto e corrida) foi verificado por meio da análise de variâncias (ANOVA two-way) com medidas repetidas em apenas um fator. Os fatores independentes foram o grupo (com 2 níveis – grupo treinamento associado a LEDT e grupo treinamento associado a LEDT-Placebo) e o tempo (com 2 níveis – inicial e final), o qual também foi considerado como medida repetida (FERRARESI et al., 2011). Quando encontradas diferenças significativas, realizamos o teste de post-hoc de Tukey. Também, os grupos foram comparados pelo teste de Mann Whitney considerando os aumentos percentuais de cada grupo para a altura (cm) e potência muscular (W) no salto vertical, bem como os percentuais de aumento nas velocidades médias (m/s) de corrida de 10m e 35m. Foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$.

2.3 – Resultados

As características clínicas dos atletas, como a idade e a maturação biológica, bem como os dados antropométricos ($65,85 \pm 7,35$ Kg; $1,75 \pm 0,05$ m e $21,28 \pm 1,75$ Kg/m²) e a composição corporal destes atletas podem ser visualizados na Tabela 2.

Após 6 semanas de treinamento físico associado à fototerapia, o grupo LEDT aumentou significativamente a altura (cm) do salto vertical (de $36,02 \pm 3,95$ para $39,20 \pm 4,52$; $p < 0,001$) (Figura 6) e a potência muscular (W) (de $382,62 \pm 31,82$ para $417,62 \pm 31,19$; $p = 0,003$) (Figura 7). Também houve o aumento significativo da velocidade média (m/s) da corrida de 10m (de $5,94 \pm 0,35$ para $6,13 \pm 0,45$; $p < 0,001$) (Figura 8) e de 35m (de $7,43 \pm 0,32$ para $7,51 \pm 0,32$; $p = 0,003$) (Figura 9). O grupo Placebo não mostrou diferença significativa na altura do salto vertical (de $36,25 \pm 4,55$ para $37,38 \pm 4,26$; $p = 0,017$), potência muscular (de $460,00 \pm 36,07$ para $476,25 \pm 32,87$; $p = 0,220$), bem como, para velocidade média de 10m (de $5,85 \pm 0,26$ para $5,91 \pm 0,23$; $p = 0,127$) e 35m (de $7,38 \pm 0,12$ para $7,41 \pm 0,12$; $p = 0,244$).

A comparação dos ganhos percentuais entre os grupos LEDT e Placebo pode ser observada na Tabela 03 e é ilustrada nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

Tabela 2– Características clínicas dos atletas.

Atletas	IT	MC	Altura	% gord.	IMC
Atleta 01	G5P4	63	1,68	9,8	22.32
Atleta 02	G4P5	65,4	1,72	10,1	22.10
Atleta 03	G5P4	57,3	1,73	9,9	19,16
Atleta 04	G4P5	60,1	1,69	10,5	21.08
Atleta 05	G4P4	63,6	1,71	11,8	21.78
Atleta 06	G4P4	53	1,68	8,7	18.79
Atleta 07	G5P4	63	1,77	10,5	20.12
Atleta 08	G4P4	55,5	1,69	10,5	19.47
Atleta 09	G4P4	72,4	1,78	11,6	22.9
Atleta 10	G5P4	74,3	1,77	10,8	23.73
Atleta 11	G5P4	76,5	1,81	10,5	23.39
Atleta 12	G4P4	68,5	1,77	11,6	21.88
Atleta 13	G5P4	74,4	1,84	10,5	22.01
Atleta 14	G4P4	63	1,81	9,9	19.26
Atleta 15	G4P4	67,8	1,79	10,1	21.16
Atleta 16	G5P4	75,4	1,81	11,6	23.05

Siglas: IC (índice de Tanner/maturação biológica); MC (massa corporal em Kg); Altura (m); % gord (percentual de gordura corporal); IMC (índice massa corpórea).

Tabela 3 – Comparação dos ganhos percentuais dos grupos de terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo) no teste de Mann Whitney

	LEDT	Placebo	LEDT x Placebo
Salto (cm)	8,78 %	3,27%	p<0,001
Salto (potência)	9,46%	3,65%	p=0,049
Corrida 10m	3,06%	1,06%	p=0,001
Corrida 35m	1,12%	0,51%	p=0,037

Siglas: cm (centímetros); m (metros); LEDT (terapia LED).

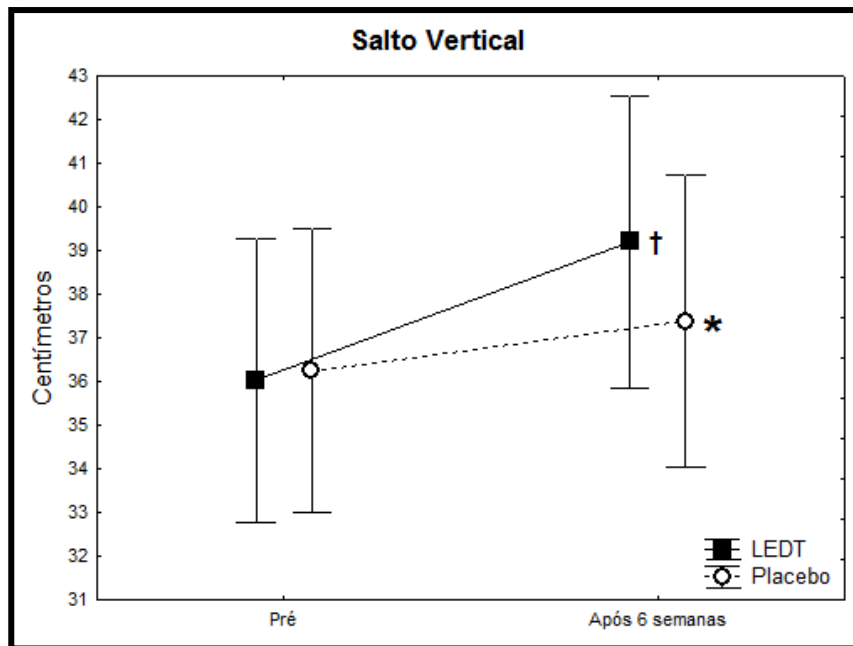


Figura 6 – Altura em centímetros (cm) do salto vertical no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$ e †: $p < 0,001$. Anova Two-way com medidas repetidas.

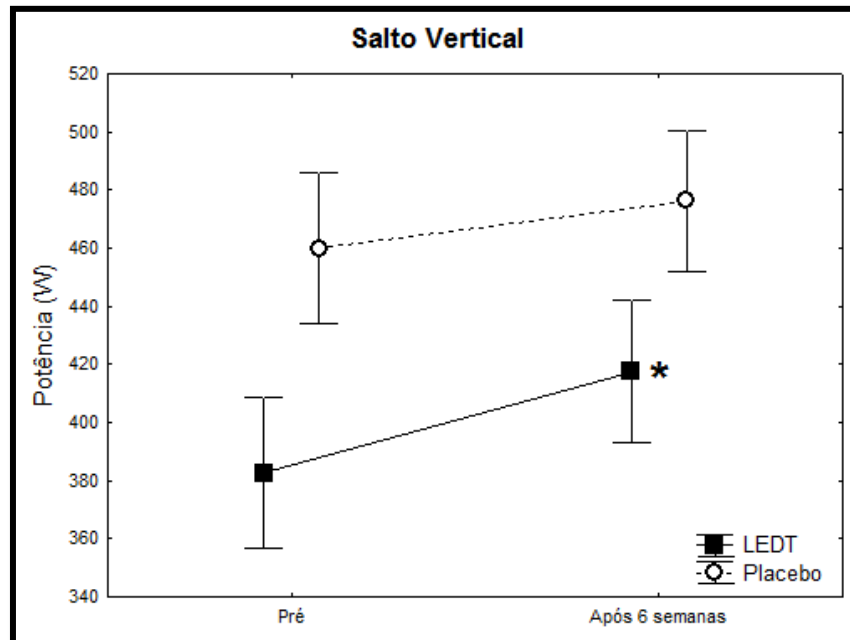


Figura 7 – Potência muscular em Watts (W) desenvolvida no teste de salto vertical no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Anova Two-way com medidas repetidas.

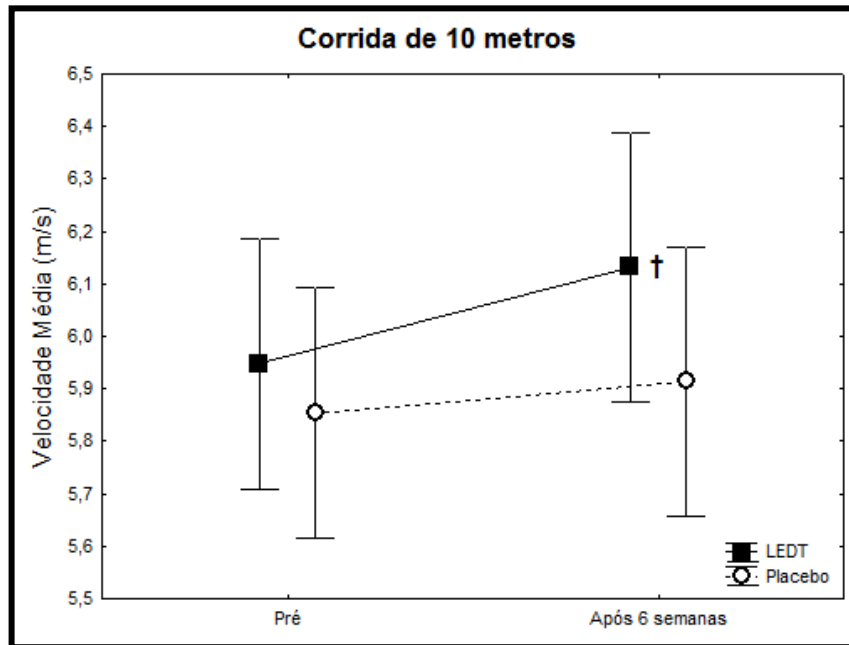


Figura 8 – Velocidade média em metros por segundo (m/s) desenvolvida na corrida de 10 metros no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). †: $p < 0,001$. Anova Two-way com medidas repetidas.

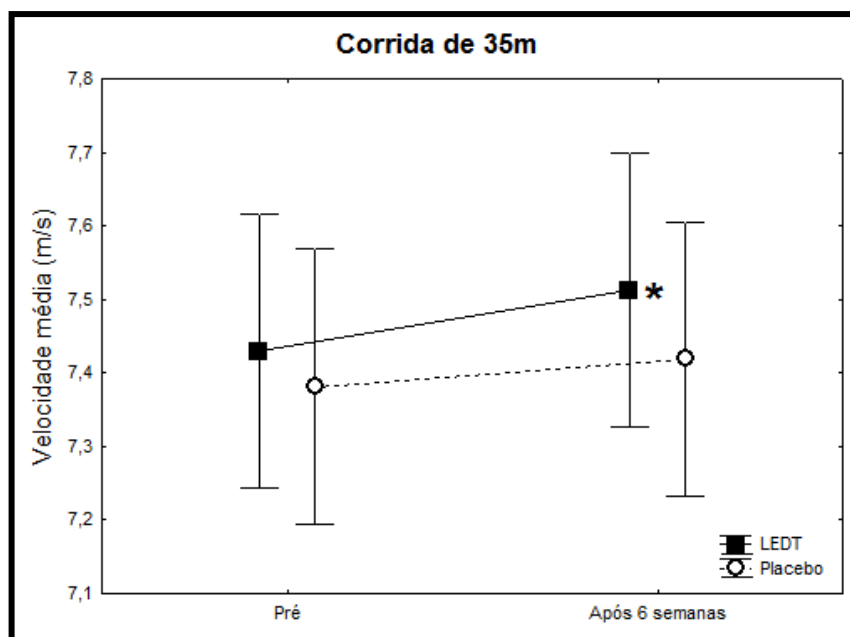


Figura 9 – Velocidade média em metros por segundo (m/s) desenvolvida na corrida de 35 metros no início e após 6 semanas de tratamento com terapia LED (LEDT: lighth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Anova Two-way com medidas repetidas.

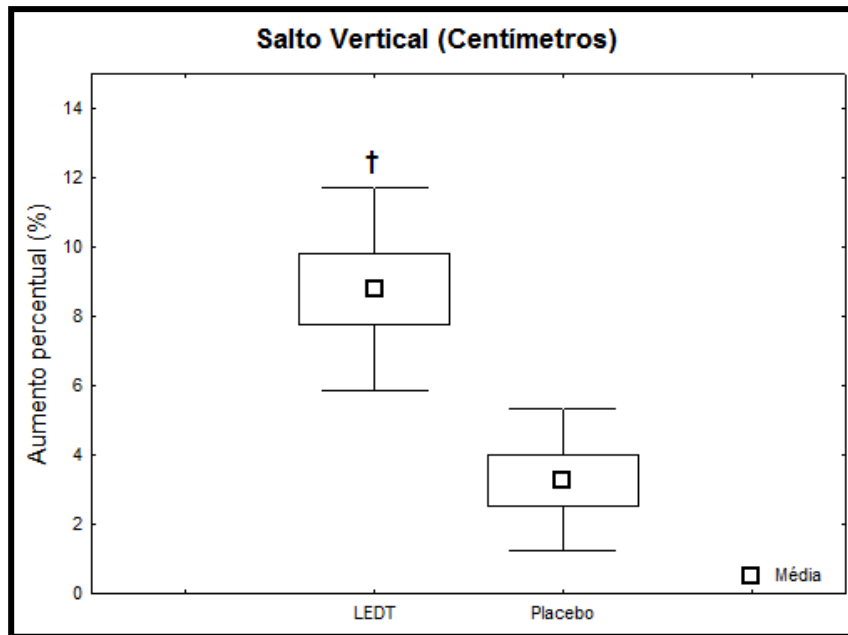


Figura 10 - Aumento percentual da altura em centímetros (cm) do salto vertical dos grupos LEDT (terapia LED: ligth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). †: p < 0,001. Teste de Mann Whitney.

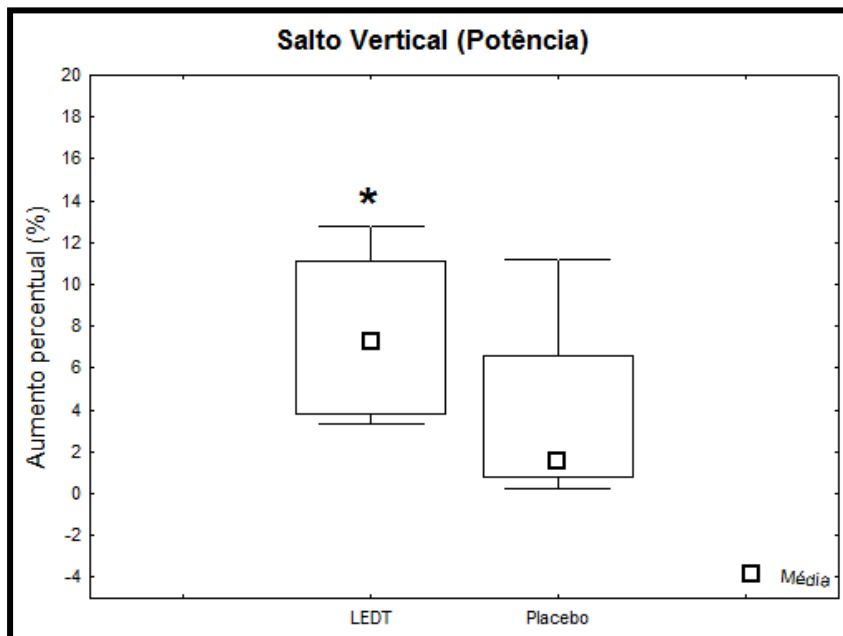


Figura 11 - Aumento percentual da potência muscular em Watts (W) do salto vertical dos grupos LEDT (terapia LED: ligth-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: p < 0,05. Teste de Mann Whitney.

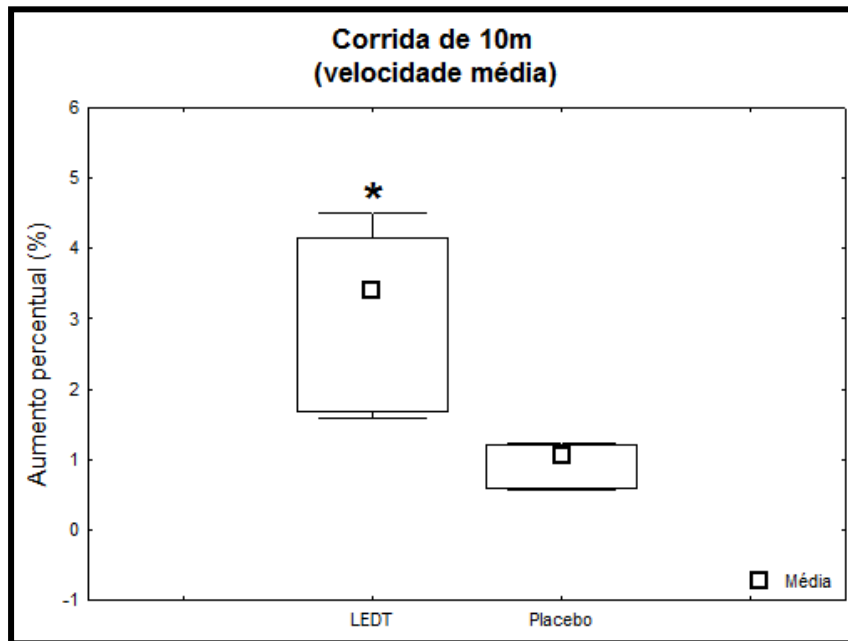


Figura 12 - Aumento percentual da velocidade média em metros por segundo (m/s) na corrida de 10 metros (m) dos grupos LEDT (terapia LED: light-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Teste de Mann Whitney.

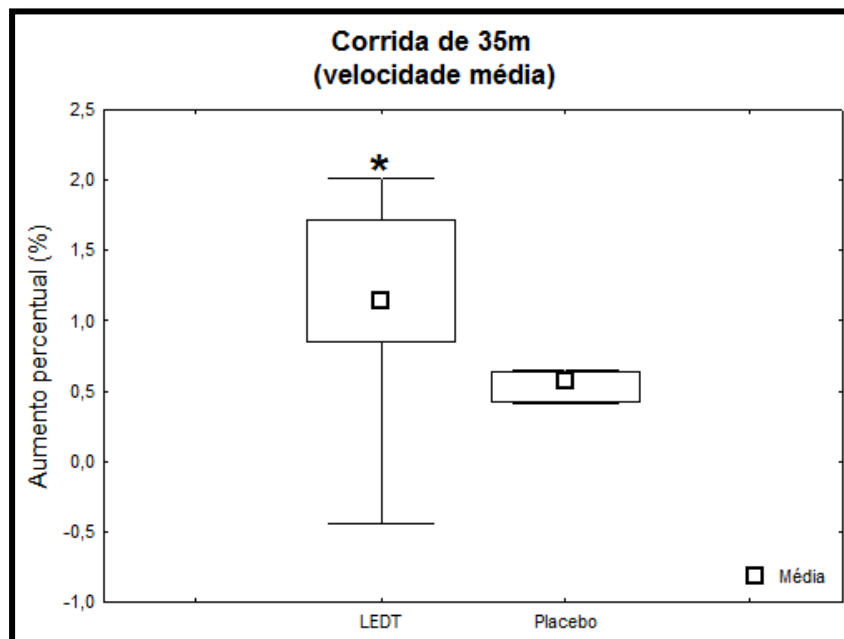


Figura 13 - Aumento percentual da velocidade média em metros por segundo (m/s) na corrida de 35 metros (m) dos grupos LEDT (terapia LED: light-emitting diode) e terapia LED-Placebo (Placebo). *: $p < 0,05$. Teste de Mann Whitney.

2.4 – Discussão e Conclusão

Este é o primeiro estudo que avaliou os efeitos crônicos do exercício físico associado com a terapia LED em atletas profissionais de futebol. O principal resultado deste estudo foi o aumento da altura de salto, potencia muscular e velocidade de corrida em atletas do sexo masculino da categoria sub 15.

Para Barbanti (AMADIO e BARBANTI, 2000) o rendimento da potência muscular para um velocista, obtida por meio do salto vertical saindo da posição de meio agachamento, tem forte correlação com a aceleração da corrida nos primeiros 15-20 metros. Neste contexto, estas avaliações funcionais que permitem a análise de força e velocidade são fundamentais para mostrar os efeitos potencializadores da fototerapia sobre o treinamento físico para atletas de futebol.

Em relação ao nível de maturação biológica dos atletas, este é um importante fator a ser considerado, pois na categoria sub 15 estes atletas mostram altos níveis hormonais e estão na fase final do estirão do crescimento, no qual já houve o aumento linear e estão iniciando a fase de platô. Neste contexto, em atletas púberes, o nível de maturação biológica dos atletas está diretamente relacionado ao desempenho de força e velocidade muscular que sofrem influência de altos níveis hormonais (MALINA, 2005; BARBANTI, 1989).

Fatores endógenos e exógenos participam do processo maturacional. Dentre os fatores endógenos destacam-se a genética, raça, aumento dos hormônios anabólicos associados à puberdade, como o hormônio do crescimento (GH), fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1) e esteróides sexuais, além de marcadores de remodelação óssea. O próprio crescimento e aumento da produção de hormônios como a testosterona no período pubertário, têm como efeito um aumento da massa magra e por consequência o aumento da força muscular. Enquanto, os principais fatores exógenos são os aspectos nutricionais e o exercício físico (ALVES e LIMA, 2008).

Em estudo experimental que avaliou os efeitos da terapia LED após exercício físico resistido, no qual as ratas realizavam saltos com carga em tanque d'água foi constatado a modulação das citocinas, como o factor de necrose tumoral alfa (TNF- α) e interleucina 6 (IL-6), demonstrando que a terapia LED pode atuar como um anabólico natural para o aumento da função muscular devido ao aumento na concentração de IGF-I e do volume muscular (CORAZZA et al. 2013).

Então, no atual estudo, o desempenho físico destes púberes são influenciados pelos fatores endócrinos, pela fototerapia e pelos exercícios físicos, o que intensifica os efeitos anabólicos naturais.

Em outro estudo experimental, a fototerapia (laser 830 nm) foi aplicada em ratos imediatamente após o treinamento de natação e foi constatado maior estoque de glicogênio hepático e muscular, bem como, maior capacidade de suportar cargas mais elevadas em comparação com os animais que se exercitaram e não realizaram fototerapia. Estes resultados indicam maior capacidade de conversão de energia por meio da beta oxidação, o que sugere maior atividade mitocondrial (AQUINO et al. 2012). No estudo de Vieira et al. (2006), o laser infravermelho (780 nm, 15 mW e 3,8 J/cm²) foi aplicado em ratos após o treinamento na esteira e constatou melhor resposta adaptativa com otimização da via oxidativa, verificada pela inibição da enzima lactato desidrogenase (LDH - enzima terminal da glicólise anaeróbia).

Em estudos clínicos, Ferraresi e colaboradores (2011) mostraram que a fototerapia (laser com 6 diodos, 850 nm) aplicada, em jovens do sexo masculino, após o treinamento de força aumentou o desempenho do quadríceps (maior carga máxima de trabalho, perimetria da coxa, torque e potência muscular) comparado ao grupo treinado sem fototerapia e ao grupo sedentário. Em outro estudo, Vieira e colaboradores (2012) mostraram que a fototerapia (laser com 6 diodos, 850 nm) aplicada, em jovens do sexo feminino, após o treinamento aeróbio em cicloergômetro aumentou a potência muscular e reduziu a fadiga comparado ao grupo treinado sem fototerapia e ao grupo sedentário. Ainda, resultados similares foram encontrados nos estudos de Paolillo e colaboradores (2011 e 2012) que aplicaram a terapia LED durante o exercício de alta intensidade na esteira ergométrica e constataram o aumento da potência muscular e da resistência à fadiga em mulheres na pós-menopausa. A hipótese citada pelos autores sugere que a fototerapia induz: (i) a formação de mitocôndria gigante, (ii) integração entre a via aeróbia e anaeróbia para produção de ATP com maior re-síntese de fosfocreatina e (iii) remoção e oxidação de ácido lático pela via aeróbia.

A resíntese de fosfocreatina pelo ATP aeróbio demonstra uma integração do metabolismo aeróbio e anaeróbio de produção de ATP descrita previamente (FERRARESI et al., 2011). Esse mecanismo refere-se a resíntese de fosfocreatina, o qual é dependente do mecanismo mitocondrial de lançadeiras de creatina, presentes em maiores quantidades nas fibras musculares com características oxidativas. O sistema de lançadeiras de creatina capta a adenosina di-fosfato (ADP) e fósforo inorgânico (Pi) resultantes da utilização do ATP na contração muscular e os transporta até a matriz mitocondrial, passando pela membrana interna dessa organela por meio da translocase de nucleotídeos de adenina. O ATP produzido pela

fosforilação oxidativa faz o mesmo caminho, porém no sentido contrário, fornecendo energia para a reação de re-síntese de fosfocreatina próxima ao músculo sob atividade, sendo essa reação catalisada pela creatina quinase muscular. Concomitantemente a esse processo, a utilização da energia da fosfocreatina para resintetizar o ATP muscular gera creatina, ADP e também Pi. Enquanto o ADP e Pi seguem o caminho já descrito anteriormente, a creatina é transportada até o espaço intermembranas da mitocôndria muscular e, então, a creatina quinase mitocondrial catalisa a reação de re-síntese de fosfocreatina, utilizando também o ATP produzido pela fosforilação oxidativa. Por fim, a fosfocreatina é transportada para o sítio de contração muscular e fornece a energia necessária para que se continue a atividade contrátil por aumentar a razão ATP/ADP (TONKONOGLI e SAHLIN, 2002).

Nesse contexto, a fototerapia de baixa potência tem se mostrado um importante recurso terapêutico para aumentar a força muscular e reduzir a fadiga (LEAL JUNIOR et al., 2008; FERRARESI et al., 2011; DE BRITO VIEIRA et al., 2012) o que pode influenciar no desempenho de velocidade dos atletas.

A velocidade cíclica ou acíclica de um atleta está relacionada com um curto espaço de tempo de execução de movimento e condução do estímulo neural para as unidades motoras contráteis das fibras musculares, principalmente do tipo 2 que apresentam características de contração rápida e predominância da via glicolítica. A contração rápida e a velocidade dependem do desenvolvimento da capacidade de gerar força e, assim, o desempenho nas corridas de alta velocidade é resultado direto do impulso (produto da força média e tempo de contato) aplicado por um atleta contra o solo durante a fase propulsiva da passada. Então, a grande força gerada durante a fase de aterrissagem está relacionada com a força dos flexores e extensores do quadril, extensores do joelho e flexores plantar (AMADIO e BARBANTI, 2000). Entretanto, a capacidade de gerar força pode ser limitada pela fadiga muscular (ASMUSSEN, 1979; ADEYANJU e ANKALE, 1996; GREEN, 1997) o que resulta na redução do desempenho dos atletas durante uma competição (EDWARDS, 1981; BIGLAND-RITCHIE et al., 1982; EKBLÖM, 1986; BAKEL e BELL, 1994; BANGSBO, 1994; EKBLÖM, 1994).

A fototerapia associada com o treinamento de força parece modular algumas importantes funções do músculo esquelético, no estudo de Ferraresi e colaboradores (2012) foi constatado através de microarrays o aumento da expressão de genes relacionados à biogênese mitocondrial [peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1 alpha (PPARGC1- α)], síntese protéica [alvo mamífero da rapamicina (mTOR)] e angiogênese tecidual [fator de crescimento endotelial vascular (VEGF)], bem como, redução da expressão

de genes relacionados a degradação protéica [Muscle Ring Finger 1 (MuRF1)] e inflamação [interleucina-1 β (IL-1 β)].

Os resultados desses trabalhos prévios corroboram com os resultados reportados no atual estudo, pois o grupo tratado com a terapia LED aumentou o desempenho dos atletas avaliado através do salto vertical (altura e potência muscular) e a velocidade média nas corridas de 10 e 35 metros, enquanto que o grupo placebo não obteve o mesmo desempenho.

Portanto, a terapia LED aplicada após o treinamento de força potencializou o desenvolvimento das capacidades condicionantes dos atletas de futebol, entre elas, a força, velocidade, agilidade e potência muscular que são fundamentais para o alto rendimento esportivo.

Estudo II

Efeitos da Terapia LED de Baixa Potência sobre a Cinética da Enzima Creatina Quinase (ck) em Atletas de Futebol: Estudo Cruzado, Duplo-cego, Randomizado e com Placebo.

RESUMO

Contexto e Objetivos: A fototerapia de baixa potência tem ação anti-inflamatória, analgésica e acelera o processo de reparação tecidual. Este estudo consiste em investigar os efeitos agudos do exercício físico associado com a terapia LED, na faixa do infravermelho (850 nm) e baixa potência (50 mW) em diferentes doses de radiação infravermelha e com a realização da crioterapia em atletas de futebol após partidas oficiais do campeonato paulista sub 17.

Desenho do estudo/Materiais e métodos: Foi realizado um estudo clínico, randomizado, cruzado, duplo cego e com placebo. Participaram do estudo 15 atletas de futebol com idade entre 16 e 17 anos. Os atletas foram alocados randomicamente em 3 grupos: grupo terapia LED (LEDT); grupo placebo e; grupo crioterapia. A terapia LED foi aplicada em diferentes tempos (15, 30, e 45 segundos) que resultaram em diferentes doses de radiação por diodo ($3,75 \text{ J/cm}^2$; $7,5 \text{ J/cm}^2$ e $11,25 \text{ J/cm}^2$) aplicadas sobre o quadríceps femoral, isquiotibiais e tríceps sural, enquanto a crioterapia foi realizada por 5 minutos. As terapias foram aplicadas imediatamente após o término do jogo de futebol. Nos jogos seguintes os grupos eram aleatoriamente invertidos, o que totalizaram em 7 jogos de futebol. As concentrações sanguíneas de creatina quinase (CK) foram realizadas 24 horas precedentes ao jogo e 48 horas após os jogos para analisar os níveis de estresse muscular.

Resultados: Não houve diferenças significativas nos níveis séricos de CK quando a LED terapia foi aplicada durante 15 e 30 segundos. Entretanto, as terapias foram aplicadas durante 15 segundos houve somente redução significativa dos níveis de CK para os grupos placebo (de $567,92 \pm 359,74$ para $317,57 \pm 272,57$; $p=0,043$) e crioterapia (de $674,66 \pm 389,76$ para $360,06 \pm 263,19$; $p=0,003$). Além disso, a terapia LED aplicada durante 45 segundos mostrou uma redução significativa nos níveis séricos de CK (de $723,00 \pm 462,61$ para $353,71 \pm 208,20$; $p=0,042$).

Conclusão: A terapia LED aplicada durante maior tempo (45 segundos) com consequente dose de $11,25 \text{ J/cm}^2$ por diodo reduziu o nível de CK, uma importante enzima considerada como marcador de lesão muscular. Portanto, este resultado indica acelerada recuperação pós-exercício que é fundamental para ótima preparação física dos atletas de futebol.

Palavras-chave: terapia LED (LEDT), crioterapia, atleta, futebol.

ABSTRACT

Context and objectives: Phototherapy stimulates the anti-inflammatory effect with analgesia and leads to accelerate the process of tissue repair. The aim of this study was to evaluate the effects of physical exercise associated with LED therapy (850 nm) and low power (50 mW) with different doses of infrared radiation, as well as with the completion of cryotherapy in athletes after soccer official matches of the “Campeonato Paulista sub 17”.

Study design/materials and methods: a randomized, cross over, double-blind clinical trial, controlled with placebo study was conducted. Fifteen soccer athletes aged between 16 and 17 years participated in the study. The athletes were randomly allocated into 3 groups: i) LED therapy group (LEDT); ii) placebo group; and iii) cryotherapy group. The LED therapy was applied at different periods (15, 30, and 45 seconds) that resulted in different doses of radiation (3.75 J/cm^2 ; 7.5 J/cm^2 and 11.25 J/cm^2) applied on the quadriceps, hamstrings and sural triceps, while the cryotherapy was held for 5 minutes. The therapies were applied immediately after the soccer games. The groups were inverted in the following games (total of 7 games). The serum creatine kinase (CK) levels were measured at the 24 hours before the games and 48 hours post-game.

Results: There were no significant changes in the serum CK levels when the LED therapy was applied during 15 and 30 seconds. However, when the therapies were applied during 15 seconds, there was only a significant reduction in CK levels for both the placebo (from 567.92 ± 359.74 to 317.57 ± 272.57 ; $p=0.043$) and cryotherapy (from 674.66 ± 389.76 to 360.06 ± 263.19 ; $p=0.003$) groups. Moreover, LED therapy applied during 45 seconds showed a significant reduction in serum CK levels (from 723.00 ± 462.61 to 353.71 ± 208.20 ; $p=0.042$).

Conclusion: The LED therapy applied during 45 seconds with greater dose (11.25 J/cm^2) reduced significantly the level of CK. This important enzyme is considered an indirect marker of muscle injury. Therefore, these results indicate accelerated post-exercise recovery that lead to optimal physical preparation of soccer athletes.

Key Words: light-emitting diode therapy (LEDT), cryotherapy, athlete, football

2.5 – Introdução

As lesões teciduais, como as lesões musculares em atletas, os tornam temporariamente incapacitados para vida produtiva e diminuem a longevidade atlética. Exercícios concêntricos, bem como, os excêntricos de alta intensidade, entre eles as freadas e desacelerações bruscas, movimentos de saltos, mudanças de direção em velocidade estão presentes tanto nos treinamentos como nos jogos de futebol e aumentam o risco do desenvolvimento de lesões musculares (WEINECK, 2000).

A lesão muscular induzida por exercício concêntrico (MALAGUTI, et al. 2009) e excêntrico (LIMA-CABELLO, et al. 2010) de alta intensidade produzem espécies reativas de oxigênio (EROs) que induz a peroxidação lipídica, oxidação da glutatona, lesão oxidativa de proteína e aumento dos marcadores de estresse oxidativo. Outro parâmetro utilizado como marcador indireto de lesão muscular é a enzima creatina quinase (CK). Segundo Uchida et al. (2009), maiores níveis plasmáticos de CK são geralmente encontrados 48 horas após a realização de esforço intenso e pode continuar alterado até 7 dias consecutivos.

Para recuperação muscular pós-exercício, vários agentes físicos podem ser utilizados, como a crioterapia e a fototerapia. A crioterapia gera rápida vasoconstrição com redução da circulação sanguínea da pele e diminuição do metabolismo celular local, além de ações que incluem redução da dor, do edema e da resposta inflamatória (NADLER et al., 2004). Em relação a fototerapia, a radiação vermelha e infravermelha absorvida pelo tecido biológico acelera o transporte de elétrons na cadeia respiratória da mitocôndria, aumenta a síntese de ATP, gera alterações nas expressões de DNA/RNA, aumenta a angiogênese e possibilita a regeneração tecidual, como no músculo (VLADIMIROV, OSIPOV E KLEBANOV, 2004); (RIZZI et al., 2006). Além de propiciar o efeito anti-inflamatório (FILLIPIN et al., 2005) e analgésico (HAGIWARA et al., 2007).

Uma revisão na literatura mostra que os efeitos comparativos entre terapia LED e crioterapia foram realizados somente em dois estudos, um experimental com aplicação de radiação infravermelho (940 nm) em ratos após exercícios físicos na água (100 minutos) e outro com aplicação de radiação vermelha (660 nm) e infravermelha (850 nm) após teste em cicloergômetro (Wingate) em jogadores de futebol. Entretanto, os efeitos da terapia LED em diferentes dosagens, bem como, da crioterapia após situação real de jogo em campeonato ainda não foram demonstrados.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos agudos do exercício físico associado com a terapia LED, na faixa do infravermelho (850 nm) e baixa potência (50

mW) em diferentes doses de radiação infravermelha e com a realização da crioterapia em atletas de futebol após partidas oficiais do campeonato paulista sub 17.

2.6 – Métodos

Este estudo foi desenhado como um ensaio clínico randomizado, cruzado, duplo-cego e com placebo. Todos os procedimentos foram devidamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (Parecer 218/2012) e pode ser visualizado no Anexo 1. Todos os sujeitos foram informados sobre os objetivos do estudo, procedimentos e, após a admissão ao experimento, o responsável legal de cada atleta menor de idade assinou um termo de consentimento livre e esclarecido. O atual estudo foi registrado no National Institutes of Health (NIH) Clinical Trials, U.S. (NCT 01770977).

Sujeitos

Fizeram parte do estudo 15 atletas do gênero masculino que de acordo com a pré-avaliação médica realizada rotineiramente pelo clube de uma equipe de futebol profissional do estado de São Paulo e foram considerados clinicamente saudáveis. Os atletas envolvidos no estudo pertenciam à categoria sub 17. O n(15) foi formado por atletas pertencentes ao mesmo grupo de trabalho, que inicialmente era composto por 25 atletas, sendo que destes, foram escolhidos 18 atletas relacionados para as partidas oficiais em que foram realizadas as coletas de dados, os atletas que não atuaram em todas as partidas, ou jogaram menos de 75% do tempo total do jogo foram automaticamente excluídos do estudo, formando um n final de 15 atletas.

Crítérios de Inclusão

Os sujeitos deveriam ser saudáveis; com idade entre 16 e 17 anos, púbere final ou pós-púberes, índice de massa corpórea (IMC) entre 18 e 25 Kg/m², ser atleta de futebol de campo da categoria sub 17, seguir a rotina dos treinamentos estipulados pela equipe de futebol profissional para a qual jogavam e participar de pelo menos 75% do total do tempo de jogo. Ainda, os atletas não poderiam fazer suplementação de proteínas.

Critérios de Exclusão

Os sujeitos não poderiam apresentar qualquer história de lesão muscular ou desordens do sistema osteoarticular dos membros inferiores 6 meses prévios ao estudo, doenças nos sistema cardiovascular ou outras doenças sistêmicas, como abordado por estudo prévio (FERRARESI et al., 2010).

Randomização

A randomização foi realizada por sorteio e cada atleta que participou de pelo menos 75% do total dos jogos foi alocado em um grupo distinto após as partidas de futebol, que se totalizaram em 7 jogos. Após os jogos 1, 2 e 3, os jogadores foram randomizados em grupo terapia LED (LEDT) aplicada durante 15s, grupo placebo com procedimento aplicado durante 15s e grupo crioterapia. Após os jogos 4 e 5, os atletas foram randomizados em terapia LED aplicada durante 30s, grupo placebo com procedimento aplicado durante 30s e, ainda, quem foi do grupo LEDT no jogo 4, recebeu placebo no jogo 5 e vice-versa. Após os jogos 6 e 7, os atletas foram randomizados em terapia LED aplicada durante 45s, grupo placebo com procedimento aplicado durante 45s e, ainda, quem foi do grupo LEDT no jogo 6, recebeu placebo no jogo 7 e vice-versa.

Instrumentos

Neste estudo foram utilizados: (i) um analisador bioquímico (Reflotron Plus Roche, Roche Diagnostics, Mannheim, Germany) e 80 fitas analisadoras da enzima CK, lancetas descartáveis, capilares, luvas de proteção para contato com sangue e materiais para assepsia do local a ser perfurado para retirada de sangue; (ii) um protótipo para fototerapia (Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI11037105, data de depósito: 29/08/2011, título: "Dispositivo Emissor de Luz com Formato Anatômico para Aumento do Desempenho Físico e Reparo do Tecido Muscular e Tendíneo") contendo um arranjo de 50 diodos do tipo LED (850nm) igualmente dispostos sobre material maleável de 34x18 centímetros desenvolvido pelo Laboratório de Apoio Tecnológico (LAT), do Instituto de Física de São Carlos (IFSC), da Universidade de São Paulo (USP) e; (iii) uma piscina contendo água em temperatura entre 4 e 5 graus Celsius para a realização da crioterapia.

Procedimentos

Características clínicas dos atletas

Foi avaliada a maturação biológica, os dados antropométricos e a composição corporal dos atletas. A maturação biológica foi determinada pelo índice de Tanner que consiste na sistematização da sequência do desenvolvimento das características sexuais secundárias no adolescente, através da descrição dos estágios de maturação sexual que são classificados à inspeção durante exame físico, e variam do estágio 1 (infantil) ao 5 (adulto), considerando-se o desenvolvimento da genitália externa (G) e da pilosidade pubiana (P) para o sexo masculino (LOURENÇO e QUEIROZ, 2010). A avaliação antropométrica consistiu em realizar medidas de estatura em centímetro (cm) e massa corpórea em quilograma (kg), através de balança biométrica. Para avaliação da composição corporal foi utilizada a adipometria através de 4 dobras cutâneas (tricipital, subescapular, supra-ilíaca e abdominal) de acordo com o protocolo de Faulkner (CAMPEIZ et al., 2004).

Jogos Oficiais

Os jogos oficiais de futebol aconteciam aos sábados sempre nos mesmo horário do período da manhã. Estes atletas escolhidos para participar da pesquisa eram titulares da equipe e jogaram a maior parte dos 7 jogos (mínimo de 75% do tempo total). Logo após o término dos jogos eram realizados os diferentes procedimentos: terapia LED, placebo e crioterapia.

Protocolo de Terapia LED

A terapia LED (LEDT) ou a LEDT-Placebo foram aplicadas sobre 3 regiões dos membros inferiores (quadríceps, isquiotibiais e tríceps sural) direito e esquerdo dos atletas como previamente descrita no estudo 1 e ilustrado na Figura 2. A potência dos LEDs (850 nm) era de 50 mW e o tempo de aplicação sobre cada região foi de 15, 30 e 45 segundos que resultou em diferentes doses de radiação infravermelha ($3,75 \text{ J/cm}^2$; $7,5 \text{ J/cm}^2$ e $11,25 \text{ J/cm}^2$). O grupo LEDT-Placebo recebeu uma irradiação LED placebo, pois enquanto o display do equipamento contava o tempo da terapia, a irradiação não era transmitida de fato. Esse equipamento possui uma chave seletora que permite desligar a emissão da irradiação dos diodos de LED. Ainda, nenhum dos atletas ou os pesquisadores eram cientes se a LEDT era efetiva ou placebo, pois essa informação foi restrita apenas ao avaliador responsável pela aplicação das terapias, caracterizando o estudo como duplo-cego.

Crioterapia

A crioterapia de imersão consistiu em resfriar a água de uma piscina ou container, onde o atleta fica submerso da espinha ílica para baixo em águas com temperaturas próximas de 5 graus Celsius durante 5 minutos (Figura 14).



Figura 14 – Crioterapia de imersão.

Exame bioquímico (CK)

As coletas de sangue eram realizadas com a ajuda de lancetas descartáveis e capilares. Após assepsia, foram retirados 32 microlitros (μl) de sangue do dedo indicador da mão esquerda (Figura 15). A coleta de sangue para análise bioquímica dos níveis plasmáticos de CK eram coletados antes dos jogos e após 48 horas do término dos jogos.

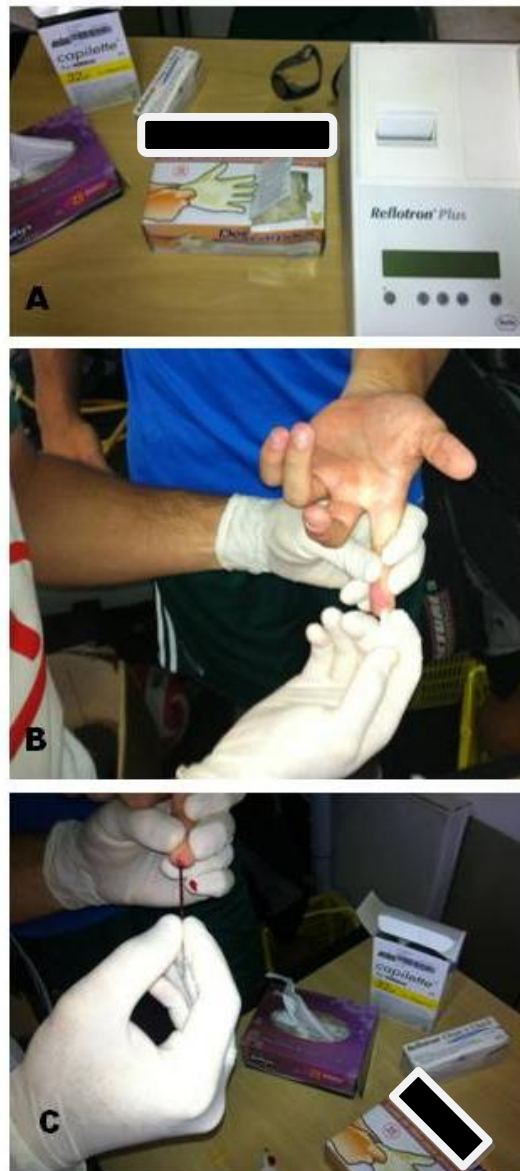


Figura 15 – Procedimento para coleta da enzima CK: A) materiais e equipamento utilizados; B) pequena perfuração no dedo indicador com lanceta descartável e; C) coleta de sangue com capilar.

Análise estatística

Foi analisada a normalidade da distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade das variâncias pelo teste de Levene. O efeito da LEDT nos jogos 1, 2 e 3, sobre os níveis sanguíneos de creatina quinase (CK), foi verificado por meio da análise de variâncias (ANOVA two-way) com três medidas repetidas em apenas um fator. Os fatores independentes foram o grupo [com 3 níveis – grupo treinamento associado a LEDT (15 segundos), grupo treinamento associado ao grupo placebo (15 segundos) e grupo crioterapia] e o tempo (com 2 níveis – inicial e final), o qual também foi considerado como medida

repetida (FERRARESI et al., 2011). Para os jogos 4 e 5 foi realizada a mesma análise estatística porém com dois níveis [LEDT (30 segundos – e grupo placebo (30 segundos)]. Em relação aos jogos de número 6 e 7 as análises foram repetidas com dois níveis [LEDT (45 segundos) – e grupo placebo (45 segundos)]. Quando encontradas diferenças significativas foi realizado o teste de post-hoc de Tukey. Foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$.

2.7 – Resultados

As características clínicas dos atletas, como a idade e a maturação biológica, bem como os dados antropométricos ($73,02 \pm 7,25$ Kg; $1,79 \pm 0,05$ m; $23,33 \pm 1,47$ Kg/m²) e a composição corporal destes atletas podem ser visualizados na Tabela 4.

Os tempos de jogos dos atletas que realizaram terapia LED, placebo e crioterapia podem ser visualizados na Tabela 5.

Não houve diferenças significativas nos níveis séricos de CK quando a LED terapia foi aplicada durante 15 e 30 segundos. Entretanto, houve a redução significativa na atividade da CK quando a LED terapia placebo foi aplicada durante 15 segundos ($p=0,043$) e no grupo crioterapia ($p=0,003$). Além disso, a terapia LED aplicada durante 45 segundos mostrou uma redução significativa nos níveis séricos de CK ($p=0,042$), como observado na Tabela 6.

Tabela 4 - Características clínicas dos atletas.

Atletas	IT	MC	Altura	% gord.	IMC
Atleta 01	G5p5	78,6	1,83	10	23.6
Atleta 02	G5p5	75	1,78	10,2	23.73
Atleta 03	G5p4	70	1,81	10,3	21.4
Atleta 04	G5p4	65,5	1,74	9,1	21.83
Atleta 05	G5p4	65	1,77	9,1	20.76
Atleta 06	G5p5	66,2	1,71	9,9	22.82
Atleta 07	G5p5	79	1,88	12,1	22.37
Atleta 08	G5p5	71	1,81	9,1	21.71
Atleta 09	G5p5	67	1,79	9,3	20.48
Atleta 10	G5p5	91	1,91	12,3	25
Atleta 11	G5p4	69	1,74	10,3	22,8
Atleta 12	G5p5	75	1,79	9,2	23.43
Atleta 13	G5p5	82	1,82	12,0	24.77
Atleta 14	G5p4	68	1,75	9,6	22,2
Atleta 15	G5p5	73	1,78	9,4	23.10

Siglas: IT (Índice Tanner); MC (massa corporal em Kg); Altura (m); % gord (percentual de gordura corporal); IMC (índice massa corpórea).

Tabela 5 – Tempo de jogo dos atletas que realizaram terapia LED, placebo e crioterapia.

Jogos	Grupos	Tempo de jogo (min)	Média por grupo (min)
1	Terapia LED 15 s	82,00 ± 4,00	
2	Terapia LED 15 s	73,20 ± 18,76	72,25 ± 18,77
3	Terapia LED 15 s	62,25 ± 23,45	
1	Placebo 15 s	51,40 ± 34,03	
2	Placebo 15 s	47,50 ± 37,96	62,64 ± 31,90
3	Placebo 15 s	86,00 ± 0,00	
1	Crioterapia 5 min	68,40 ± 23,84	
2	Crioterapia 5 min	54,80 ± 31,89	65,28 ± 25,72
3	Crioterapia 5 min	74,50 ± 21,00	
4	Terapia LED 30 s	82,00 ± 4,00	81,22 ± 7,41
5	Terapia LED 30 s	80,60 ± 9,83	
4	Placebo 30 s	84,00 ± 0,00	81,00 ± 6,27
5	Placebo 30 s	79,80 ± 7,25	
6	Terapia LED 45 s	83,00 ± 0,00	76,57 ± 16,13
7	Terapia LED 45 s	68,00 ± 24,24	
6	Placebo 45 s	74,60 ± 12,81	76,27 ± 11,16
7	Placebo 45 s	77,66 ± 10,61	

Tabela 6- Concentração sanguínea de creatina quinase (CK) nos atletas de futebol.

Jogos	LEDT			Placebo			Crioterapia		
	CK pré-jogo	CK 48 h após	<i>P</i> valor	CK pré-jogo	CK 48 h após	<i>P</i> valor	CK pré-jogo	CK 48 h após	<i>P</i> valor
1, 2 e 3	520,73 ±	395,33 ±	0,731	567,92 ±	317,57 ±	0,043*	674,66 ±	360,06 ±	0,003**
	339,90	241,66		359,74	272,57		389,76	263,19	
4 e 5	492,22 ±	315,77 ±	0,107	296,00 ±	451,00 ±	0,263	_____	_____	_____
	268,97	184,54		104,75	250,38		_____	_____	
6 e 7	723,00 ±	353,71 ±	0,042*	719,54 ±	522,45 ±	0,239	_____	_____	_____
	462,61	208,20		501,64	263,05		_____	_____	

* p<0.05; ** p<0.001

2.8 – Discussão e Conclusão

Este é o primeiro estudo que avaliou os efeitos agudos do exercício físico associado com a terapia LED em diferentes doses de radiação infravermelha e com a realização da crioterapia sobre a cinética da CK em atletas de futebol após partidas oficiais do campeonato paulista sub 17. O principal resultado obtido neste estudo foi a redução significativa dos níveis de CK quando a terapia LED foi aplicada por 45 segundos ($11,25 \text{ J/cm}^2$) após os jogos de número 6 e 7. Ainda, os níveis de CK após os jogos 4 e 5 não mostraram diferenças significativas para nenhum grupo. Entretanto, nos jogos 1, 2 e 3 quando as terapias foram aplicadas, houve redução significativa dos níveis de CK apenas para o grupo terapia LED placebo (15 segundos) e crioterapia.

Nos últimos anos a preocupação com a recuperação física de atletas de alto nível após jogos, competições e treinamentos tem ocupado lugar de destaque no âmbito esportivo. A recuperação eficiente do sistema músculo-esquelético e metabólico dos atletas pode beneficiar tanto um melhor rendimento esportivo, como também reduzir os índices de lesões do aparelho motor destes atletas. Em especial, o futebol tem como característica física as solicitações de exercícios com altos níveis de força, bem como, a realização de longo percurso, em torno de 10.000 metros, (EKBLUM, 1986; BANGSBO e LINDQUIST, 1992; BANGSBO, 1994), entretanto, este percurso é realizado de maneira intermitente, e com realização de corrida de baixa e alta intensidade, saltos, trabalhos de agilidade e rápidas mudanças de direção, que exigem e sobrecarregam o sistema músculo esquelético (HESPANHOL et al., 2006). Neste contexto, o estresse muscular e as lesões por sobrecarga, bem como, os períodos de recuperação física insuficiente são frequentes no cotidiano dos atletas de futebol e por isso o desenvolvimento de novos dispositivos e novas metodologias de treinamento físico e recuperação devem ser adotadas.

A crioterapia é frequentemente utilizada como recurso terapêutico na recuperação pós-exercício para propiciar analgesia, redução de edema e da resposta inflamatória (NADLER et al. 2004), o que pode explicar a redução significativa do CK no atual estudo, entretanto, a crioterapia apresenta limitações, como a tolerabilidade ao frio. Em relação à fototerapia, seus efeitos conduzem para ação analgésica (HAGIWARA 2007) e anti-inflamatória (FILLIPIN et al. 2005), bem como propicia a drenagem linfática e reduz o edema (KAVIANI et al. 2006), além do efeito bioestimulatório (WHELAN et al. 2001).

Camargo et al. (2012) investigou os efeitos da terapia LED (940 nm, 160 mW, $9,5 \text{ mW/cm}^2$ e 4 J/cm^2) e da crioterapia ($10 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 minutos) aplicadas em ratos após nadaram

por 100 minutos. Seus resultados mostram menor área de lesão, menor infiltrado inflamatório e menor nível de CK, o que demonstra que a fototerapia é mais eficiente na prevenção da lesão muscular e inflamação local.

Em estudo clínico, Leal Junior et al. (2001), comparou os efeitos da terapia LED (660 nm e 850 nm) com o procedimento de terapia LED placebo e crioterapia em atletas de futebol que realizaram teste de fadiga em cicloergômetro (Wingate). Foi constatado que os níveis de CK e lactato sanguíneo só reduziram significativamente para o grupo que realizou a terapia LED.

Em outros estudos clínicos que investigaram os efeitos agudos da fototerapia (LEAL JUNIOR et al. 2008 e LEAL JUNIOR et al. 2009c) aplicada imediatamente antes do exercício físico em jovens atletas mostraram o aumento do número de contrações musculares e menores níveis séricos de lactato sanguíneo, proteína C-reativa e CK, indicando aumento da resistência à fadiga e acelerada recuperação pós-exercício.

No estudo de DeMarchi et al. (2012) foi investigado os efeitos imediatos da fototerapia (laser 810 nm, 200 mW e 30 J em cada ponto por 30 segundos) aplicada antes do teste ergométrico em esteira e constataram maior tempo de realização de exercício físico, maior VO_{2max} e menor estresse oxidativo com redução da superóxido dismutase, catalase, lactato desidrogenase e CK, comparado ao grupo placebo. Estes resultados podem ser decorrentes da modulação do sistema redox que previne as lesões musculares, aumenta a força muscular e a resistência à fadiga.

Em estudo experimental, Liu et al. (2009) aplicou o laser com potências de 4 mW, 9 mW e 14 mW, com respectivas densidades de potência de 20 mW/cm², 46 mW/cm² e 71 mW/cm²) durante 10 minutos após exercício excêntrico em esteira ergométrica. Seus resultados mostraram menor infiltrado inflamatório, menor número de fibras necróticas, além de menores níveis de CK, maior atividade do superóxido dismutase e redução do malondialdeído comparado ao grupo sem fototerapia, o que indica maior atividade antioxidante e menor atividade inflamatória que é importante para recuperação pós-exercício.

Resultados obtidos por Baroni et al. (2010a e 2010b) mostraram que a Terapia LED (660/850 nm) e laser (810 nm) aplicadas em jovens adultos do sexo masculino promoveram efeitos imediatos no aumento da resistência à fadiga e a redução dos marcadores de lesão muscular (lactato desidrogenase e CK) comparado ao grupo que não recebeu fototerapia. As hipóteses citadas pelos autores sugere que a fototerapia: (i) melhora a microcirculação periférica que propicia melhores condições para realização de exercício utilizando a via aeróbia com aumento da síntese de ATP e redução do acúmulo de lactato sanguíneo; (ii)

promove efeito anti-inflamatório, com redução de espécie reativa de oxigênio e aumento da capacidade antioxidante, além de melhorar a função mitocondrial e aumentar a síntese de ATP.

Os efeitos da fototerapia e do exercício excêntrico sobre a tendinopatia de Aquiles em atletas recreacionais foi investigado por Stergioulas et al. 2008. Neste estudo, foi utilizado um laser infravermelho (820 nm, 30 mW, 60 mW/cm², 0.9 J por ponto) aplicados em 6 pontos no tendão de Aquiles durante 12 sessões em 8 semanas e foi constatado que a fototerapia reduziu significativamente a dor no tendão durante os exercícios físicos e durante palpação, bem como aumentou significativamente a amplitude articular durante dorsiflexão comparado ao grupo placebo.

Então, a fototerapia também pode auxiliar na redução da dor de início tardio (VINCK et al., 2006) e na recuperação muscular de atletas após exercício intenso (LEAL JUNIOR et al., 2010). Neste contexto, ainda não estão definidos claramente quais são os efeitos da fototerapia sobre a regeneração muscular em humanos, seja por laser ou LEDs de baixa potência. Apenas estudos *in vitro* e *in vivo* foram conduzidos para se identificar os efeitos da fototerapia na regeneração muscular via ativação, diferenciação e proliferação de células satélites, os quais evidenciam uma influência positiva da fototerapia no ciclo celular e ativação dessas células (WEISS e ORON, 1992; BEN-DOV et al., 1999; SHEFER et al., 2002).

A fototerapia é aplicada antes, durante ou após o exercício, pois altas intensidades de exercício podem gerar lesões musculares, dor tardia pós-exercício, fadiga, processo inflamatório e apoptose celular. Assim, o estresse metabólico induzido pelo exercício favorece a ação da fototerapia, pois a resposta tende a ser melhor quando o estado redox da célula é alterado (SUSSAI et al., 2009). Ainda, o comprimento de onda mais utilizado quando se associa a fototerapia com o exercício físico é o infravermelho, porque o seu espectro mostra maior penetração através da pele e dos demais tecidos comparado ao intervalo vermelho (ENWEMEKA, 2009).

De acordo com a lei de Arndt-Schultz, se a energia aplicada não for suficiente, não haverá resposta, pois o limite mínimo não foi atingido. Se a energia aplicada for maior, a bioestimulação será alcançada. Entretanto, se a energia aplicada for excessiva o estímulo desaparece e pode ocorrer bioinibição. Esta lei prediz um efeito dose-dependente, ou seja, acredita-se que haja um valor de dose que acima do limiar ocasione fotobioestimulação e um abaixo que ocasione fotobioinibição (PEPLOW et al., 2010). Por essa razão o atual estudo investigou os efeitos de diferentes doses de radiação sobre a recuperação pós-exercício e

constatou efeito terapêutico somente com o aumento do tempo de aplicação da radiação infravermelha (45 s) que resulta em maior dose aplicada ($11,25 \text{ J/cm}^2$). Já com menor tempo de aplicação (15 s) e em menor dose ($3,74 \text{ J/cm}^2$) houve efeito placebo da terapia LED, enquanto a crioterapia mostrou efeitos benéficos.

Portanto, maior dose de fototerapia ($11,25 \text{ J/cm}^2$ por diodo) aplicada em atletas profissionais sub 17 após partidas oficiais de futebol reduziu os níveis de CK e sugere acelerada recuperação pós-exercício, o que é importante para recuperação de microlesões musculares, aumento da funcionalidade do atleta e alto rendimento esportivo.

Capítulo 3

Conclusões

O avanço científico e tecnológico pode propiciar o preparo físico de excelência para que exerça um papel diferencial nos resultados de atividades de esporte atuais, sejam elas individuais ou coletivas, diferenciando equipes e países no âmbito nacional e internacional. Um exemplo é a biotecnologia que pode ser considerada indispensável nos processos de treinamento, preparação e desenvolvimento esportivo nos dias atuais. Assim, novos conhecimentos metodológicos e as tecnologias subjacentes na área esportiva contribuem para o aumento do condicionamento físico e reabilitação, incluindo atletas e para-atletas até a população em processo de envelhecimento e deficientes físicos, podendo contribuir, desta forma, para melhorar o sistema de saúde, tanto na perspectiva do tratamento como da prevenção.

Neste trabalho, formulou-se a hipótese de que os efeitos do treinamento físico conjugado aos efeitos da terapia LED (850 nm) de baixa potência (50 mW) sobre a bioenergética promovem uma potencialização do desempenho físico de atletas, além de uma possível influência na recuperação do dano muscular pós-exercício físico de alta intensidade. Dois estudos experimentais foram planejados nessa perspectiva.

No primeiro estudo foram avaliados os efeitos crônicos da terapia LED associado às rotinas de treinamento de atletas de futebol. Foi constatado que a fototerapia após 12 sessões de treinamento realizadas no período de 6 semanas aumentaram a altura do salto vertical, a potência muscular e a velocidade de corrida comparadas ao grupo placebo. Isto indica que a fototerapia aumentou as capacidades físicas de força e velocidade que são fatores decisivos durante uma partida de futebol.

No segundo estudo foram avaliados os efeitos agudos da terapia LED em várias doses de radiação ($3,75 \text{ J/cm}^2$; $7,5 \text{ J/cm}^2$ e $11,25 \text{ J/cm}^2$), bem como da crioterapia sobre o dano muscular em atletas de futebol após partidas oficiais. Foi constatada a redução significativa da CK, quando a fototerapia foi aplicada em maior tempo (45 segundos) e, conseqüentemente, em maior dose ($11,25 \text{ J/cm}^2$ por diodo) de radiação comparado ao grupo placebo e também ao grupo que realizou crioterapia. Isto indica que a resposta da fototerapia foi dose-dependente,

ou seja, maior dose de infravermelho resultou em menor dano muscular e acelerou a recuperação pós-exercício nos atletas submetidos à fototerapia após jogo em campeonato.

Desta maneira, os resultados encontrados no segundo estudo evidenciaram que a recuperação do dano muscular é acelerada em atletas submetidos à fototerapia, o que pode explicar a melhora das capacidades físicas de força e velocidade encontradas no primeiro estudo. De acordo com o princípio da sobrecarga, após um estímulo muscular, o organismo tem como resposta uma queda momentânea no rendimento e na capacidade de gerar tensão muscular, o organismo então se recupera deste estímulo e se protege de um eventual novo dano a ser causado por um novo processo de treinamento, que resulta no aumento da capacidade física e metabólica, este processo denominado supercompensação é o que faz o atleta/indivíduo aumentar a funcionalidade dos sistemas metabólico, muscular, cardiovascular e respiratório (DANTAS, 1995; TUBINO, 1994). Neste contexto, uma recuperação acelerada do dano muscular, permite que o atleta seja submetido à estímulos mais fortes (sobrecarga), de maneira mais rápida e eficiente, o que aumenta ainda mais o desempenho físico.

Em especial, a partir do atual estudo, a fototerapia pode apresentar efeitos positivos de readaptação, promovendo o aumento do desempenho do atleta como também a possibilidade de acelerar a recuperação entre atividades diárias de treinamentos e competições, implicando em melhores rendimentos e maior longevidade esportiva, principalmente no futebol.

Ainda, futuros estudos devem ser realizados para investigar os efeitos associados da fototerapia e do exercício físico em diversas modalidades esportivas, em diversas populações ou em diferentes quadros clínicos para proporcionar novas metodologias que auxiliem no aumento da funcionalidade física.

Portanto, esta nova tecnologia à base de LEDs-infravermelho é anatômica, irradia grande área corpórea para ser associada ao exercício físico e pode ser potencialmente utilizada nos protocolos de esporte e reabilitação para aumentar o desempenho físico, a recuperação pós-exercício e a saúde, permitindo maior desempenho esportivo, minimizando as possibilidades de lesões, bem como, maior qualidade de vida para a população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADALBERTO VIEIRA CORAZZA , FERNANDA ROSSI PAOLILLO, FRANCISCO CARLOS GROppo, VANDERLEI SALVADOR BAGNATO ,PAULO HENRIQUE FERREIRA CARIA Phototherapy and resistance training prevent sarcopenia in ovariectomized rats, **Lasers Med Sci**, 2013
2. ADEYANJU, S.; ANKALE, O. Fatigue characteristics of champion power and endurance athletes during force estimation. *Journal of sports medicine and physical fitness* [S.I.], v. 36, n. 2, p. 90-94, 1996.
3. AL-HAZZAA, H.; AL-MUZAINI, K.; AL-REFAEE, S.; SULAIMAN, M.; DAFTERDAR, M.; AL-GHAMEDI, A.; AL-KHURAIJI, K. Aerobic and anaerobic power characteristics of Saudi elite soccer players. **Journal of sports medicine and physical fitness** [S.I.], 2001.
4. AMADIO, A. C.; BARBANTI, V. J. A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares; *Biodynamics of human moving and its interdisciplinary relations*. 2000.
5. ANTONIO E. AQUINO JR, MARCELA SENE-FIORESE, FERNANDA R. PAOLILLO, FERNANDA O. DUARTE JORGE C. OISHI, AIRTON A. PENA JR., ANA C. G. O. DUARTE & MICHAEL R. HAMBLIN , VANDERLEI S. BAGNATO, NIVALDO A. PARIZOTTO, all Low-level laser therapy (LLLT) combined with swimming training improved the lipid profile in rats fed with high-fat diet, **Lasers Med Sci** 2012.
6. ASMUSSEN, E. Muscle fatigue. **Medicine and science in sports** [S.I.], v. 11, n. 4, p. 313, 1979.
7. BADILLO, J. J. G.; AYESTARÁN, E. G.; DOS SANTOS DORNELLES, M. *Fundamentos do treinamento de força: aplicação ao alto rendimento desportivo*. Artmed, 2001.
8. BAGNATO, V. S. *Novas Técnicas Ópticas para as áreas da saúde*. Editora Livraria da Física, 2008.
9. BAKEEVA, L. E.; MANTEIFEL, V. M.; RODICHEV, E. B.; KARU, T. I. [Formation of gigantic mitochondria in human blood lymphocytes under the effect of an He-Ne laser]. **Mol Biol (Mosk)** [S.I.], v. 27, n. 3, p. 608-17, May-Jun 1993.
10. BAKEL, J.; BELL, W. Anaerobic performance and sprinting ability in elite male and female sprinters. **Journal of Human Movement Studies** [S.I.], v. 27, n. 5, p. 235-244, 1994.

11. BANGSBO, J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. **Acta physiologica Scandinavica. Supplementum** [S.I.], v. 619, p. 1, 1994.
12. BANGSBO, J.; LINDQUIST, F. Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. **International Journal of Sports Medicine** [S.I.], v. 13, n. 2, p. 125, 1992.
13. BARBANTI, V. J. Desenvolvimento das capacidades físicas básicas na puberdade. *Rev Paul Ed Fis, SãoPaulo*, v. 3, n. 5, p. 31-37, 1989.
14. BARBANTI, V. Manifestação da força motora no esporte de rendimento. **BARBANTI, VJ; AMADIO, AC; BENTO, JO; MARQUES, AT Esporte e atividade física: interação entre rendimento e saúde. cap** [S.I.], v. 2, p. 13-26, 2002.
15. BARONI, B. M.; LEAL JUNIOR, E. C.; DE MARCHI, T.; LOPES, A. L.; SALVADOR, M.; VAZ, M. A. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. **Eur J Appl Physiol** [S.I.], v. 110, n. 4, p. 789-96, Nov 2010a.
16. BARONI, B. M.; LEAL JUNIOR, E. C.; GEREMIA, J. M.; DIFENTHAELER, F.; VAZ, M. A. Effect of Light-Emitting Diodes Therapy (LEDT) on Knee Extensor Muscle Fatigue. **Photomed Laser Surg** [S.I.], v. 28, n. 5, p. 653-8, Oct 2010b.
17. BEN-DOV, N.; SHEFER, G.; IRINTCHEV, A.; WERNIG, A.; ORON, U.; HALEVY, O. Low-energy laser irradiation affects satellite cell proliferation and differentiation in vitro. **Biochim Biophys Acta** [S.I.], v. 1448, n. 3, p. 372-80, Jan 11 1999.
18. BIGLAND-RITCHIE, B.; KUKULKA, C.; LIPPOLD, O.; WOODS, J. The absence of neuromuscular transmission failure in sustained maximal voluntary contractions. **The Journal of physiology** [S.I.], v. 330, n. 1, p. 265-278, 1982.
19. BJORDAL JM. Low Level Laser Therapy (LLLT) and World Association for Laser Therapy (WALT) Dosage Recommendations. **Photomed Laser Surg**. 2012 Feb;30(2):61-2. doi: 10.1089/pho.2012.9893.
20. BOSCO, C. *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Paidotribo, 1994.
21. BOSCO, C. . *La Fuerza muscular, Aspectos metodológicos*. Barcelona, Inde, 2000.
22. BOSCO, C.; KOMI, P. V. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. **Acta Physiologica Scandinavica** [S.I.], v. 106, n. 4, p. 467-472, 2008.

23. BOSCO, C.; LUHTANEN, P.; KOMI, P. V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. **European journal of applied physiology and occupational physiology** [S.I.], v. 50, n. 2, p. 273-282, 1983.
24. CASAJÚS, J. A. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. **Journal of sports medicine and physical fitness** [S.I.], v. 41, n. 4, p. 463-469, 2001.
25. CAVAGNA, G. A. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and sport sciences reviews* [S.I.], v. 5, n. 1, p. 89-130, 1977.
26. CORAZZA AV, PAOLILLO FR, GROppo FC, et al. Phototherapy and resistance training prevent sarcopenia in ovariectomized rats. [published ahead of print Jan, 10, 2013] **Lasers Med Sci**. 2013. DOI 10.1007/s10103-012-1251-8
27. CRÉSIO ALVES, RENATA VILLAS BOAS LIMA, Linear growth and puberty in children and adolescents: effects of physical activity and sports, **Rev Paul Pediatr** 2008;26(4):383-91.
28. DANTAS, Estélio H. M. A Prática da Preparação Física. 3ª edição. Rio de Janeiro: Shape, 1995.
29. De SANTOS, J. Estudo comparativo, fisiológico, antropométrico e motor entre futebolistas de diferente nível competitivo. **Revista Paulista de Educação Física** [S.I.], v. 13, n. 2, p. 146-59, 1999.
30. DE BRITO VIEIRA, W. H.; FERRARESI, C.; DE ANDRADE PEREZ, S. E.; BALDISSERA, V.; PARIZOTTO, N. A. Effects of low-level laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled clinical trial. **Lasers Med Sci** [S.I.], Aug 26 2011.
31. DE BRITO VIEIRA, W. H.; FERRARESI, C.; DE ANDRADE PEREZ, S. E.; BALDISSERA, V.; PARIZOTTO, N. A. Effects of low-level laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled clinical trial. **Lasers Med Sci** [S.I.], v. 27, n. 2, p. 497-504, Mar 2012.
32. DE MARCHI, T.; LEAL JUNIOR, E. C.; BORTOLI, C.; TOMAZONI, S. S.; LOPES-MARTINS, R. A.; SALVADOR, M. Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running: effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. **Lasers Med Sci** [S.I.], Jul 8 2011.

33. DE MARCHI, T.; LEAL JUNIOR, E. C.; BORTOLI, C.; TOMAZONI, S. S.; LOPES-MARTINS, R. A.; SALVADOR, M. Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running: effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. **Lasers Med Sci** [S.I.], v. 27, n. 1, p. 231-6, Jan 2012.
34. EDWARDS, R. H. T. Human muscle function and fatigue. **Human muscle fatigue: physiological mechanisms** [S.I.], p. 1-18, 1981.
35. EKBLÖM, B. Applied physiology of soccer. 1986.
36. EKBLÖM, B. *Football (Soccer): Olympic Handbook of Sports Medicine*. Wiley-Blackwell, 1994.
37. ENOKA, R. M.; STUART, D. G. Neurobiology of muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology** [S.I.], v. 72, n. 5, p. 1631-1648, 1992.
38. ERNESTO CESAR LEAL JUNIOR , VANESSA DE GODOI , JOSÉ LUIS MANCALOSSI , RAFAEL PAOLO ROSSI , THIAGO DE MARCHI , MÁRCIO PARENTE & DOUGLAS GROSSELLI , RAFAEL ABECHÉ GENEROSI , MAIRA BASSO , LUCIO FRIGO , SHAIANE SILVA TOMAZONI , JAN MAGNUS BJORDAL , RODRIGO ÁLVARO BRANDÃO LOPES-MARTINS Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes—preliminary results, **Lasers Med Sci** [S.I.] v. 26, n. 4, p. 493–501, 2010.
39. FERRARESI, C.; DE BRITO OLIVEIRA, T.; DE OLIVEIRA ZAFALON, L.; DE MENEZES REIFF, R. B.; BALDISSERA, V.; DE ANDRADE PEREZ, S. E.; JUNIOR, E. M.; PARIZOTTO, N. A. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. **Lasers Med Sci** [S.I.], v. 26, n. 3, p. 349-58, May 2011.
40. FERNANDA ROSSI PAOLILLO & ADALBERTO VIEIRA CORAZZA ,AUDREY BORGHI-SILVA & NIVALDO ANTONIO PARIZOTTO ,CRISTINA KURACHI & VANDERLEI SALVADOR BAGNATO Infrared LED irradiation applied during high-intensity treadmill training improves maximal exercise tolerance in postmenopausal women: a 6-month longitudinal study, **Lasers Med Sci** (2013) 28:415–422,2011.
41. FILLIPIN LI, MAURIZ JL, VEDOVELLI K et al. (2005) Low-Level Laser Therapy (LLLT) Prevents Oxidative Stress and Reduces Fibrosis in Rat Traumatized Achilles Tendon. **Lasers in Surgery and Medicine**. 37, 293-300.
42. FITTS, R. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiological reviews** [S.I.], v. 74, n. 1, p. 49-94, 1994.

43. FORTE, R.; MACALUSO, A. Relationship between performance-based and laboratory tests for lower-limb muscle strength and power assessment in healthy older women. **J Sports Sci** [S.I.], v. 26, n. 13, p. 1431-6, Nov 2008.
44. GARRETT, W. E.; KIRKENDALL, D. T. *A ciência do exercício e dos esportes*. Artmed, 2003.
45. GOMES, A. C.; DE SOUZA, J. *Futebol: treinamento desportivo de alto rendimento*. Artmed Editora, 2008.
46. GORGEY, A. S.; WADEE, A. N.; SOBHI, N. N. The effect of low-level laser therapy on electrically induced muscle fatigue: a pilot study. **Photomed Laser Surg** [S.I.], v. 26, n. 5, p. 501-6, Oct 2008.
47. GREEN, H. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. **Journal of sports sciences** [S.I.], v. 15, n. 3, p. 247-256, 1997.
48. HAGIWARA S, IWASAKA H, OKUDA K, NOGUCHI T (2007) GaAlAs (830 nm) Low-Level Laser Enhances Peripheral Endogenous Opioid Analgesia in Rats. **Lasers in Surgery and Medicine**. 39, 797-802.
49. HEFER, G.; PARTRIDGE, T. A.; HESLOP, L.; GROSS, J. G.; ORON, U.; HALEVY, O. Low-energy laser irradiation promotes the survival and cell cycle entry of skeletal muscle satellite cells. **J Cell Sci** [S.I.], v. 115, n. Pt 7, p. 1461-9, Apr 1 2002.
50. HESPANHOL, J.; MARIA, T. S.; DA SILVA NETO, L. G.; MIGUEL DE ARRUDA, F.; PRATES, J. Mudanças no desempenho da força explosiva após oito semanas de preparação com futebolistas da categoria sub-20. **Movimento e Percepção** [S.I.], v. 6, n. 9, 2006.
51. HUTTON, R. Neuromuscular basis of stretching exercises. **Strength and power in sports** [S.I.], p. 29-38, 1993.
52. JAN MAGNUS BJORDAL, Ph.D. Low Level Laser Therapy (LLLT) and World Association for Laser Therapy (WALT) Dosage Recommendations, **Photomedicine and Laser Surgery** Volume 30, Number 2, 2012 ^a Mary Ann Liebert, Inc. Pp. 61–62
53. KARU, T. I.; PYATIBRAT, L. V.; AFANASYEVA, N. I. A novel mitochondrial signaling pathway activated by visible-to-near infrared radiation. **Photochem Photobiol** [S.I.], v. 80, n. 2, p. 366-72, Sep-Oct 2004.

54. KARU, T. I.; PYATIBRAT, L. V.; KALENDO, G. S. Photobiological modulation of cell attachment via cytochrome c oxidase. **Photochem Photobiol Sci** [S.I.], v. 3, n. 2, p. 211-6, Feb 2004.
55. KAVIANI A, FATEH M, YOUSEFI NOORAIE R, ALINAGI-Zadeh MR, ATAIE-FASHTAMI L. Low-level laser therapy in management of postmastectomy lymphedema. **Lasers Med Sci** (2006) 21: 90–94 .
56. KOMI, P. V.; BOSCO, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Med Sci Sports** [S.I.], v. 10, n. 4, p. 261-5, Winter 1978.
57. KRAEMER, W. J.; HÄKKINEN, K.; RIBEIRO, J. L. *Treinamento de força para o esporte*. Artmed, 2004.
58. LEAL JUNIOR, E. C.; LOPES-MARTINS, R. A.; BARONI, B. M.; DE MARCHI, T.; TAUFER, D.; MANFRO, D. S.; RECH, M.; DANNA, V.; GROSSELLI, D.; GENEROSI, R. A.; MARCOS, R. L.; RAMOS, L.; BJORDAL, J. M. Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. **Lasers Med Sci** [S.I.], v. 24, n. 6, p. 857-63, Nov 2009a.
59. LEAL JUNIOR, E. C.; LOPES-MARTINS, R. A.; DALAN, F.; FERRARI, M.; SBABO, F. M.; GENEROSI, R. A.; BARONI, B. M.; PENNA, S. C.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. **Photomed Laser Surg** [S.I.], v. 26, n. 5, p. 419-24, Oct 2008.
60. LEAL JUNIOR, E. C.; LOPES-MARTINS, R. A.; DE ALMEIDA, P.; RAMOS, L.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effect of low-level laser therapy (GaAs 904 nm) in skeletal muscle fatigue and biochemical markers of muscle damage in rats. **Eur J Appl Physiol** [S.I.], v. 108, n. 5, p. 1083-8, Dec 19 2009b.
61. LEAL JUNIOR, E. C.; LOPES-MARTINS, R. A.; FRIGO, L.; DE MARCHI, T.; ROSSI, R. P.; DE GODOI, V.; TOMAZONI, S. S.; SILVA, D. P.; BASSO, M.; FILHO, P. L.; DE VALLS CORSETTI, F.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery. **J Orthop Sports Phys Ther** [S.I.], v. 40, n. 8, p. 524-32, Aug 2010.
62. LEAL JUNIOR, E. C.; LOPES-MARTINS, R. A.; ROSSI, R. P.; DE MARCHI, T.; BARONI, B. M.; DE GODOI, V.; MARCOS, R. L.; RAMOS, L.; BJORDAL, J. M. Effect of cluster multi-diode light emitting diode therapy (LEDT) on exercise-induced skeletal muscle fatigue and skeletal muscle recovery in humans. **Lasers Surg Med** [S.I.], v. 41, n. 8, p. 572-7, Oct 2009c.

63. LEAL JUNIOR, E. C.; LOPES-MARTINS, R. A.; VANIN, A. A.; BARONI, B. M.; GROSSELLI, D.; DE MARCHI, T.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. **Lasers Med Sci** [S.I.], v. 24, n. 3, p. 425-31, May 2009d.
64. LEAL JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. Á. B.; DALAN, F.; FERRARI, M.; SBABO, F. M.; GENEROSI, R. A.; BARONI, B. M.; PENNA, S. C.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. **Photomedicine and laser surgery** [S.I.], v. 26, n. 5, p. 419-424, 2008.
65. LIMA-CABELLO E, CUEVAS MJ, GARATACHEA N, BALDINI M, ALMAR M, GONZÁL (EspaçoReservado)EZ-GALLEGO J (2010) Eccentric Exercise Induces Nitric Oxide Synthase Expression through Nuclear Factor-B Modulation in Rat Skeletal Muscle. **J Appl Physiol**. 108, 575-583.
66. LOPES-MARTINS, R. A.; MARCOS, R. L.; LEONARDO, P. S.; PRIANTI, A. C., JR.; MUSCARA, M. N.; AIMBIRE, F.; FRIGO, L.; IVERSEN, V. V.; BJORDAL, J. M. Effect of low-level laser (Ga-Al-As 655 nm) on skeletal muscle fatigue induced by electrical stimulation in rats. **J Appl Physiol** [S.I.], v. 101, n. 1, p. 283-8, Jul 2006.
67. LOURENÇO B, QUEIROZ LB. Crescimento e desenvolvimento puberal na adolescência. *Rev Med (São Paulo)*. 2010 abr.-jun.;89(2):70-5.
68. MAGALHÃES, J.; OLIVEIRA, J.; ASCENSÃO, A.; SOARES, J. Avaliação isocinética da força muscular de atletas em função do desporto praticado, idade, sexo e posições específicas. **revista portuguesa de ciências do desporto** [S.I.], v. 1, n. 2, p. 13-21, 2001.
69. MALAGUTI M, ANGELONI C, GARATACHEA N, BALDINI M, LEONCINI E, COLLADO PS, TETI G, FALCONI M, GONZÁLEZ-GALLEGO J, HRELIA S (2009) Sulforaphane Treatment Protects Skeletal Muscle Against Damage Induced by Exhaustive Exercise in Rats. **J Appl Physiol**. 107, 1028-1036.
70. MALINA, R.; BOUCHARD, C. Atividade física do atleta jovem: do crescimento à maturação. São Paulo:Rocca, 2002.
71. MANTEIFEL, V.; BAKEEVA, L.; KARU, T. Ultrastructural changes in chondriome of human lymphocytes after irradiation with He-Ne laser: appearance of giant mitochondria. **J Photochem Photobiol B** [S.I.], v. 38, n. 1, p. 25-30, Mar 1997.

72. MARIANA ZINGARI CAMARGO ,CLÁUDIA PATRÍCIA CARDOSO MARTINS SIQUEIRA ,MARIA CARLA PEROZIM PRETI & FÁBIO YUZO NAKAMURA ,FRANCIELE MENDES DE LIMA ,IVAN FREDERICO LUPIANO DIAS ,DARI DE OLIVEIRA TOGINHO FILHO ,SOLANGE DE PAULA RAMOS, Effects of light emitting diode (LED) therapy and cold water immersion therapy on exercise-induced muscle damage in rats, **Lasers Med Sci** (2012) **27:1051–1058,2012.**
73. MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano*. Guanabara Koogan, 2003.
74. MIGUEL DE ARRUDA, F., HESPANHOL, J. Treinamento de força em futebolistas, São Paulo phorte 2009.
75. PAOLILLO, F. R.; CORAZZA, A. V.; BORGHI-SILVA, A.; PARIZOTTO, N. A.; KURACHI, C.; BAGNATO, V. S. Infrared LED irradiation applied during high-intensity treadmill training improves maximal exercise tolerance in postmenopausal women: a 6-month longitudinal study. **Lasers Med Sci** [S.I.], Mar 2 2012.
76. PAOLILLO, F. R.; MILAN, J. C.; ANICETO, I. V.; BARRETO, S. G.; REBELATTO, J. R.; BORGHI-SILVA, A.; PARIZOTTO, N. A.; KURACHI, C.; BAGNATO, V. S. Effects of Infrared-LED Illumination Applied During High-Intensity Treadmill Training in Postmenopausal Women. **Photomed Laser Surg** [S.I.], Jul 12 2011.
77. PELOW, P.V., CHUNG, T.Y., BAXTER, G.D. (2010). Laser Photobiomodulation of Wound Healing: A Review of Experimental Studies in Mouse and Rat Animal Models. **Photomedicine and Laser Surgery**. 28, 291-325.
78. REILLY, T. *Physiology of sports*. Taylor & Francis, 1990.
79. REILLY, T. Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. **Journal of sports sciences** [S.I.], v. 15, n. 3, p. 257-263, 1997.
80. REILLY, T.; THOMAS, V. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. **Journal of Human Movement Studies** [S.I.], v. 2, n. 2, p. 87-97, 1976.
81. RIENZI, E.; DRUST, B.; REILLY, T.; CARTER, J.; MARTIN, A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. **The Journal of sports medicine and physical fitness** [S.I.], v. 40, n. 2, p. 162, 2000.

82. RIZZI CF, MAURIZ JL, CORRÊIA DSF et al. (2006) Effects of Low-Level Laser Therapy (LLLT) on the Nuclear Factor (NF)-kB Signaling Pathway in Traumatized Muscle. **Lasers in Surgery and Medicine**. 38, 704-713.
83. SARGENTIM, S. Treinamento de força no futebol. **São Paulo: Phorte** [S.I.], p. 120, 2010.
84. SCOTT F. NADLER, DO, FACSM, KURT WEINGAND, PHD, DVM, AND ROGER J. KRUSE, MD, The Physiologic Basis and Clinical Applications of Cryotherapy and Thermotherapy for the Pain Practitioner, **Pain Physician**. 2004;7:395-399, ISSN 1533-3159.
85. SMILIOS, I. Effects of varying levels of muscular fatigue on vertical jump performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research** [S.I.], v. 12, n. 3, p. 204-208, 1998.
86. SORICHTER, S., B. PUSCHENDORF, et al. (1999). "Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: muscle proteins as markers of muscle fiber injury." **Exerc Immunol Rev** 5: 5-21.
87. STERGIOULAS A., STERGIOULA M., AARSKOG R., LOPES-MARTINS R.A.B., BJORDAL J.M. Effects of Low-Level Laser Therapy and Eccentric Exercises in the Treatment of Recreational Athletes With Chronic Achilles Tendinopathy. **Am. J. Sports Med.** 2008, 36:881-887.
88. STRUDWICK, A.; REILLY, T.; DORAN, D. Anthropometric and fitness profiles of elite players in two football codes. **The Journal of sports medicine and physical fitness** [S.I.], v. 42, n. 2, p. 239, 2002.
89. SUSSAI, D. A.; CARVALHO PDE, T.; DOURADO, D. M.; BELCHIOR, A. C.; DOS REIS, F. A.; PEREIRA, D. M. Low-level laser therapy attenuates creatine kinase levels and apoptosis during forced swimming in rats. **Lasers Med Sci** [S.I.], v. 25, n. 1, p. 115-20, Jan 2010.
90. THIAGO DE MARCHI & ERNESTO CESAR PINTO LEAL JUNIOR, CELIANA BORTOLI & SHAIANE SILVA TOMAZONI , RODRIGO ÁLVARO BRANDÃO LOPES-MARTINS , MIRIAN SALVADOR , **Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running: effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. Lasers Med Sci, 2011.**
91. TONKONOGLI, M.; SAHLIN, K. Physical exercise and mitochondrial function in human skeletal muscle. **Exerc Sport Sci Rev** [S.I.], v. 30, n. 3, p. 129-37, Jul 2002.
92. TUBINO, Manoel José Gomes. Metodologia científica do treinamento desportivo. 3ª edição. São Paulo: Ibrasa, 1984.

93. VERKHOSHANSKI, Y. V.; GOMES, A. C.; DE OLIVEIRA, P. R.; GOROKHOV, V. V. *Treinamento desportivo: teoria e metodologia*. ArtMed, 2000.
94. VIEIRA, W.; GOES, R.; COSTA, F.; PARIZOTTO, N.; PEREZ, S.; BALDISSERA, V.; MUNIN, F.; SCHWANTES, M. Adaptação enzimática da LDH em ratos submetidos a treinamento aeróbio em esteira e laser de baixa intensidade. **Revista Brasileira de Fisioterapia** [S.I.], v. 10, p. 205-211, 2006.
95. VIEIRA, W. H. D. B.; FERRARESI, C.; FREITAS, E. G. D.; PEREZ, S. E. D. A.; BALDISSERA, V.; PARIZOTTO, N. A. Efeitos do laser de baixa intensidade sobre a capacidade aeróbia de mulheres submetidas ao treinamento aeróbio. **Fisioterapia Especialidades** [S.I.], v. 1, n. 2, p. 20-5, 2008.
96. VLADIMIROV YA, OSIPOV AN, KLEBANOV GI (2004) Photobiological Principles of Therapeutic Applications of Laser Radiation. **Biochemistry (Moscow)**. 69(1), 81-90.
97. VOIGT, M.; SIMONSEN, E. B.; DYHRE-POULSEN, P.; KLAUSEN, K. Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. **Journal of biomechanics** [S.I.], v. 28, n. 3, p. 293-307, 1995.
98. WADLEY, G.; LE ROSSIGNOL, P. The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. **Journal of Science and Medicine in Sport** [S.I.], v. 1, n. 2, p. 100-110, 1998.
99. WEINECK, E. J. *Futebol total: o treinamento físico no futebol*. Phorte, 2000.
100. WEISS, N.; ORON, U. Enhancement of muscle regeneration in the rat gastrocnemius muscle by low energy laser irradiation. **Anat Embryol (Berl)** [S.I.], v. 186, n. 5, p. 497-503, Oct 1992.
101. WHELAN, H.T., SMITS Jr., R.L., BUCHMAN, E.V., et al. (2001). Effect of NASA Light-Emitting Diode Irradiation on Wound Healing. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**. 19, 305-314.
102. WISLØFF, U.; CASTAGNA, C.; HELGERUD, J.; JONES, R.; HOFF, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. **British journal of sports medicine** [S.I.], v. 38, n. 3, p. 285-288, 2004.
103. YOUNG, W.; MCLEAN, B.; ARDAGNA, J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. **The Journal of sports medicine and physical fitness** [S.I.], v. 35, n. 1, p. 13, 1995.

ANEXO 1

APROVAÇÃO PELO “COMITÊ DE ÉTICA”



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS
Via Washington Luiz, Km. 235 - Caixa Postal 676
CEP 13.565-905 - São Carlos - SP - Brasil
Fones: (016) 3351-8028 Fax (016) 3351-8025 Telex 162369 - SCUF - BR

Parecer Nº. 217/2012

Título do projeto: EFEITOS DA FOTOTERAPIA POR LED DE BAIXA INTENSIDADE SOBRE INDICADORES CLÍNICOS, BIOQUÍMICOS E BIOMECÂNICOS DO DESEMPENHO MUSCULAR EM ATLETAS.

Pesquisador Responsável: CLEBER FERRARESI

Orientador: Vanderlei Salvador Bagnato

Colaborador(es): NIVALDO ANTONIO PARIZOTTO

CAAE: 0327.0.135.000-11

Processo número: 23112.004206/2011-09

Grupo: II

Área de conhecimento: 4.00 - Ciências da Saúde / 4.08 - Fisioterapia e Terapia Ocupacional


Conclusão

As pendências apontadas no Parecer nº. 170/2012 foram satisfatoriamente resolvidas. **Projeto aprovado.** Atende as exigências contidas na Resolução 196/96, do Conselho Nacional de Saúde.

Normas a serem seguidas

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.1) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).
- O sujeito de pesquisa ou seu representante, quando for o caso, deverá rubricar todas as folhas do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE– apondo sua assinatura na última página do referido Termo.
- O pesquisador responsável deverá da mesma forma, rubricar todas as folhas do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE– apondo sua assinatura na última página do referido Termo.
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delimitada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.3.z), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (Item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes, que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também a mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item III.2.e).
- Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente dentro de 1 (um) ano a partir desta data e ao término do estudo.

São Carlos, 8 de maio de 2012.


Prof. Dr. Daniel Vendruscolo
Coordenador do CEP/UFSCar