



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VANESSA BATISTA DA COSTA SANTOS

**EFEITO DA FOTOBIMODULAÇÃO NA RESPOSTA
ERGOGÊNICA, FUNCIONALIDADE, DANO MUSCULAR,
ESTRESSE E RECUPERAÇÃO PERCEBIDA DE ATLETAS
DE *RUGBY*:
ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO**

Londrina
2022

VANESSA BATISTA DA COSTA SANTOS

**EFEITO DA FOTOBIMODULAÇÃO NA RESPOSTA
ERGOGÊNICA, FUNCIONALIDADE, DANO MUSCULAR,
ESTRESSE E RECUPERAÇÃO PERCEBIDA DE ATLETAS
DE *RUGBY*:
ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação (Programa Associado entre Universidade Estadual de Londrina [UEL] e Universidade Pitágoras-Unopar [UNOPAR]), como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências da Reabilitação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Christiane de Souza Guerino Macedo

Londrina
2022

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

Santos, Vanessa Batista da Costa.

Efeito da fotobiomodulação na resposta ergogênica, funcionalidade, dano muscular, estresse e recuperação percebida de atletas de rugby: Ensaio clínico randomizado / Vanessa Batista da Costa Santos. - Londrina, 2022.
128 f. : il.

Orientador: Christiane de Souza Guerino Macedo .

Tese (Doutorado em Ciências da Reabilitação) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Fotobiomodulação - Tese. 2. Desempenho esportivo - Tese. 3. Dor muscular - Tese. 4. Testes Funcionais - Tese. I. de Souza Guerino Macedo , Christiane . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação. III. Título.

CDU 615.8

VANESSA BATISTA DA COSTA SANTOS

**EFEITO DA FOTOBIMODULAÇÃO NA RESPOSTA
ERGOGÊNICA, FUNCIONALIDADE, DANO MUSCULAR,
ESTRESSE E RECUPERAÇÃO PERCEBIDA DE ATLETAS
DE RUGBY:
ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação (Programa Associado entre Universidade Estadual de Londrina [UEL] e Universidade Pitágoras-Unopar [UNOPAR]), como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências da Reabilitação.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Christiane de Souza
Guerino Macedo
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar
Universidade Pitágoras Unopar – UNOPAR

Prof. Dr. Marcio Rogerio de Oliveira
Universidade Pitágoras Unopar
(UEL/UNOPAR)

Prof^a. Dr^a. Mariana Zingari Carmargo
Universidade Pitágoras Unopar – UNOPAR

Prof. Dr^a. Solange de Paula Ramos
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 27 de abril de 2022.

AGRADECIMENTOS

Durante o doutorado ganhei muito mais do que o conhecimento aprofundado em uma área, costumo brincar que foi como ter uma empresa e assim ter que aprender a planejar processos, captar recursos, liderar uma equipe de trabalho e principalmente resolver problemas que apareceram durante o caminho. A conclusão desse trabalho só foi possível porque tive contribuições e apoio de diferentes formas, direta ou indiretamente, e por isso agradeço a todos que estiveram presentes de alguma forma nesse período da minha vida.

Algumas dessas merecem agradecimentos especiais, por serem fundamental para esta conquista:

Primeiramente tenho que agradecer a Deus por guiar meus passos e ser minha fortaleza em todos os momentos difíceis.

A minha orientadora Prof^a Dra. Christiane de Souza Guerino Macedo, que é o meu exemplo, minha mentora e minha referência profissional desde a graduação, e quem sempre foi muito mais do que uma professora. Agradeço os ensinamentos, o apoio, a confiança no meu trabalho, a amizade, o carinho e a paciência durante esse período. Minha admiração por você só cresce a cada ano de convivência.

Ao Prof. Dr. Cosme Franklim Buzzachera pelas correções, auxílio durante a confecção do projeto e por ceder os materiais do seu laboratório para as coletas de dados.

À Prof^a Dra. Solange de Paula Ramos, que tem um papel fundamental na minha vida profissional, com quem aprendi muito sobre pesquisa científica e que mais uma vez abriu as portas do seu laboratório para me ajudar. Agradeço por me ensinar a cada dia, por me mentorear, por me incentivar e por todo o carinho que sempre apresentou por mim.

Ao Prof. Dr. Dari de Oliveira Toginho Filho por projetar e confeccionar o aparelho de fotobiomodulação utilizado na pesquisa.

A Prof^a Ma. Alessandra Miyuki Okino por toda a disponibilidade para contribuir e analisar as amostras sanguíneas do estudo.

Aos professores da banca por aceitarem contribuir para a correção desse trabalho e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação Associado UEL/UNOPAR pelo conteúdo compartilhado.

Aos meus companheiros de coleta e análise de dados, Amanda Maximo, John Hsiao, Leandro Toffoli e Priscila Chierotti, por todo o auxílio, parceria e por não medirem esforços para me ajudar a concluir esse estudo.

A minha família, por me incentivar e entender as minhas ausências. A minha mãe que sempre valorizou o meu estudo e fez o seu melhor para eu alcançar os meus objetivos. E agradeço principalmente a Stefanny Tonzar, por ser minha motivação por inúmeros momentos nesse período, pelo amor, carinho, companheirismo e por torcer sempre pelo meu sucesso.

Ao Laboratório de ensino, pesquisa e extensão em Fisioterapia Esportiva da UEL (LAFESP-UEL) por todos os momentos de aprendizado proporcionado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos concedida.

Sem vocês esse trabalho não seria concluído, muito obrigada!

*“O ignorante afirma,
o sábio duvida,
o sensato reflete.”*

(Aristóteles)

DA COSTA SANTOS, Vanessa Batista. **Efeito da fotobiomodulação na resposta ergogênica, funcionalidade, dano muscular, estresse e recuperação percebida de atletas de rugby**: Ensaio clínico randomizado. 2022. 128 f. Tese de Doutorado em Ciências da Reabilitação – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

Introdução: A fotobiomodulação é um bom recurso para acelerar a recuperação de atletas e reduzir os danos musculares causados pelo exercício físico, entretanto existem lacunas na literatura relacionadas aos parâmetros e momento ideal de aplicação. **Objetivo:** Avaliar os efeitos da fotobiomodulação com diodos emissores de luz (LED) aplicada em diferentes momentos na dor muscular, resposta inflamatória e ergogênica, além do desempenho funcional e da percepção de recuperação de atletas de rugby. **Métodos e resultados:** Foram realizados dois ensaios clínicos randomizados cruzados. O primeiro avaliou o melhor momento de aplicação da fotobiomodulação (850nm, 8J/cm²) na resposta ergogênica e dano muscular de atletas de rugby de ambos os sexos (onze homens e sete mulheres), idade 24,23 (\pm 5,33) anos e índice de massa corporal (IMC) de 29,21 (\pm 5,47). Os participantes foram testados por quatro semanas, em três delas foram submetidos a fotobiomodulação em momentos diferentes (aplicações antes, no intervalo e após o exercício físico) e uma situação controle sem nenhuma intervenção, todas de forma randomizada, com avaliadores cegos. O protocolo de exercício utilizado foi composto por duas baterias de exercícios com os testes *Bangsbo Sprint test* (BST) e *Yo-Yo intermittent recovery level 1* (Yoyo-IR1). Este estudo não encontrou diferenças no teste de BST entre os grupos, no entanto, a fotobiomodulação aplicada no intervalo do exercício manteve o desempenho na análise intragrupo do tempo médio e total do BST entre o primeiro e o segundo bloco de exercício ($p > 0,05$), enquanto os outros grupos apresentaram queda significativa do desempenho no segundo bloco ($p < 0,05$). A aplicação da fotobiomodulação antes do exercício melhorou o desempenho seguinte no teste de Yoyo-IR1 ($p < 0,01$ comparados aos demais grupos), tal como a aplicação no intervalo preveniu a redução da distância percorrida no segundo teste de Yoyo-IR1 ($p > 0,05$), ao contrário do que ocorreu com os grupos de fotobiomodulação antes e após o exercício com queda da distância percorrida ($p < 0,05$). Entretanto, não ocorreram alterações significativas entre os grupos nos marcadores de fadiga (lactato) e dano muscular (creatina quinase). O segundo estudo, utilizou a mesma metodologia do primeiro, e avaliou o efeito da fotobiomodulação aplicada antes do exercício, com as análises do desempenho nos testes funcionais *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT), *Single Hop Test* (SHT) e *Triple Hop Test* (THT), percepção de recuperação pelo questionário *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes* (RESTQ-Sport-76). A amostra foi composta por atletas de rugby do sexo masculino, com média de idade de 25,36 (\pm 5,81) anos, IMC de 30,75 (\pm 5,9). No mSEBT os resultados mostraram que o grupo que recebeu a fotobiomodulação alcançou a distância de 91,47 (\pm 11,53) cm pré protocolo de fadiga, 91,09 (\pm 14,93) cm imediatamente após e 91,62 (\pm 13,64) cm após 48 horas do exercício físico, comparado ao grupo controle que alcançou 89,04 (\pm 12,67) cm, 90,63 (\pm 14,01) cm, 93,45 (\pm 12,24) cm, respectivamente ($p > 0,05$). No SHT o grupo fotobiomodulação apresentou pré protocolo de fadiga 158,33 (\pm 21,80) cm, pós 148,39 (\pm 25,4) cm e 48 após o exercício 154,81 (27,21) cm, enquanto o

grupo controle atingiu 160,30 (\pm 18,9) cm, 155,57 (\pm 24,19) cm e 160,21 (\pm 21,05) cm, respectivamente ($p > 0,05$). No THT, os atletas alcançaram no grupo fotobiomodulação pré protocolo de fadiga 502,9 (\pm 82,77) cm, após 473,24 (\pm 76,29) cm e após 48 horas 490,45 (\pm 83,52) cm, comparado ao grupo controle que desempenhou 533,48 (\pm 57,87) cm, 502,36 (\pm 61,45) cm e 504,69 (\pm 62,96) cm, respectivamente ($p > 0,05$). Além disso, os resultados estabeleceram que a fotobiomodulação não alterou a percepção de estresse e recuperação ($p > 0,05$) dos atletas avaliados. **Conclusão:** A fotobiomodulação (850nm, 8J/cm²) aplicada antes do exercício foi eficaz para melhorar o desempenho no teste de YoyoIR1 e não alterou o dano muscular após o exercício. No entanto, nenhum achado foi observado no desempenho funcional ou na percepção de estresse e recuperação de atletas de *rugby*. Como contribuição para a prática clínica aponta-se que a fotobiomodulação pode ser aplicada antes do exercício com o objetivo de melhora do desempenho em exercícios de predominância aeróbia, mas não apresenta efeitos benéficos para melhorar a funcionalidade dos membros inferiores ou o estresse percebido.

Palavras-chave: fototerapia; dor muscular; desempenho atlético; desempenho físico funcional; psicofisiologia.

DA COSTA SANTOS, Vanessa Batista. **Effect of photobiomodulation on ergogenic response, functionality, muscle damage, stress and recovery perceived in rugby athletes: Randomized clinical trial.** 2022. 128 f. Doctoral Thesis in Rehabilitation Sciences - Londrina State University, Londrina, 2022.

ABSTRACT

Introduction: Photobiomodulation is a good resource to accelerate the recovery of athletes and reduce muscle damage caused by physical exercise, however there are gaps in the literature related to the parameters and ideal moment of application. **Objective:** To evaluate the effects of photobiomodulation with light-emitting diodes (LED) applied at different times on muscle pain, inflammatory and ergogenic response, in addition to functional performance and perception of recovery in rugby athletes. **Methods and results:** Two crossover randomized clinical trials were performed. The first evaluated the best time of application of photobiomodulation (850nm, 8J/cm²) in the ergogenic response and muscle damage of rugby athletes of both sexes (eleven men and seven women), age 24.23 (\pm 5.33) years and a body mass index (BMI) of 29.21 (\pm 5.47). Participants were tested for four weeks, in which three of them were submitted to photobiomodulation at a different time (applications before, at the interval and after exercise) and a control situation without any intervention, all in a randomized manner, in which the evaluators of the study were blinded. The exercise protocol used consisted of two batteries of exercises with the Bangsbo Sprint test (BST) and Yo-Yo intermittent recovery level 1 (Yoyo-IR1). This study did not find differences in the BST test between the groups, however, the photobiomodulation applied in the exercise interval maintained the performance in the intragroup analysis of the mean and total time of the BST between the first and the second exercise block ($p > 0,05$), while the other groups showed a significant drop in performance in the second block ($p < 0.05$). The application of photobiomodulation before exercise improved the following performance in the Yoyo-IR1 test ($p < 0.01$ compared to the other groups), as the application in the interval prevented the reduction of the distance covered in the second Yoyo-IR1 test ($p > 0.05$), contrary to what happened with the photobiomodulation groups before and after exercise with a decrease in the distance covered ($p < 0.05$). However, there were no significant changes between groups in markers of fatigue (lactate) and muscle damage (creatine kinase). The second study used the same methodology as the first, and evaluated the effect of photobiomodulation applied before exercise, with the analysis of performance in the Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT), Single Hop Test (SHT) and Triple Hop Test (THT), perception of recovery using the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76). The sample consisted of 11 male rugby athletes, with a mean age of 25.36 (\pm 5.81) years, BMI of 30.75 (\pm 5.9). In mSEBT, the results showed that the group that received photobiomodulation reached 91.47 (\pm 11.53) cm before the fatigue protocol, 91.09 (\pm 14.93) cm immediately after and 91.62 (\pm 13.64) cm after 48 hours of physical exercise, compared to the control group that reached 89.04 (\pm 12.67) cm, 90.63 (\pm 14.01) cm, 93.45 (\pm 12.24) cm, respectively ($p > 0.05$). In the SHT, the photobiomodulation group presented 158.33 (\pm 21.80) cm of fatigue before the protocol, 148.39 (\pm 25.4) cm after the exercise and 154.81 (\pm 27.21) cm after exercise, while the control reached 160.30 (\pm 18.9) cm, 155.57 (\pm 24.19) cm and 160.21 (\pm 21.05) cm, respectively ($p > 0.05$). In the THT, the

athletes reached 502.9 (\pm 82.77) cm in the pre-fatigue protocol photobiomodulation group, after 473.24 (\pm 76.29) cm and after 48 hours 490.45 (83.52) cm, compared to the control group that performed 533.48 (\pm 57.87) cm, 502.36 (\pm 61.45) cm and 504.69 (\pm 62.96) cm, respectively ($p > 0.05$). Furthermore, the results established that photobiomodulation did not change the perception of stress and recovery ($p > 0.05$) of the evaluated athletes. **Conclusion:** Photobiomodulation applied before exercise was effective to improve performance in the Yoyo-IR1 test and did not alter muscle damage after exercise. However, no findings were observed in the functional performance or in the perception of stress and recovery of rugby athletes. As a contribution to clinical practice, it is pointed out that photobiomodulation can be applied before exercise with the aim of improving performance in predominantly aerobic exercises, but it does not have beneficial effects to improve lower limb functionality or perceived stress.

Key-words: phototherapy; muscle pain; athletic performance; functional physical performance; psychophysiology.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1** – Esquema de realização do *Bangsbo Sprint Test*27
- Figura 2** – Esquema de realização do teste de YoyoIR129
- Figura 3** – Direções e posicionamento dos pés na realização do *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT)35
- Figura 4** – Ilustração dos testes *Single Hop Test* e *Triple Hop Test*.....38

ARTIGO 1 – EFFECT OF PHOTOBIMODULATION APPLIED TO HIGH-INTENSITY EXERCISE BLOCKS IN RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

- Figura 1** – Flow diagram of the sample loss during the study period.....54
- Figura 2** – Flowchart of data collection for the study56
- Figura 3** – Scheme of the Bangsbo Sprint Test.....58
- Figura 4** – 4A. Photobiomodulation equipment used in the study. 4B. Shows the application of photobiomodulation on the quadriceps of one of the athletes.....61

ARTIGO 2 – PHOTOBIMODULATION DOES NOT CHANGE THE PERFORMANCE OF FUNCTIONAL TESTS AND THE PERCEPTION OF RECOVERY OF RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

- Figura 1** – Flow diagram of the sample loss during the study period.....81
- Figura 2** – Flowchart of data collection procedures, fatigue protocol and intervention during the study83
- Figura 3** – 3A. Photobiomodulation equipment used in the study. 3B. Shows the application of photobiomodulation on the quadriceps of one of the athletes.....85
- Figura 4** – Blood lactate values before and after the fatigue protocol in both groups87

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 - EFFECT OF PHOTOBIMODULATION APPLIED TO HIGH-INTENSITY EXERCISE BLOCKS IN RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

- Tabela 1** – Specifications for the application of photobiomodulation by light emitting diodes (LED).....60
- Tabela 2** – Values of the effort perception scale using the Borg scale and of blood lactate in the different intervention groups.....63
- Tabela 3** – Comparison of creatine kinase and muscle pain values in the different intervention groups.....63
- Tabela 4** – Performance on the Bangsbo Sprint Test (BST) and YoYo-IR1 in the different intervention groups.....65

ARTIGO 2 – PHOTOBIMODULATION DOES NOT CHANGE THE PERFORMANCE OF FUNCTIONAL TESTS AND THE PERCEPTION OF RECOVERY OF RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

- Tabela 1** – Specifications of the application of photobiomodulation by light emitting diodes (LED).....84
- Tabela 2** – Results of the Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT), Single Hop Test and Triple Hop Test for groups submitted to photobiomodulation (PBM) and control.88
- Tabela 3** – Comparison of stress variables assessed by the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76).89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP	Adenosina Difosfato
ATP	Adenosina Trifosfato
BST	Bangsbo Sprint Test
CK	Creatina Quinase
DMIT	Dor Muscular de Início Tardio
ERO	Espécies Reativas de Oxigênio
GPS	Global Positioning System
IMC	Índice de Massa Corporal
La	Lactato
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LBP	Laser de Baixa Potência
LED	Diodos Emissores de Luz
LDH	Lactato Desidrogenase
mSEBT	Modified Star Excursion Balance Test
mYBT-LQ	Modified Y-Balance Test of the Lower Quarter
NAD	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo
PBM	Photobiomodulation
PCR	Proteína C Reativa
RESTQ	Recovery- Stress Questionnaire for Athletes
SHT	Single Hop Test
THT	Triple Hop Test
VO _{2max}	Consumo Máximo de Oxigênio
YBT-LQ	Y-Balance Test of the Lower Quarter
Yoyo-IR1	Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS DO ESTUDO	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	20
3	HIPÓTESE DO ESTUDO	21
4	REVISÃO DE LITERATURA	22
4.1	CARACTERÍSTICAS DO JOGO DE RUGBY	22
4.1.1	Demandas Fisiológicas e Neuromusculares do Rugby	24
4.2	AVALIAÇÃO DE SPRINTS E CORRIDA INTERMITENTE DE ALTA INTENSIDADE.....	26
4.2.1	Bangsbo Sprint Test	27
4.2.2	Yo-Yo Intermittent Recovery Test – Level 1	29
4.3	AVALIAÇÃO DE FADIGA E LESÃO MUSCULAR	30
4.3.1	Creatina Quinase.....	31
4.3.2	Lactato	33
4.4	AVALIAÇÃO DO CONTROLE NEUROMUSCULAR POR TESTES FUNCIONAIS DE MEMBROS INFERIORES.....	34
4.4.1	Modified Star Excursion Balance Test.....	34
4.4.2	Hop Tests	37
4.5	AVALIAÇÃO DO ESTRESSE E RECUPERAÇÃO PERCEBIDA	39
4.5.1	Questionário RESTQ-Sport-76.....	40
4.6	FOTOBIMODULAÇÃO	41
4.6.1	Mecanismo de ação da fotobiomodulação	42
4.6.2	Aplicação da fotobiomodulação e efeitos associados ao exercício	43
5	ARTIGOS	48
5.1	ARTIGO 1 – EFFECT OF PHOTOBIMODULATION APPLIED TO HIGH-INTENSITY EXERCISES BLOCKS IN RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL	49

5.2	ARTIGO 2 – PHOTOBIMODULATION DOES NOT CHANGE THE PERFORMANCE OF FUNCTIONAL TESTS AND THE PERCEPTION OF RECOVERY OF RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL	76
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
7	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICES	106
	APÊNDICE A – Termo de Consentimento da Equipe	107
	APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre Esclarecido	109
	APÊNDICE C – Ficha de Caracterização da Amostra	111
	ANEXOS	115
	ANEXO A – Questionário de Prontoidão para Atividade Física	116
	ANEXO B – Recovery-Stress Questionnaire for Athletes	117
	ANEXO C – Escala de Borg CR-10	127
	ANEXO D – Ficha de avaliação do teste de Yo-Yo Intermittent Recovery Test – Level 1	128

1 INTRODUÇÃO

Atletas são expostos a rotinas semanais de altas cargas de treinamento com estresses fisiológicos que visam o processo de adaptação tecidual e consequente aumento do desempenho (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018). As respostas ao treinamento físico envolvem adaptações centrais e periféricas, na regulação do sistema nervoso autônomo, do eixo hipotálamo-adeno-hipófise, sistema imunológico e aparelho locomotor (GREEN *et al.*, 2012). A inter-regulação destes sistemas promove o fenômeno de supercompensação, no qual após um período de estresse com um processo de recuperação adequado, ocorre o aumento do desempenho inicial (GABBETT, 2016). Controlar o estímulo e a recuperação é essencial para o desempenho em esportes coletivos e individuais, já que altas cargas de treinamento, sem estímulos de recuperação adequados, podem aumentar o risco de queda de desempenho e lesões em atletas durante períodos competitivos e pré-competitivos (CHENG; JUDE; LANNER, 2020; GRANDOU *et al.*, 2020).

Um dos esportes que demanda grandes cargas de treinamentos e necessita de ações de recuperação após esforço de alta intensidade, é o *rugby*, praticado em vários países, com muitos adeptos e torcedores por todo o mundo (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a). É um esporte de contato que exige grande demanda fisiológica para o competidor, por envolver atividades de alta intensidade, como corrida, passes e *sprints*, intercalados por séries de atividade de baixa intensidade, como caminhada e corrida lenta (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a). Os esforços de alta intensidade intermitentes ou contínuos, e exercícios físicos de alto volume e baixa intensidade, característicos da modalidade, podem levar a danos musculares com perdas funcionais, reações inflamatórias e altos níveis sanguíneos de marcadores de lesão muscular como a creatina quinase (CK), lactato desidrogenase, mioglobina, estresse oxidativo e dor muscular de início tardio, com comprometimento do desempenho físico dos indivíduos (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a).

O dano muscular induzido pelo exercício pode ser dividido na fase primária de dano mecânico e a fase secundária de dano inflamatório (FRITSCH *et al.*, 2016). Na fase primária ocorre dano as estruturas microscópicas como a linha Z, membrana sarcoplasmática, retículo sarcoplasmático, túbulos T, miofibrilas e o citoesqueleto (FRITSCH *et al.*, 2016). Enquanto, a fase secundária é desencadeada pelo dano mecânico, com alteração do cálcio, que induz a redução da função mitocondrial,

depleção de adenosina trifosfato, resposta inflamatória e ativação de enzimas proteolíticas que aumentam o dano ao tecido muscular (FRITSCH *et al.*, 2016).

A recuperação é considerada um processo multifatorial, que considera a restauração biopsicossocial do indivíduo após perturbações por fatores externos ou internos que geram fadiga física ou mental (KELLMANN, Michael *et al.*, 2018). Para acelerar a recuperação após exercícios físicos e oferecer melhores condições fisiológicas e psicológicas para o desempenho dos atletas, vários métodos de recuperação têm sido utilizados no meio esportivo (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a). As estratégias de recuperação podem ser divididas em: recuperação passiva como repouso, massagens, imersão em água fria, fotobiomodulação, botas de compressão, boa qualidade de sono, nutrição e hidratação; recuperação ativa caracterizada por atividades físicas de baixa intensidade; e recuperação proativa que está relacionada a atividades sociais personalizadas de acordo com a preferência do atleta (KELLMANN, Michael *et al.*, 2018).

Muitos são os métodos de recuperação disponíveis para acelerar a recuperação dos atletas, mas é necessário um conhecimento detalhado das técnicas e aparelhos para elaborar a prescrição de intervenções específicas para cada tipo de demanda fisiológica provocada pelo exercício físico (MINETT; COSTELLO, 2015). Por exemplo, esportes de longa duração, que trabalham a resistência do atleta, resultam predominantemente em estresse metabólico, enquanto os exercícios de força e potência podem relacionar-se com lesões estruturais do tecido muscular, que causam maiores distúrbios funcionais (MINETT; COSTELLO, 2015)..

A fotobiomodulação é um dos métodos indicados para a recuperação de atletas. É descrita atualmente como o uso da luz emitida por LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) e diodos emissores de luz - LED (*Light Emitting Diode*) de baixa intensidade, na espectro de comprimento de onda vermelho ao infravermelho próximo, para fins terapêuticos (HAMBLIN, 2018). O LASER difere do LED, por ter maior coerência, possuir uma pequena banda espectral e menor divergência dos feixes de luz quando comparado a luz emitida pelos LEDs (HUANG, Y.-Y. *et al.*, 2009). Recentemente, foram observados os efeitos do diodo emissor de luz (LED) na ativação celular, redução dos processos inflamatórios, vasodilatação, regulação de enzimas antioxidantes, aumento da proliferação celular e produção de colágeno (HAMBLIN, 2018).

Neste sentido, existem vários estudos sobre os efeitos da fotobiomodulação

relacionada ao exercício físico, mas ainda existe pouco consenso sobre os parâmetros e melhor momento para a aplicação do método, o que aponta uma lacuna na literatura, já que são respostas importantes para a prática clínica e esportiva (CALLEJA-GONZÁLEZ *et al.*, 2019a; LEAL-JUNIOR *et al.*, 2015a; TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a). Outro fato, é a necessidade de pesquisas com fotobiomodulação que utilizem testes de desempenho associados à realidade do *rugby* e que englobem as demandas fisiológicas, neuromusculares e psicofisiológicas que os atletas são submetidos.

Assim, acredita-se que essa pesquisa contribuirá para esclarecer os efeitos da fotobiomodulação em variáveis específicas necessárias para o *rugby* e fornecerá dados para prescrição adequada desse método na rotina de treinamento ou competição desses atletas.

2 OBJETIVOS DO ESTUDO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da fotobiomodulação na resposta ergogênica, dano muscular, desempenho funcional, percepção de estresse e recuperação ao exercício em atletas de *rugby*.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar o melhor momento de aplicação da fotobiomodulação em jogadores de *rugby* (antes, no intervalo entre os blocos de exercícios ou após);
- Avaliar o efeito da fotobiomodulação no dano muscular e dor muscular tardia;
- Quantificar as alterações de desempenho em atividades com predominância anaeróbia e aeróbia de atletas de *rugby*, relacionando-as com a aplicação da fotobiomodulação;
- Analisar a interferência da fotobiomodulação na fadiga muscular percebida e produção de lactato após o exercício;
- Estabelecer as diferenças no desempenho funcional após a aplicação da fotobiomodulação;
- Identificar alterações na percepção de estresse e recuperação dos atletas submetidos a fotobiomodulação.

3 HIPÓTESES

A hipótese inicial foi de que a fotobiomodulação, quando aplicada antes do exercício, teria o potencial de agir no dano muscular mecânico e inflamatório, assim, reduziria os níveis circulantes de marcadores sanguíneos de dano muscular (creatina quinase) e fadiga (lactato), pela modulação das respostas inflamatórias, além de favorecer o desempenho dos testes *Bangsbo Sprint test* (BST) e *Yo-Yo intermittent recovery level 1* (Yoyo-IR1), com melhora respectiva do desempenho anaeróbio e aeróbio. Também deveria apresentar melhora no desenvolvimento dos testes funcionais *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT), *Single Hop Test* (SHT) e *Triple Hop Test* (THT) e melhores valores de percepção de estresse e recuperação pelo questionário *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes* (RESTQ-Sport-76).

Quando aplicado no intervalo do exercício, a fotobiomodulação poderia proporcionar a manutenção de desempenho dos testes BST e Yoyo-IR1, com manutenção do desempenho anaeróbio e aeróbio, além de favorecer as modulações das respostas inflamatórias. Já a aplicação após o exercício, também auxiliaria na redução dos marcadores de dano muscular, mas em magnitude menor do que os demais momentos, por atuar somente na fase secundária (inflamatória) da lesão ao tecido do músculo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Historicamente, o *rugby* foi criado em 1823 após o britânico Willian Webb Ellis pegar a bola com as mãos durante um jogo de futebol e correr até o gol. Este fato ocorreu durante um jogo na escola de Willian Web, chamada Rugby School, em Rugby, Warwickshire, na Inglaterra, onde originou-se o nome da modalidade (Confederação Brasileira de Rugby, 2019).

O *rugby* é um esporte popular em outros países e veem crescendo em número de times e jogadores no Brasil (Confederação Brasileira de Rugby, 2019). Com o aumento de praticantes, surge a necessidade de conhecimento científico relacionado especificamente com a modalidade e seus atletas. Além disso, atualmente é proposto o uso da fotobiomodulação em esportes coletivos, e algumas revisões de literatura mostraram poucos estudos que abordem a fotobiomodulação em atletas de *rugby* considerando aspectos fisiológicos, neuromusculares e psicofisiológicos (CALLEJA-GONZÁLEZ *et al.*, 2019a; TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a).

4.1 Características do Jogo de Rugby

O *rugby* possui três variações: o *rugby union*, também conhecido como *rugby* de quinze, com 15 jogadores de cada lado, é o mais difundido mundialmente e de onde se originou as variações; o *rugby sevens*, com sete jogadores, é a modalidade olímpica do esporte; e o *rugby league*, também chamado de *rugby* de 13, que apesar de ser derivado do *rugby union*, apresenta regras diferentes de pontuações e ausência de regras básicas como *scrum* e *ruck* (CHIWARIDZO *et al.*, 2017). No Brasil, os campeonatos existentes são da modalidade *Union* e *Sevens* (Confederação Brasileira de Rugby, 2019).

Considerando o *rugby union* (modalidade mais popular), o jogo é disputado por duas equipes de 15 jogadores, com dois tempos de 40 minutos corridos separados por um intervalo de 10 minutos (GRANT; DAVID; SUE, 2003). O cronômetro só para quando algum dos atletas precisa de atendimento médico. O jogo é realizado com uma bola oval, em campo com superfície de grama, formato retangular de no máximo 144 metros de comprimento e 70 metros de largura (Confederação Brasileira de Rugby, 2019).

Há quatro maneiras de se pontuar no jogo de *rugby*. A primeira é o *try* que vale cinco pontos, no qual o jogador deve tocar a bola no solo dentro da área de validação da equipe adversária, atrás do poste de pontuação e onde o jogador colocar a bola definirá o local que será o chute de conversão. A segunda pontuação se dá pelo chute de conversão que vale dois pontos. Após a equipe realizar o *try*, ela tem a possibilidade de chutar em direção aos postes de pontuação e a trave que formam um “H”, para valer os pontos a bola deve passar entre os postes e acima da trave. A terceira maneira de se pontuar, é pelo *Drop goal*, que vale três pontos se o jogador fizer a bola tocar o chão e, imediatamente no retorno da bola fazer um chute que passe por cima da trave e entre os postes. Por último, pode acontecer a pontuação pelo *penalty goal*, no valor de três pontos, na qual o jogador sofre uma falta e sua equipe pode optar por chutar a bola na tentativa de acertar a parte superior do “H” do local onde ocorreu a infração (Confederação Brasileira de Rugby, 2019).

As posições do *rugby* são divididas em *forwards* que são os jogadores avançados e os *backwards* que são os recuados (GRANT; DAVID; SUE, 2003). Sobre as regras, alguns pontos importantes do esporte são que primeiramente o jogador que está com a posse da bola é o responsável por ir ao ataque, com permissão do passe com as mãos apenas para trás ou o lado, ou seja, é irregular a bola ser lançada para um jogador a frente da linha da bola. Com os pés, os jogadores podem lançar a bola para frente, porém apenas os jogadores atrás da linha da bola no momento do chute que podem disputar a mesma (Confederação Brasileira de Rugby, 2019).

Características singulares do *rugby* são as jogadas para posse da bola, onde ocorre o *tackle* que consiste em agarrar o jogador adversário que está conduzindo a bola, na tentativa de levá-lo ao chão e recuperar a bola pelo *ruck*. No *ruck* a bola se encontra no chão, e para conseguir a posse da bola os jogadores devem se empurrar até que a bola fique livre para um dos times. O *maul* é feito quando um jogador está com a bola em mãos e dois ou mais jogadores disputam a posse dela em pé. Quando ocorre uma penalidade ou irregularidade, há formação ordenada do *scrum* com os *forwards* e assim como no *ruck*, os jogadores tentam deslocar o adversário até conseguir a posse da bola. Por fim, quando a bola sai pela lateral do campo, um dos jogadores lança a bola no meio das duas linhas formadas por jogadores de cada equipe e estes só podem pegar a bola saltando (Confederação

Brasileira de Rugby, 2019).

O *rugby* exige preparo físico para corridas de alta intensidade intermitente em busca do *try*, agilidade para fugir dos *tackles*, força e potência para as jogadas de contato, resistência para manter a constância durante o jogo e aspectos psicológicos bem preparados para traçar estratégias e manter a motivação na partida (CHIWARIDZO *et al.*, 2017). A seguir, serão mais bem detalhadas as demandas deste esporte.

4.1.1 Demandas Fisiológicas e Neuromusculares do Rugby

As principais características fisiológicas e os testes para sua avaliação em atletas de *rugby* são apresentados por Chiwaridzo *et al.* (CHIWARIDZO *et al.*, 2017), que consideram ser relevantes a velocidade, a agilidade, a mudança de direção, a resistência muscular de membros superiores, a potência e força muscular da parte superior do corpo, a resistência anaeróbia, a potência aeróbia máxima, a potência muscular da parte inferior do corpo, a resistência para corridas intermitentes de alta intensidade prolongadas, a força muscular de membros inferiores, o desempenho em exercícios repetidos de alta intensidade, a habilidade em *sprints* repetidos, a velocidade aeróbia máxima e a resistência abdominal (CHIWARIDZO *et al.*, 2017).

Durante esportes coletivos como o futebol, hóquei e rugby, os atletas realizam aproximadamente três sprints a cada um a três minutos de jogo, e normalmente recuperam-se com corridas de menor intensidade (SPENCER *et al.*, 2008). No sprint de dois a três segundos, a via anaeróbia é a principal fonte energética, entretanto, quando os sprints são realizados sucessivamente, há uma redução importante da energia anaeróbia nos sprints seguintes, com um pequeno declínio do trabalho energético total. Essa diferença é explicada pelo aumento do consumo de oxigênio nos sprints subsequentes, e sugere que o aumento progressivo do metabolismo aeróbio compense em parte, a redução da glicólise anaeróbica no decorrer dos exercícios de sprints repetidos (GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011). Outra alteração percebida nesse tipo de exercício é a diminuição da degradação e ressíntese da fosfocreatina, que está relacionada à redução do desempenho, além da perda de nucleotídeos de purina do músculo, com redução da concentração de adenosina trifosfato (ATP) intramuscular (BRANCACCIO *et al.*, 2008).

Donkin *et al.* (DONKIN *et al.*, 2020) avaliaram as demandas de corrida com

Global Positioning System (GPS) e compararam as diferentes posições do jogo de *rugby* durante uma temporada competitiva. Os autores mostraram que os *half backs* apresentaram maior distância total percorrida ($6620,9 \pm 784,4$ m) e intensidade de jogo ($77,7 \pm 11,6$ m/min), *outside backs* a maior velocidade máxima ($8,385 \pm 1,242$ m/s), enquanto os *loose forwards* o maior número de acelerações ($385,5 \pm 122,1$) e desacelerações ($378,7 \pm 108,1$). Assim, *backs* costumam jogar em níveis mais altos de velocidade do que os *forwards*, porém estes estão envolvidos com maior quantidade de acelerações e desacelerações durante o jogo.

Outro ponto importante, é que além de características fisiológicas existem algumas diferenças antropométricas entre *forwards* e *backs* no *rugby*. Atletas *forwards* geralmente apresentam maior massa corporal, percentual de gordura, força muscular e pico de força, pois essas características são estimuladas por esses atletas durante o jogo de *rugby*, permanecerem um período maior em jogadas de contato com os adversários (BRAZIER *et al.*, 2020; LA MONICA *et al.*, 2016). Os *backs* apresentam melhor condicionamento, visto pelo maior pico de consumo de oxigênio, o que também está associado as características dessa posição durante o jogo, que exige mais tempo em corridas livres, cobrindo distâncias maiores no campo e desenvolvimento de sprints (BRAZIER *et al.*, 2020; LA MONICA *et al.*, 2016). Entretanto, testes como o teste T de agilidade e o sprint de 40 metros, não apresentam diferenças significativas entre as posições (BRAZIER *et al.*, 2020; LA MONICA *et al.*, 2016).

Twist *et al.* (TWIST *et al.*, 2012), avaliaram as diferenças entre *forwards* e *backs* nos valores de creatina quinase (CK), tempo de voo no salto contramovimento, tempo de jogo, número de contatos, percepção de fadiga e dor muscular, antes de um jogo de *rugby*, e após 24 e 48 horas. Os autores mostraram que o tempo total de jogo foi maior nos *backs*, enquanto a frequência relativa de contatos foi maior nos *forwards*, porém o comportamento da CK, fadiga, dor muscular e tempo de voo no salto contra movimento, não diferiram entre as posições.

As competições de *rugby* com frequência acontecem em dias consecutivos, o que exige esforço físico maior dos atletas, como mostra o trabalho de Johnston *et al.* (JOHNSTON, R. D.; GABBETT; JENKINS, 2013). Os autores avaliaram as respostas fisiológicas dos jogadores em uma competição com cinco jogos ao longo de cinco dias, com dois jogos nos dois primeiros dias e um no quarto dia de torneio, sem nem

um jogo nos dias três e cinco. Durante os três primeiros dias ocorreu aumento progressivo na fadiga neuromuscular, avaliada pelo salto contramovimento, com pico após o quarto jogo, acompanhado do pico de dano muscular avaliado pela creatina quinase (CK) e a queda na percepção do bem-estar monitorada por questionário. Os *forwards* apresentaram maiores níveis de CK e menor bem-estar percebido comparado aos *backs* após o segundo jogo. Além disso, a intensidade da partida com as corridas de alta velocidade ($\geq 5,1$ m/s) e esforços de alta intensidade (3 ou mais acelerações $\geq 2,78$ m/s) mensurados com GPS, diminuíram no quarto e quinto jogo.

Pesquisa semelhante mostrou que atletas de *rugby sevens* podem manter efetivamente os padrões de movimentos do jogo durante três jogos no mesmo dia, porém no segundo dia observa-se aumento do dano muscular e redução da capacidade de produzir força explosiva (PEREIRA *et al.*, 2018). Ainda neste estudo, foram mostradas diminuições significativas no desempenho físico no segundo tempo das partidas e os autores encorajam a implementação de estratégias de recuperação e substituições planejadas em torneios de dias consecutivos, a fim de reduzir o impacto dos danos musculares e fadiga acumulada no desempenho das partidas seguintes (PEREIRA *et al.*, 2018).

Da Silva *et al.* (DA SILVA *et al.*, 2020) investigaram as mudanças no desempenho neuromuscular e danos musculares provocados por uma única partida de *rugby*. Eles observaram elevação dos níveis de lactato desidrogenase e CK imediatamente após a partida, com a permanência da CK alta mesmo após 24 horas. O tempo no teste de mudança de direção *L-run test* aumentou após 24 horas do jogo e permaneceu elevado até 96 horas em relação a avaliação antes da partida, assim como o tempo no teste de *sprint* de 30 metros aumentou após a partida, porém este mostrou valores semelhantes as medidas basais depois de 48 horas. Isso mostra que um único jogo de *rugby* é capaz de causar danos musculares significativos e as respostas neuromusculares referentes as atividades de mudança de direção demora um tempo maior para se recuperar.

4.2 Avaliação de *Sprints* e Corrida Intermitente de Alta Intensidade

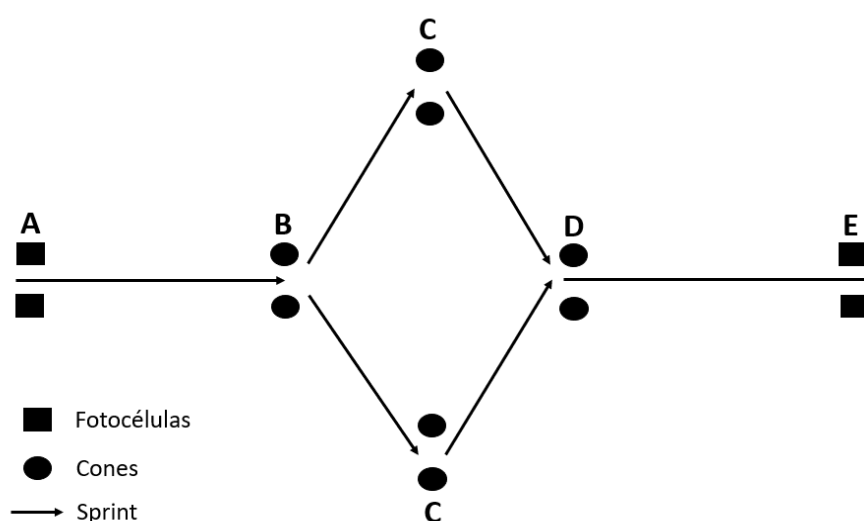
Devido a importância de avaliar o desempenho físico de atletas de *rugby* em atividades de velocidade, *sprints* repetidos, agilidade, corrida intermitente em alta

intensidade e resistência anaeróbia, características fisiológicas do esporte, testes máximos como o *Bangsbo Sprint Test* e o *Yo-Yo Intermittent Recovery level-1* são estratégias validadas para fornecer informações sobre algumas dessas capacidades fundamentais dos atletas (CHIWARIDZO *et al.*, 2017).

4.2.1 *Bangsbo Sprint Test* (BST)

O *Bangsbo Sprint Test* é um protocolo de *sprints* repetidos com mudança de direção, validado e com boa confiabilidade para esportes com características de corridas de alta intensidade intermitente (ALTMANN *et al.*, 2019; BANGSBO, 2002). O teste é realizado em uma distância de 34,2 metros entre o cone inicial (A) e o final (E). Inicialmente o indivíduo avaliado permanece posicionado em pé, junto a fotocélula no cone A, e ao sinal corre até o cone B posicionado a 10 metros do primeiro, nesse ponto ocorre a mudança de direção onde o atleta contorna o cone C e corre para o cone D, com o termino do sprint quando o atleta passa pela fotocélula localizada no cone E (BANGSBO, 2002; PINTO *et al.*, 2016). O atleta avaliado deve realizar sete repetições, com 25 segundos de recuperação ativa entre os sprints, com a recuperação realizada por meio da desaceleração do sprint e retorno a posição inicial do teste, ou seja, cone A (BANGSBO, 2002; PINTO *et al.*, 2016). A figura 1 mostra um esquema para o desenvolvimento do BST.

Figura 1 – Esquema de realização do *Bangsbo Sprint Test*.



Fonte: Próprio autor.

A primeira mudança de direção no teste é realizada de acordo com a preferência do atleta, e essa direção (esquerda ou direita) será alternada nos *sprints* seguintes (PINTO *et al.*, 2016). O retorno a posição inicial após o *sprint* deve ser monitorado por um cronômetro manual para garantir o retorno ao ponto de início do teste dentro de 20 segundos e comandos verbais são indicados para encorajar e fornecer os comentários sobre o tempo restante de recuperação e o início do próximo *sprint* (BANGSBO, 2002; PINTO *et al.*, 2016). A análise do teste considera o tempo médio dos *sprints*, tempo total de todos os *sprints*, o tempo do melhor *sprint* e os índices de fadiga, que é a relação entre o melhor e o pior tempo (BORTOLOTTI *et al.*, 2010; PINTO *et al.*, 2016).

A habilidade em realizar *sprints* e mudança de direção é fundamental para o sucesso no jogo de *rugby*, com influência das características do tipo de fibra, potência e resistência a fadiga muscular (FIORENZA *et al.*, 2019b). Alterações na capacidade de realizar *sprints* repetidos de alta intensidade pode ser resultado da fadiga central, pela diminuição da ativação muscular pelo sistema nervoso central, entretanto, poucos déficits são observados no impulso neural central após o exercício (FIORENZA *et al.*, 2019b). Assim, o fator aparentemente com maior interferência no desempenho em *sprints* é a fadiga periférica, onde ocorre perturbações metabólicas e iônicas como a redução da fosfocreatina, aumento do fosfato inorgânico intracelular resultante da quebra da fosfocreatina e hidrólise de ATP, acúmulo de lactato intramuscular associada a diminuição do pH intracelular provocado pelos efeitos negativos do acúmulo de íons de hidrogênio produzidos na via glicolítica e da liberação de potássio da contração músculo esquelética (FIORENZA *et al.*, 2019b).

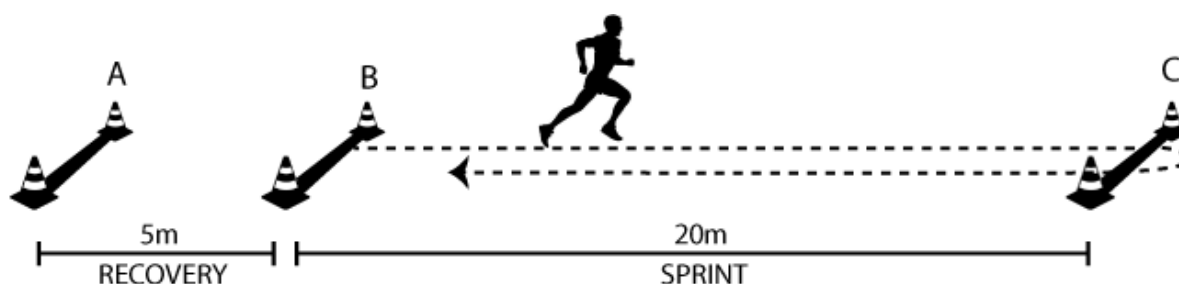
As variáveis do teste de Bangsbo estão relacionadas com capacidades físicas importantes para esportes intermitentes, como *sprint* com mudança de direção, potência de membros inferiores e resistência específica a atividade intermitente (BORTOLOTTI *et al.*, 2010). Assim, este é um teste com boa aplicabilidade para avaliar atletas de *rugby* e possíveis alterações no desempenho provocadas pela fadiga e danos musculares do exercício físico.

4.2.2 Yo-Yo Intermittent Recovery Level-1 (Yoyo-IR1)

A capacidade adequada de realizar corrida intermitente de alta intensidade está associada a melhores níveis de recuperação pós jogo, menor risco de lesões e é usada para detecção de atletas com maior potencial competitivo para o *rugby* (CHIWARIDZO *et al.*, 2017). O teste de *Yo-Yo Intermittent Recovery Level-1* (YoyoIR1) avalia a capacidade de corrida intermitente de alta intensidade de forma progressiva e fornece valores estimados do consumo máximo de oxigênio do atleta (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012; DOBBIN *et al.*, 2021). É um teste válido e com boa confiabilidade para capacidade aeróbia baseado na distância percorrida (KRUSTRUP *et al.*, 2003).

No teste de Yoyo-IR1 são colocados cones separados por uma distância de 20 metros, com um cone 5 metros à frente para marcar a área de recuperação (Figura 2). O teste consiste na corrida ida e volta, com um percurso total de 40 metros, iniciando em uma velocidade de 10 km/h, com aumento progressivo da velocidade por estímulo sonoro. Ao final do percurso de 40 metros, o participante para de correr, caminha até o terceiro cone (área de recuperação) e retorna ao cone inicial, para continuidade do teste. O período de recuperação equivale a 10 segundos. O teste é encerrado quando o atleta não consegue completar, durante duas vezes consecutivas, a distância de 20 metros no período estabelecido pelo estímulo sonoro, ou entra em exaustão (KRUSTRUP *et al.*, 2003).

Figura 2 – Esquema de realização do teste de YoyoIR1.



Yo-Yo Intermittent Recovery Test

Fonte: <https://www.theyoyotest.com/versions-which-one.htm>

O resultado do teste é a distância do último estágio completado com sucesso e com base nesse valor, o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) pode ser estimado

como descrito por Bangsbo *et al.* (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012), por meio da seguinte fórmula: VO_{2max} (mL/min/kg) = distância Yoyo-IR1 (m) \times 0,0084 + 36,4. Entretanto, Martínez-Lagunas e Hartmann (MARTÍNEZ-LAGUNAS; HARTMANN, 2014) avaliaram a validade desta fórmula proposta por Bangsbo *et al.* (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012), em estimar indiretamente o VO_{2max} em jogadoras de futebol do sexo feminino. Os autores concluíram que embora os valores de VO_{2max} direto e indireto estivessem significativamente relacionados, a fórmula inicial de Bangsbo não tem especificidade de sexo, o que pode subestimar o VO_{2max} das jogadoras. Por este motivo foi proposto uma outra fórmula para avaliar indiretamente o VO_{2max} em atletas do sexo feminino, que consiste em $VO_{2max} = \text{distância YoyoIR1 (m)} \times 0,0088 + 45,73$ (MARTÍNEZ-LAGUNAS; HARTMANN, 2014).

No jogo de *rugby* a corrida intermitente é intercalada por colisões, o que aumenta a tensão fisiológica imposta, e com isso sugere-se que testes com jogos simulados ou com corridas intermitentes de alta intensidade associadas a atividades de colisão sejam utilizadas para avaliação desses atletas (DOBBIN *et al.*, 2021). No entanto, esse tipo de avaliação apresenta muitas variáveis e possíveis interferências não controláveis, o que pode ser reduzido em testes de campo como o YoyoIR1 quando o objetivo é avaliar um método específico no desempenho máximo desses atletas.

4.3 Avaliação de Fadiga e Lesão Muscular

O desempenho em modalidades esportivas como o *rugby* depende tanto da capacidade anaeróbia, quanto aeróbia do atleta (IAIA; BANGSBO, 2010). O consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) é o melhor preditor de potência aeróbia e é definido como a maior taxa em que o oxigênio pode ser captado e utilizado pelo corpo durante o exercício, e altos valores de VO_{2max} têm sido associados com melhores desempenhos em provas de *endurance* (BOUCHARD *et al.*, 2011) Alguns autores têm considerado quatro fatores como os possíveis limitadores do VO_{2max} e determinantes para o desempenho de *endurance*: capacidade de difusão pulmonar, débito cardíaco, capacidade de transporte de oxigênio e características constitutivas do músculo esquelético (BASSETT; HOWLEY, 2000). Outros aspectos como o aumento da variabilidade da frequência cardíaca, melhora dos limiares de lactato e ventilatório, além da atenuação das respostas inflamatórias e do estresse oxidativo

são associadas aos programas de treinamento de *endurance* (WHITE; WELLS, 2013).

Entretanto, o dano muscular pode ser agravado pelo acúmulo de metabólitos do metabolismo anaeróbio, devido à redução do pH intracelular, aumento da osmolaridade e diminuição da ressíntese de adenosina trifosfato (ATP), que leva à ruptura das membranas celulares, liberação de cálcio intracelular e ativação de vias de sinalização que geram necrose ou apoptose celular, liberando ainda mais metabólitos que reduzem o pH (FREDSTED *et al.*, 2007; WHITE; WELLS, 2013). A acidose muscular pode levar a dor e fadiga, que reduzem a capacidade do músculo de gerar força e desempenhar atividades funcionais (PROIA *et al.*, 2016). A natureza de combate e esforço de alta intensidade do *rugby*, produz notáveis danos musculares após os treinamentos e competições, que podem alterar o desempenho neuromuscular por até 48 horas e há relatos de fadiga muscular até quatro dias após uma partida (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a). Como o treinamento de *rugby* frequentemente ocorre em menos de 48 horas após o jogo, com atletas treinando dois ou mais dias consecutivos durante a semana, é provável que ocorra uma queda de desempenho físico-funcional dos jogadores, além de fadiga acumulada que leva a um sub-desempenho no dia do jogo (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a).

4.3.1 Creatina Quinase (CK)

O aumento do nível sérico das enzimas do músculo esquelético pode representar necrose celular e dano tecidual após lesões musculares, tanto agudas como crônicas. A creatina quinase (CK) é um marcador de função do tecido muscular e valores elevados no sangue é indicador de necrose, que pode ocorrer como consequência de treinos intensos e prolongados, por causas metabólicas ou mecânicas (BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007). Idade, sexo, massa muscular, atividade física e condições climáticas podem interferir nos valores da CK. Em temperaturas mais baixas a CK costuma alcançar níveis mais elevados do que em climas quentes, o que também acontece com recém-nascidos comparados a pessoas adultas, homens comparados a mulheres e atletas com indivíduos sedentários (BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007).

A CK é uma proteína encontrada em vários tecidos como cérebro, coração e principalmente no músculo esquelético. É uma enzima que tampona as concentrações celulares de ATP e adenosina difosfato (ADP), catalisando a troca

reversível das ligações de fosfato de alta energia entre a fosfocreatina e o ADP, produzido durante a contração muscular (BRANCACCIO *et al.*, 2008). Boa parte da CK encontra-se na linha M dos sarcômeros, onde está a estrutura miofibrilar que conecta diretamente os filamentos de miosina entre si, proporcionando estabilidade física entre esses durante a contração muscular e o local onde há ação enzimática para regenerar o ATP e fornece-lo para a miosina trabalhar em condições de esforço (BRANCACCIO *et al.*, 2008).

Em pessoas saudáveis e atletas, o aumento dos níveis séricos da CK costuma estar correlacionado com o nível de treinamento físico, que quando extenuante, danifica a estrutura celular do músculo a nível do sarcolema e linha Z (BRANCACCIO *et al.*, 2008). Exercícios de baixa a moderada intensidade, não causam alterações na permeabilidade da membrana do tecido muscular, entretanto isso acontece quando há intensidades altas de esforço. Nesses casos, a carga ultrapassa os limites suportados pelo tecido muscular, há alteração da permeabilidade da membrana muscular e as enzimas como a CK são liberadas para o líquido intersticial, absorvida pelo sistema linfático e retorna para a circulação (BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007).

O tempo de liberação da CK é gradual após o exercício e de acordo com a intensidade, tipo, duração e nível de treinamento do indivíduo. Após oito horas de exercícios de força já é possível notar o dobro do valor de CK basal, esforços prolongados costumam ter o pico de dano muscular entre 24 e 48 horas, enquanto exercícios excêntricos podem levar a lesões com pico de 96 horas e que podem permanecer por até sete dias após o exercício (DOEVEN *et al.*, 2018). Quando os valores de CK permanecem altos durante o repouso após esse período, é um preditor de que a carga de exercício ou treinamento esta alta, o que pode gerar sintomas como a fadiga profunda (BRANCACCIO *et al.*, 2008).

Além disso, atletas possuem maior valor de CK em repouso comparado com pessoas sedentárias, o que está relacionado com a maior massa muscular e as adaptações do treinamento diário (BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007). No entanto, indivíduos sedentários ou menos treinados possuem picos de CK maiores do que os atletas (BRANCACCIO; MAFFULLI; LIMONGELLI, 2007). Assim, análises do nível sérico de CK em repouso e após o exercício pode ser uma ferramenta importante para controle da intensidade e recuperação dos atletas.

4.3.2 Lactato (La)

Durante o exercício intenso, um dos principais contribuintes para a produção de energia muscular é a glicólise, que induz a produção de lactato e o acúmulo de hidrogênio (HOSTRUP; BANGSBO, 2017). Na glicólise, a glicose é quebrada em duas moléculas de piruvato, em seguida as moléculas entram na mitocôndria onde são oxidadas no ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) ou são reversivelmente reduzidas a ácido láctico ou lactato (PROIA *et al.*, 2016). Na fase final do metabolismo anaeróbico da glicose, os hidrogênios são removidos dos substratos nutricionais nas vias bioenergéticas e transportados pela nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD) (BRANCACCIO *et al.*, 2008). Essas moléculas transportam os hidrogênios pela sua forma reduzida NADH, para serem utilizados na geração de ATP na mitocôndria pelos processos aeróbicos, com presença de oxigênio. Entretanto, quando não há oxigênio disponível para receber hidrogênios nas mitocôndrias, a NADH deve ser convertida em NAD para continuar a glicólise, assim o piruvato pode aceitá-los para formar o lactato (La) e a enzima que é responsável por catalisar essa reação é a lactato desidrogenase (LDH) (PROIA *et al.*, 2016). O lactato e os prótons então saem da célula para limitar a acidificação do tecido (PROIA *et al.*, 2016).

No exercício intenso e exaustivo com duração de alguns minutos, o acúmulo de lactato muscular pode ir de 1 a 25 mmol e o pH diminuir de 7,2 para menos de 6,6 (BRANCACCIO *et al.*, 2008). O lactato é um dos principais substratos de energia, é o precursor primário da gliconeogênese, além de ser uma importante molécula de sinalização que funciona alterando o redox celular, fatores de crescimento e expressão gênica (HOSTRUP; BANGSBO, 2017). A alta concentração de lactato no sangue indica que o organismo não está em um estado metabólico estável e quando isso acontece durante o exercício, mostra a redução do desempenho físico por fadiga (BRANCACCIO *et al.*, 2008). Outra análise importante que pode ser utilizada para monitoramento do exercício, é o limiar de lactato ou anaeróbico, que por definição é o maior nível de esforço físico que o corpo pode sustentar sem acumular lactato e íons de hidrogênio no sangue e no músculo. Esse limiar corresponde ao limite da intensidade e duração da atividade física no qual o metabolismo energético suporta sem alterar a via anaeróbia para a aeróbia (PROIA *et al.*, 2016).

Por outro lado, baixas concentrações de La durante exercícios intensos,

significam maior capacidade de depurar o La e pode ser consequência do treinamento muscular. A produção de lactato é um importante biomarcador de relações fisiológicas de estresse e tensão, com grande utilidade para demonstrar a intensidade desempenhada no exercício (HOSTRUP; BANGSBO, 2017).

4.4 Avaliação do Controle Neuromuscular por Testes Funcionais de Membros Inferiores

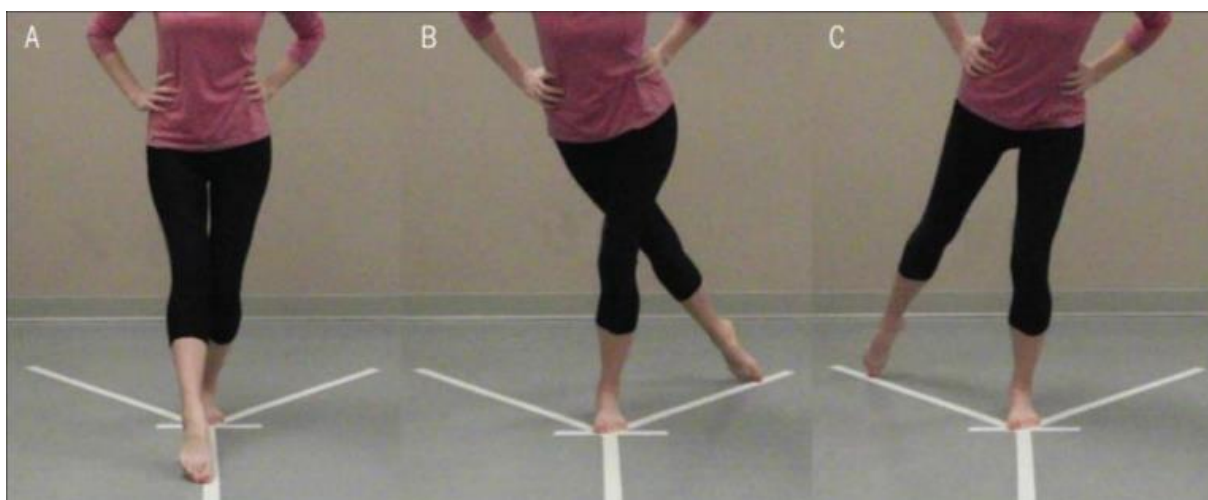
Os mecanismos da fadiga tendem a se manifestar ao final de atividades exaustivas, com a redução do impulso motor, alterações na liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático, aumento das concentrações de fosfato inorgânico e adenosinofosfato, além de diminuição da velocidade de condução da fibra muscular por acidose intracelular (JOHNSTON, W. *et al.*, 2020). Consequentemente, a fadiga altera a força, potência e controle neuromuscular dos indivíduos, com potencial para reduzir o desempenho e aumentar o risco de lesões durante o esporte (HEGEDUS *et al.*, 2015b; WILCZYŃSKI *et al.*, 2021). Neste sentido, testes funcionais como o *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT) e os *Hop* testes podem auxiliar na avaliação dos efeitos da fadiga e de métodos de recuperação no controle dinâmico e potência muscular de atletas.

4.4.1 *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT)

O sistema neuromuscular é fundamental para o controle postural em atividades de equilíbrio dinâmico, com prejuízos a estabilidade corporal caso ocorra falta de coordenação entre o sistema sensorial e neuromotor (JAGGER *et al.*, 2020). O *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT) e o *Y-Balance Test of the Lower Quarter* (YBT-LQ) são medidas válidas e confiáveis para avaliação do equilíbrio dinâmico em atletas e indivíduos fisicamente ativos, porém diferem-se entre si na execução e cinemática do teste, consequentemente oferecem resultados distintos (JAGGER *et al.*, 2020). No mSEBT o indivíduo posiciona o pé do membro a ser avaliado na intersecção de três fitas métricas: uma orientada para o ápice (distância anterior) e outras duas a 135° desta primeira (póstero medial e póstero lateral), que são separadas por um ângulo de 45°. Com as mãos posicionadas na região das cristas ilíacas, o participante deve alcançar a maior distância possível e tocar o

centro da linha de medida com o hálux do membro inferior oposto, sem perder o equilíbrio, tirar as mãos da pelve, mover ou levantar o pé de apoio ou falhar ao tocar a fita métrica (NESS *et al.*, 2015). A figura 3 mostra o posicionamento e as direções do mSEBT.

Figura 3 – Direções e posicionamento dos pés na realização do *Modified Star Excursion Balance Test* (mSEBT). (A) Direção anterior, (B) direção pósterolateral e (C) direção pósteromedial.



Fonte: https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/sites.udel.edu/dist/c/3448/files/2017/09/SEBT_instructions_updated-Sept-18-2017-1cq2rco.pdf

O YBT-LQ foi desenvolvido baseado no mSEBT, no entanto, nesse teste o indivíduo fica em uma placa de apoio enquanto desliza um marcador de alcance (JAGGER *et al.*, 2020). Pelo YBT-LQ ser derivado do mSEBT, muitos acreditavam que os dois testes poderiam ter seus valores comparados igualmente, entretanto, foi mostrado alterações na cinemática de quadril, joelho e tornozelo, além de diferenças nas demandas neuromusculares durante a execução dos testes (FULLAM *et al.*, 2014). Durante o alcance no YBT-LQ, os participantes empurram o marcador ligeiramente na lateral da linha média e inferior ao nível do chão do pé de apoio, contrário ao mSEBT onde o alcance é na linha média e ao nível do chão. Para reduzir essas diferenças foi criada uma modificação do YBT-LQ (mYBT-LQ) que permitiu o indicador ser empurrado de um local central e no nível do pé de apoio, como no mSEBT (JAGGER *et al.*, 2020). Considerações sobre estes testes foram abordados no estudo de Jagger *et al.* (JAGGER *et al.*, 2020), que mostrou

diferenças significativas no alcance do mSEBT comparado ao YBT-LQ e o mYBT-LQ nas direções anterior, pósteromedial e posterolateral.

Para obter-se o resultado no mSEBT inicialmente os participantes tem o comprimento dos membros inferiores mensurado de acordo com Clagg *et al.* (CLAGG *et al.*, 2015), onde é medido a distância da espinha íliaca antero-superior até o maléolo medial de cada membro inferior (MI). São realizadas três repetições com cada MI, com intervalo de um minuto entre elas e a distância alcançada é anotada em centímetros pelo avaliador (NESS *et al.*, 2015). Para obtenção do score composto das três direções de acordo com a normatização do comprimento dos MMII, é considerado o melhor valor em cada direção, e calculado de acordo com a fórmula abaixo (MAURICIO CORREIA LIMA, 2015; NESS *et al.*, 2015):

$$\text{Score} = \frac{(\text{Anterior} + \text{Posteromedial} + \text{Posterolateral})}{(3 \times \text{Comprimento do membro})} \times 100$$

Vários estudos trazem correlações entre o resultado nos testes de equilíbrio dinâmico mSEBT e YBT-LQ com risco de lesões. Hegedus *et al.* (HEGEDUS *et al.*, 2015b) mostraram em seu trabalho de revisão de literatura que o mSEBT tem boa confiabilidade e excelente critério de validade, com evidências moderadas para detecção de diferenças entre tornozelos instáveis e normais, além de forte evidência de que as três direções do teste podem prever lesões. Diferença na pontuação do escore composto entre os membros inferiores menores que 94% e no alcance anterior de quatro centímetros estão associados ao aumento no risco de lesões (HEGEDUS *et al.*, 2015b).

O mSEBT é aplicado muitas vezes como critério de retorno ao esporte após lesões e estudos atuais tem usado o YBT-LQ para avaliar a recuperação após a concussão em esportes de contato (JAGGER *et al.*, 2020; JOHNSTON, W. *et al.*, 2020). Johnston *et al.* (JOHNSTON, W. *et al.*, 2020) identificou redução no controle dinâmico do movimento pelo YBT-LQ associado a um sensor inercial colocado na lombar de atletas de *rugby*, futebol americano e hóquei no gelo, 24 e 48 horas após a concussão, com retorno aos valores normais no período de retorno ao esporte.

A fadiga muscular, central ou periférica, pode afetar a ativação neuromuscular e afetar o controle do movimento, com redução da estabilidade postural dinâmica e

maior risco de lesões sem contato (WHYTE *et al.*, 2015). Johnston *et al.* (JOHNSTON, W. *et al.*, 2018) utilizaram o YBT-LQ para análise do efeito da fadiga anaeróbia no controle postural e o tempo de recuperação deste estresse, e observaram queda significativa no escore normalizado das três direções imediatamente após o exercício, com retorno do controle dinâmico para o alcance anterior em menos de dez minutos, o posteromedial entre dez e 20 minutos e o posterolateral somente após 20 minutos do protocolo de fadiga. Outro estudo analisou o efeito do exercício intermitente de alta intensidade, composto de corridas curtas, mudanças de direções e saltos, que também afetaram os resultados de controle postural dinâmico no *Star Excursion Balance Test* (WHYTE *et al.*, 2015).

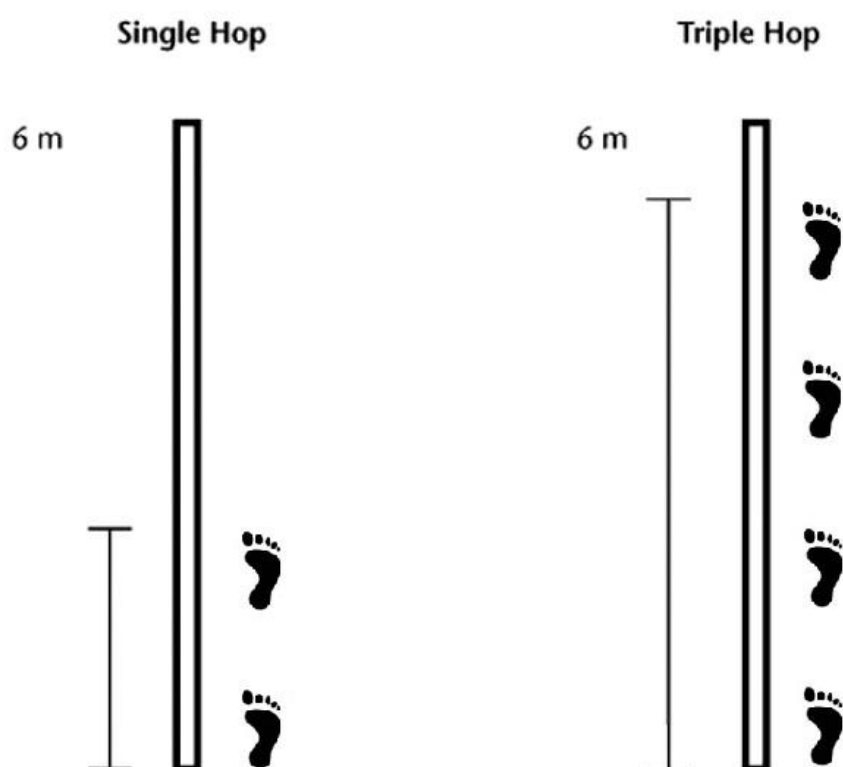
4.4.2 Hop Tests

Os *hop tests* são testes de salto que oferecem dados sobre a potência muscular do membro inferior, com aplicações tanto para prever lesões como critério de alta e retorno ao esporte (LOGGERSTEDT *et al.*, 2013). O *Single Leg Hop for Distance* ou resumidamente *Single Hop Test* (SHT), consiste em saltar uma única vez para frente, na maior distância possível com apenas um membro inferior, enquanto no *Triple Hop for Distance* ou *Triple Hop Test* (THT) são realizados três saltos (LOGGERSTEDT *et al.*, 2013). Os testes são realizados com os participantes em apoio unipodal sobre o membro inferior a ser testado, com artelhos atrás da linha de partida e a mensuração se dá pela distância em centímetros entre a linha inicial e o calcanhar do indivíduo. A distância dos saltos é mensurada em centímetros, considera-se válidos os saltos com aterrissagem estável no membro testado, sem toque do membro contralateral, saltos adicionais ou perda de equilíbrio significativa (LOGGERSTEDT *et al.*, 2013). Sugere-se realizar de duas a três repetições dos testes em cada membro inferior (ROGERS *et al.*, 2019). A figura 4 ilustra o SHT e o THT.

Revisões sistemáticas mostraram que o SHT e o THT são testes com boa validade, entretanto não são capazes de prever lesões em joelhos e tornozelos, mas seus resultados melhoram de acordo com a evolução do atleta em um processo de reabilitação ou treinamento (HEGEDUS *et al.*, 2015a, 2015b). Outro ponto, apesar de poucas evidências, é a correlação entre fraqueza de quadríceps com pontuações menores no SHT (HAMILTON *et al.*, 2008; HEGEDUS *et al.*, 2015a). Rogers *et al.* (ROGERS *et al.*, 2019) mostraram que o THT tem correlação

moderada com a força isocinética e potência de quadríceps e isquiotibiais, além de forte correlação com os saltos contra movimento, o que é válido para medidas de potência e força de membros inferiores.

Figura 4 – Ilustração dos testes *Single Hop Test* e *Triple Hop Test*.



Fonte: Adaptado de Meierbachtol e colaboradores (2017).

Ao considerar a fadiga capaz de alterar a produção de força muscular, o tempo de reação, coordenação do movimento e a precisão do controle motor, os *hop* testes poderiam ser válidos para captar alterações provocadas por um protocolo de exercícios extenuantes (TROESTER; DUFFIELD, 2019; WHYTE *et al.*, 2015). Wilczynski *et al.* (WILCZYŃSKI *et al.*, 2021) analisaram a relação entre equilíbrio dinâmico e testes de saltos em jogadores de *rugby* com o objetivo de auxiliar na concepção de condutas preventivas e melhoria do desempenho dos atletas. Os autores encontraram forte correlação positiva entre o *Single Leg Hop for Distance* em ambos os membros inferiores e o salto contra movimento, correlação moderada entre o SHT e escore composto do YBT-LQ, e o mesmo para este último e o salto contra movimento. Isso indica que as variáveis de equilíbrio e potência de membros

inferiores são dependentes umas das outras.

Além da relação dos *hop* testes com os testes de equilíbrio dinâmico e saltos contra movimento, existe evidências de correlação moderada a forte com testes de *sprints* e agilidade (SONESSON; LINDBLOM; HÄGGLUND, 2021). Análises de características e perfil de jogadores de *rugby*, trazem os testes de salto como fundamental para identificar os padrões neuromusculares desses atletas, com diferenças significativas nas comparações entre as posições de jogo, com os *forwards* apresentando menor altura no salto contra movimento e valores reduzidos no THT em ambos os membros inferiores quando comparados aos *backs* (CHIWARIDZO *et al.*, 2017; WOOD; COUGHLAN; DELAHUNT, 2018).

4.5 Avaliação do Estresse e Recuperação Percebida

O exercício físico causa um estresse no organismo que induz várias respostas psicofisiológicas que influenciam nas adaptações celulares de muitos órgãos e sistemas (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018). Para maximizar a resposta adaptativa é necessário o controle das cargas de treinamento externa e interna impostas para o atleta de forma individualizada (BOURDON *et al.*, 2017). A carga externa é definida como a quantidade ou volume e a qualidade ou intensidade de trabalho físico prescrito em um plano de treinamento, ou seja, séries, repetições, peso levantado, velocidade, distância percorrida entre outros (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018). Já a carga interna reflete as respostas psicofisiológica que ocorrem durante a execução do exercício, e mostra como o indivíduo absorveu a carga externa imposta a ele (BOURDON *et al.*, 2017; GABBETT *et al.*, 2017; IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018).

Um fato importante é que atletas que recebem a mesma carga externa podem apresentar carga interna diferente por fatores modificáveis ou não, como estado de treinamento, nutrição, genética, sono, saúde e estado psicológico (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018). Neste contexto, instrumentos como o questionário de Recuperação e Estresse em atletas (RESTQ-Sport) podem ajudar no monitoramento da carga interna de treinamento, e fornece informações sobre o estado de estresse e recuperação percebido pelo esportista (CAMPBELL *et al.*, 2020; KELLMANN, M., 2010).

4.5.1 Questionário RESTQ-Sport-76

O questionário de estresse e recuperação para atletas (RESTQ-Sport) foi desenvolvido por Kellmann e Gunther (KELLMANN, Michael; GÜNTHER, 2000) e validado para língua portuguesa por Costa e Samulski (COSTA; SAMULSKI, 2005) com o objetivo de medir a frequência de eventos estressantes e atividades de recuperação, e mostra as consequências subjetivas dessas ações dos últimos três dias e noites. O questionário RESTQ-Sport é composto por 77 itens, organizados em 19 escalas (quatro itens em cada mais um de aquecimento), com 10 escalas de estresse (estresse geral, estresse emocional, estresse social, conflitos/pressão, fadiga, falta de energia, queixas físicas, distúrbios no intervalo do esporte, exaustão emocional relacionado ao esporte e lesões) e nove escalas de recuperação (sucesso, recuperação social, recuperação física, bem estar geral, qualidade do sono, estar em forma para atividades físicas, aceitação pessoal, autoeficácia e autorregulação). O questionário avalia quantitativamente, de acordo com uma escala *Likert* de 0 (nunca) a 6 (sempre), quantas vezes o indivíduo esteve engajado em eventos potencialmente estressantes e tranquilizantes nos últimos três dias e noites (KELLMANN, M., 2010).

O resultado do questionário é dado pelos valores médios dos itens de cada escala, que podem variar de zero a seis. Médias altas nas escalas de atividades estressantes refletem estresse subjetivo intenso, enquanto altos escores nas escalas associadas a recuperação, refletem muitas atividades de recuperação no período (KELLMANN, M., 2010). Segundo Kellmann (KELLMANN, M., 2010) os níveis de estresse e recuperação podem ser agrupados em quatro dimensões para análise: Estresse geral (estresse emocional, estresse geral, estresse social, conflitos/pressão, falta de energia e queixas físicas), estresse no esporte (perturbações no intervalo do esporte, exaustão emocional e lesões), recuperação geral (sucesso, recuperação social, recuperação física, bem-estar geral e qualidade de sono) e recuperação no esporte (estar em forma, realização pessoal, autoeficácia e autorregulação). Medidas subjetivas como marcadores de perturbações do humor, sono, percepção de estresse e recuperação, são indicadores consistentes da fadiga excessiva, *overreaching* e estado de *overtraining* no treinamento, auxiliando na detecção precoce dessas situações, além de ser métodos econômicos e práticos

(CAMPBELL *et al.*, 2020).

Campbell *et al.* (CAMPBELL *et al.*, 2020) estudaram o efeito da periodização da carga com duas semanas de treinamento normal, duas com intensificação da carga e outras duas semanas com treino *taper* (redução da carga) nas variáveis de desempenho físico, neuromuscular e em medidas psicofisiológicas com o questionário RESTQ em jogadores de futebol australiano. Os autores mostraram que o desempenho no *sprint* de 30 metros, pico de potência no cicloergômetro, dois quilômetros de corrida contra o relógio e altura do salto contramovimento reduziram após o treinamento intenso em comparação ao teste inicial, com aumento subsequente do desempenho na fase de treino *taper*. Além disso, a variável de bem-estar médio dos atletas no RESTQ foi maior durante o treino normal, comparado com o período de carga intensa, enquanto a prontidão para treinar melhorou durante a fase *taper* após o treinamento intenso. Assim, o estudo concluiu que perturbações no desempenho, percepção de esforço e estado de humor podem indicar uma fase de *overreaching* não-funcional, e sugere que a pontuação média de bem-estar é útil para identificar e monitorar essa carga excessiva.

Outros estudos também mostraram que aumentos da carga de treino, além de influenciar nas medidas fisiológicas, de desempenho e do bem-estar já relatado, podem alterar a qualidade do sono, estresse, fadiga mental, ansiedade e emoções desagradáveis (LOCH *et al.*, 2020; MALONE *et al.*, 2017; THORNTON *et al.*, 2017; VACHER *et al.*, 2019). Em esportes coletivos, o desempenho físico, cognitivo e técnico-tático dos jogadores estão relacionados com a alta capacidade de atenção e maior controle da fadiga mental do atleta, variáveis estas que estão associadas com atividades de aumento do estresse ou falta de recuperação adequada (GÜLDENPENNING *et al.*, 2020; LOCH *et al.*, 2020). Desta forma, identificar fatores psicofisiológicos do atleta em relação ao cotidiano e ao esporte é uma medida importante para prevenção do overtraining e pode ser uma base para estratégias de melhora do desempenho esportivo focados na redução da fadiga mental.

4.6 Fotobiomodulação

Os primeiros relatos do uso terapêutico da luz são de aproximadamente 1400 a.C., onde Hindus com vitiligo receberam extratos de plantas e foram expostos a luz solar (ROELANDTS, 2002). Com o passar dos séculos, a terapia com luz foi

disseminada entre vários países, incluindo o antigo Egito, Grécia e Roma, mas com os efeitos relacionados a luz vermelha e o calor do sol. Os efeitos terapêuticos dos raios ultravioletas (UV) começaram a ser percebidos ao fim do século 19, e em 1903 os estudos com doses concentradas de UV por uma lâmpada com arco de carbono para o tratamento de lúpus, concederam o prêmio Nobel para o dermatologista Nils Finsen (ROELANDTS, 2002). Em 1967, anos após os primeiros trabalhos sobre a invenção do LASER, Endre Mester testou o potencial efeito cancerígeno do LASER de rubi de baixa potência (694nm) em camundongos. Não foram observados efeitos cancerígenos nos animais, entretanto o estudo demonstrou a estimulação dos tecidos biológicos no grupo que foi irradiado (HAMBLIN; DEMIDOVA, 2006).

Desde então, os tratamentos com fontes de luz coerente, no caso os LASERs, e com luz não coerente como os LEDs, passaram a ser mais estudados e ter seus efeitos comprovados. Atualmente, não há muitas dúvidas referentes aos efeitos da fotobiomodulação, no entanto as pesquisas têm se concentrado em responder questões como o funcionamento dessa terapia a nível celular e os parâmetros ideais de aplicação (HAMBLIN; DEMIDOVA, 2006). A fotobiomodulação é frequentemente aplicada em uma potência entre 1 a 500 mW, na largura espectral próxima à luz vermelha (600nm) e infravermelha próxima (1000nm), com densidade de potência entre 1mW-5W/cm² (HUANG, Y.-Y. *et al.*, 2009). Entretanto, estudos demonstraram que existe uma dose ideal de emissão de luz em qualquer tipo de aplicação, e que doses inferiores ou superiores a esse valor, interferem negativamente nos resultados terapêuticos (HAMBLIN; DEMIDOVA, 2006; HUANG, Y. Y. *et al.*, 2009).

Os parâmetros físicos da fotobiomodulação são a área emissora do feixe (cm²), o comprimento de onda (nm), densidade de energia ou fluência (J/cm²), densidade de potência ou irradiância (W/cm²), energia de Joules (J), potência em Watts (W) e tempo de irradiação em segundos (s) (CHUNG *et al.*, 2012). Com esses valores bem descritos, é possível comparar os equipamentos utilizados nas pesquisas e definir os parâmetros que mostram resultados de acordo com o objetivo da aplicação.

4.6.1 *Mecanismo de Ação da Fotobiomodulação*

A fotobiomodulação é definida como uso da luz vermelha ou infravermelha próxima em baixas densidades de potência com o objetivo de modular as atividades das células ou tecidos (HAMBLIN, 2018). Inicialmente o termo utilizado era terapia

com laser de baixo nível, pois acreditava-se que os efeitos biológicos da luz eram pela monocromaticidade e coerência do LASER, no entanto, nos últimos anos os diodos emissores de luz (LED), que não possuem coerência, apresentaram funcionamento semelhante aos do laser, porém são mais baratos e seguros, e o termo foi atualizado para fotobiomodulação (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a).

Os efeitos da fotobiomodulação estão relacionados com a diminuição da dor, inflamação, edema e regeneração de tecidos danificados (HAMBLIN, 2018). A literatura estabelece que quando as células são expostas à fotobiomodulação, ocorre aumento da síntese de ATP, modulação das espécies reativas de oxigênio (ERO), inibição da apoptose, estimulação da angiogênese, aumento do fluxo sanguíneo e indução de fatores de transcrição, com aumento da proliferação celular e modulação dos níveis de citocinas, fatores de crescimento e mediadores inflamatórios (HAMBLIN, 2018; HUANG, Y.-Y. *et al.*, 2009).

Esses efeitos dependem de vários mecanismos bioquímicos que estão associados à dose de energia luminosa entregue e absorvida pelo tecido. Esta absorção está relacionada a resposta bifásica a dose ou lei de Arndt Schulz, que diz que uma dose muito baixa não tem efeito, uma dose um pouco maior tem efeito positivo até alcançar um platô e caso a luz seja aumentada além desse ponto, o efeito reduz progressivamente até a linha de base que não gera nenhum benefício, com aumentos maiores gerando danos ao tecido (HUANG, Y.-Y. *et al.*, 2009).

O principal local de absorção de luz nos mamíferos foi identificado como a citocromo c oxidase localizada na mitocôndria, assim tecidos com maior quantidade dessa organela, como os músculos e neurônios do sistema nervoso, são mais responsivas a luz (HAMBLIN, 2018). O mecanismo de ação da luz na célula é baseado na dissociação do óxido nítrico inibitório da citocromo c oxidase, que restaura o transporte de elétrons e aumenta o potencial da membrana mitocondrial (HAMBLIN, 2018). Células doentes ou hipóxicas possuem maiores concentrações de óxido nítrico inibitório e por este motivo, aparentemente a fotobiomodulação tem melhor ação em tecidos estressados (HAMBLIN, 2018).

4.6.2 Aplicação da Fotobiomodulação e Efeitos Associados ao Exercício

O treinamento físico produz várias mudanças nas células musculares, que

inclui adaptações no nível mitocondrial que produzem expansão do volume mitocondrial e aumento da capacidade oxidativa (FIORENZA *et al.*, 2019a). Entretanto, alterações agudas provocadas pelo exercício intenso podem afetar essa adaptação, produzir danos musculares e fadiga excessiva (FIORENZA *et al.*, 2019b). Métodos de recuperação têm sido estudados e aplicados com o objetivo de reduzir a dor muscular de início tardio e melhorar a capacidade de exercício, dentre eles a fotobiomodulação tem se mostrado efetiva, o que é justificado por sua ação em estimular a atividade mitocondrial (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019b; NAMPO *et al.*, 2016b).

Os ensaios clínicos com o uso da fotobiomodulação associada ao exercício iniciaram em 2008, com resultados que sugeriam o uso da fotobiomodulação antes do exercício para melhora do desempenho, redução da fadiga e prevenção do aumento dos níveis de lactato sanguíneo (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a). Com o passar dos anos muitos estudos nessa área foram publicados, e oferecem bases para revisões sistemáticas de literatura e meta-análises que mostraram os efeitos benéficos do método associado ao esporte. Nampo *et al.* (NAMPO *et al.*, 2016a) realizaram uma revisão de literatura sobre os efeitos da fotobiomodulação na dor, creatina quinase, edema, amplitude de movimento e força em pessoas submetidas a protocolos de exercício. Os autores compilaram evidências de literatura que sugeriam que a fotobiomodulação reduz os níveis de CK apenas quando aplicada antes do exercício, mas sem alterar os principais sintomas do dano muscular que são a dor muscular de início tardio, o edema, a alteração da amplitude de movimento e a força muscular.

Outras revisões sistemáticas mostraram que a luz vermelha e infravermelha, são capazes de melhorar a *performance* e acelerar a recuperação muscular, reduzir marcadores de lesão e a fadiga muscular, além de melhorar a potência, trabalho total e tempo de exaustão no exercício principalmente quando aplicada antes do exercício (BORSA; LARKIN; TRUE, 2013b; MIRANDA, E.; LEAL-JUNIOR, 2013; NAMPO *et al.*, 2016b). Vanin *et al.* (VANIN *et al.*, 2018) investigaram a eficácia do momento de aplicação da fotobiomodulação dentro de um protocolo de exercício e os parâmetros ótimos para melhoria do desempenho e redução da fadiga muscular em pessoas saudáveis. Os autores observaram que a maioria dos resultados positivos da fotobiomodulação com laser de baixa potência (LBP), diodos emissores de luz (LED) ou a combinação das fontes de luzes foram aplicadas antes do

exercício, em contato direto com a pele, comprimentos de onda entre 655 a 950 nm, na faixa de dose de energia entre 20 a 60 joules para pequenos grupos musculares, 60 a 300 joules para grandes grupos musculares e potência de saída máxima de 200 mW por diodo.

O estudo de Vanin *et al.* (2018) foi complementado por uma *masterclass* publicada no *Brazilian Journal of Physical Therapy* que sugere as recomendações clínicas e científicas para o uso da fotobiomodulação (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a). Leal Junior *et al.* (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a) acrescentam que a potência do dispositivo não pode causar efeitos térmicos, o modo pode ser pulsado ou contínuo, a duração mínima por ponto deve ser de 30 segundos, a irradiação deve englobar o máximo possível do grupo muscular envolvido na atividade, para efeitos agudos a irradiação deve ser de cinco minutos a seis horas antes da atividade e para efeitos crônicos imediatamente antes de cada sessão de exercício. Porém os autores relatam a necessidade de mais estudos com metodologia de qualidade, maior tamanho de amostra e janelas terapêuticas bem descritas para prever os efeitos e eficácia desta terapia.

Alguns estudos em humanos têm mostrado que a fotobiomodulação com Laser ou LED aplicadas pré-exercício, são eficazes na redução de marcadores bioquímicos como CK, proteína C reativa (PCR) e lactato; no entanto, a melhora no desempenho em testes anaeróbios é controversa (LEAL JUNIOR, E. C. *et al.*, 2011; LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.*, 2009b). Denis *et al.* (DENIS; O'BRIEN; DELAHUNT, 2013) avaliaram o efeito da irradiação com diodos emissores de luz vermelho (660nm) e infravermelho (950nm) após os testes de Wingate e Yo-Yo IR2, em atletas de esportes coletivos, e não encontraram diferença entre o grupo tratado e o placebo na concentração de lactato sanguíneo, pico de potência e índice de fadiga muscular, concluíram que a LEDterapia nos parâmetros utilizados não foi eficaz na recuperação muscular após exercícios de alta intensidade e fatigante. No entanto, Correa e colaboradores (2020) aplicaram a fotobiomodulação com luz vermelha (630 nm) para avaliar a capacidade anaeróbia no teste de Wingate, e mostraram aumento da potência, do pico de rotações por minuto e da velocidade na sessão onde a fotobiomodulação foi administrada.

Em contrapartida, outras investigações têm demonstrado que a aplicação da fototerapia pré-exercício pode reduzir os danos celulares e melhorar a execução das atividades seguintes. De Marchi *et al.* (DE MARCHI *et al.*, 2012), aplicaram a

fotobiomodulação por laser (810nm) nos músculos quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmio de homens não treinados e analisaram os efeitos sobre o desempenho físico (VO_{2max} , tempo de exaustão, limiar anaeróbio e aeróbio) durante o teste incremental em esteira e sobre os níveis de estresse oxidativo. Os autores encontraram após a aplicação do LBP aumento no VO_{2max} e tempo de exaustão, sem alterações nos limiares anaeróbio e aeróbio. Além disso, houve redução dos danos lipídicos e proteicos, da atividade das enzimas superóxido dismutase, enzima lactato desidrogenase e creatina quinase, porém sem alterações significativas na atividade da catalase.

Com o objetivo de avaliar os efeitos fisiológicos e bioquímicos da fotobiomodulação na população alvo dos métodos de recuperação, vários trabalhos têm utilizado atletas de alto rendimento para análise. Leal Junior *et al.* (LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.*, 2009b) testaram o efeito da fotobiomodulação por LED pré-exercício no desempenho muscular, fadiga e níveis de marcadores inflamatórios em jogadores de voleibol submetidos a um modelo experimental de contrações concêntricas do músculo bíceps braquial com carga de 75% da sua força de contração voluntária máxima (CVM) até a exaustão. Os autores observaram aumento de 12,9% no número de contrações voluntárias no grupo LED ativo comparado com o grupo LED placebo, além de reduções significativas do lactato sanguíneo, CK e PCR no grupo LED ativo.

A maioria dos estudos atuais, analisam os efeitos das aplicações de fotobiomodulação antes do exercício, no entanto, o efeito após o exercício também tem demonstrado bons resultados nos marcadores inflamatórios, dor, funcionalidade muscular e desempenho muscular (BORGES *et al.*, 2014a; CAMARGO *et al.*, 2012; DOS REIS *et al.*, 2014; MIRANDA, E. F. *et al.*, 2018; VANIN *et al.*, 2016). Borges *et al.* (BORGES *et al.*, 2014a), aplicaram a fotobiomodulação de 630nm (20,4J/cm²) imediatamente após um protocolo de exercício excêntrico com carga de 100% da contração isométrica máxima de flexores de cotovelo do membro superior não-dominante. Foram mensurados a força isométrica, dor muscular e amplitude de movimento antes, com 24, 48, 72 e 96 horas após exercício, com efeitos favoráveis a aplicação da fotobiomodulação comparado ao grupo placebo, em todas as variáveis analisadas.

A aplicação de métodos de recuperação no intervalo entre exercícios até o momento foi pouco estudada. Da Costa Santos e colaboradores (DA COSTA

SANTOS *et al.*, 2014) avaliaram o efeito da recuperação passiva, imersão e da fotobiomodulação de 4J/cm², em ratos Wistar submetidos a dois episódios de 45 minutos de natação, separados por 25 minutos de recuperação. Os autores analisaram o efeito destes métodos de recuperação nos leucócitos, linfócitos e neutrófilos sanguíneos, além das áreas de necrose, edema e inflamação muscular. Também foi avaliado neste trabalho, o efeito da recuperação passiva, imersão em água fria e fotobiomodulação no desempenho, onde os animais foram submetidos novamente a 45 minutos de natação, 25 minutos de recuperação seguido de um teste de exaustão, onde após 24 horas foi mensurado os níveis de CK e PCR sanguínea. A conclusão dos autores foi que tanto a fotobiomodulação, como a imersão em água fria provocaram melhora no desempenho, no entanto, a fotobiomodulação foi mais eficiente na prevenção de lesões musculares e reações inflamatórias do que a imersão em água e a recuperação passiva.

Assim, ainda falta consenso sobre o melhor momento de aplicação da fotobiomodulação, com pesquisas que compare os momentos dentro de um mesmo protocolo com análise dos efeitos da fotobiomodulação na resposta ergogênica em testes de campo anaeróbio e aeróbio, dano muscular, funcionalidade e recuperação percebida.

5 ARTIGOS

A seguir estão apresentados os dois artigos relacionados a tese.

Artigo 1 – EFFECT OF PHOTOBIMODULATION APPLIED TO HIGH-INTENSITY EXERCISE BLOCKS IN RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

*Em revisão na revista *“Motriz: Revista de Educação Física”*. Qualis B1 - JCR 0,08.

Artigo 2 – PHOTOBIMODULATION DOES NOT CHANGE THE PERFORMANCE OF FUNCTIONAL TESTS, PERCEPTION OF STRESS AND RECOVERY OF RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL.

*Em revisão na revista *“Research Quarterly for Exercise and Sport”*. Qualis A3, JCR 2.5

5.1 ARTIGO 1 – EFFECT OF PHOTOBIMODULATION APPLIED TO HIGH-INTENSITY EXERCISE BLOCKS IN RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

***Em revisão na revista “Motriz: Revista de Educação Física”. Qualis B1 - JCR 0,08.**

Vanessa Batista da Costa Santos¹; Amanda Maximo Alvares¹; Priscila Chierotti², Leandro Vaz Toffoli³; Alessandra Miyuki Okino⁴; Dari de Oliveira Toginho Filho⁵; Christiane de Souza Guerino Macedo¹

¹Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Fisioterapia, Londrina, PR, Brasil;

²Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Departamento de Educação Física, Londrina, PR, Brasil;

³Universidade do Norte do Paraná, Centro de Biologia e Ciências da Saúde, Departamento de Biomedicina, Londrina, PR, Brasil

⁴Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Patologia, Análises Clínicas e Toxicológicas, Londrina, PR, Brasil

⁵Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Londrina, PR, Brasil

ORCID – number all of author

Vanessa Batista da Costa Santos: 0000-0003-0333-6581

Amanda Maximo Alvares: 0000-0002-8871-8011

Priscila Chierotti: 0000-0002-9137-6980

Leandro Vaz Toffoli: 0000-0001-8810-3685

Alessandra Miyuki Okino: 0000-0002-1052-572X

Dari de Oliveira Toginho Filho: 0000-0001-5872-1087

Christiane de Souza Guerino Macedo: 0000-0001-6016-5075

Short title: Application of photobiomodulation improves ergogenic response without changing muscle damage in rugby athletes

Trial registration number and date of registration: Clinical trials NCT03728439 in 10/29/2018.

Corresponding author

Name: Vanessa Batista da Costa Santos

E-mail: vann_costa@hotmail.com

Abstract

Aim: to establish the best moment to apply the photobiomodulation (PBM) to elicit ergogenic response and prevent muscle damage of rugby athletes. **Methods:** Randomized crossover clinical trial with 18 rugby athletes of both sexes (11 men and 7 women). The athletes underwent two blocks of exercises with the Bangsbo Sprint test (BST) and Yo-Yo intermittent recovery level 1 (Yoyo-IR1), as well as the random application of four interventions: without application of photobiomodulation (CO), pre-exercise photobiomodulation (PBpre), PBM in the interval of exercises (PBint) or PBM after exercises (PBpos). Photobiomodulation by light emitting diodes (850 nm, 8 J / cm²) was applied to the quadriceps, hamstrings and triceps surae muscles. The variables analyzed were creatine kinase (CK), muscle pain, rate of perceived exertion (RPE), lactate and performance in the BST and YoyoIR1. The level of significance was established with $p < 0.05$. **Results:** PBpre performance improved in the first Yoyo-IR1 test compared to the other groups ($p < 0.01$), while PBint improved the second Yoyo-IR1 test compared to the CO and PBpos group ($p < 0.05$). Only PBint managed to maintain the BST time in the second block of exercises. No differences were found between groups in CK, muscle pain, lactate and RPE. **Conclusion:** The PBM applied before the exercises improved the ergogenic response and, in the interval, it has maintained the performance. PBM did not cause changes in blood markers in rugby athletes.

Keywords: Phototherapy; Athletic Performance; Physical therapy modalities; Creatine Kinase.

1. Introduction

The good performance of athletes in rugby is related to the ability to perform high-intensity intermittent runs, agility to change directions, ability to generate sprints, aerobic resistance to maintain consistency during the game, in addition to muscle strength and power for contact plays (CHIWARIDZO *et al.*, 2017). Rugby competitions often have games on the same day or take place on consecutive days, which requires greater physical effort from athletes (JOHNSTON, R. D.; GABBETT; JENKINS, 2013; PEREIRA *et al.*, 2018). Consecutive games generate a progressive increase in neuromuscular fatigue, peak muscle damage and reduce the ability to produce high-intensity efforts (JOHNSTON, R. D.; GABBETT; JENKINS, 2013; PEREIRA *et al.*, 2018).

Recovery methods are widely used in many sports with the aim of reducing muscle damage, alleviating fatigue and accelerating recovery after exercise (BORSA; LARKIN; TRUE, 2013a; LEAL-JUNIOR *et al.*, 2015b). Among the main recovery methods is the use of photobiomodulation, which increases the synthesis of adenosine triphosphate (ATP), modulates reactive oxygen species (ROS), inhibits cellular apoptosis and induces transcription factors that modulate cytokine levels and inflammatory mediators (HAMBLIN, 2018; HUANG, Y. Y. *et al.*, 2009). In this sense, systematic reviews have shown that photobiomodulation before exercise has good results in the muscle performance improvement, in exercise capacity and creatine kinase (CK) reductions (BORSA; LARKIN; TRUE, 2013a; LEAL-JUNIOR *et al.*, 2015b). However, with great heterogeneity between the protocols and few clinical trials with applications at different moments (LEAL-JUNIOR *et al.*, 2015b; VANIN *et al.*, 2018).

Despite the beneficial effects of photobiomodulation related to physical exercise, there is still little evidence on the parameters and application of the method before, during the interval or after exercise. The study by Calleja-González *et al.* (CALLEJA-GONZÁLEZ *et*

al., 2019a) on the evidence of the recovery methods used in rugby, showed the scarcity of studies with the application of photobiomodulation in athletes of this sport, which points to the need for further research. Pinto et al. (PINTO *et al.*, 2016) conducted a survey of rugby athletes and found improved performance in the Bangsbo Sprint test (BST) with the application of photobiomodulation, however, this study evaluated only the application of the method before exercise, without simulating the effort blocks of match rugby.

The photobiomodulation in rugby may be recommended since this sport requires great physiological demand, as it involves high-intensity activities such as sprints, interspersed with low-intensity series, such as walks and slow runs, in addition to collision activities such as tackles, scrums, rucks and mauls (LA MONICA *et al.*, 2016; TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a). Eccentric exercises commonly performed in the game of rugby involve changes of direction, decelerations and landing of jumps, are one of the main factors of skeletal muscle damage, characterized by the destruction of contractile and structural proteins, which induce inflammatory responses, changes in the mechanisms of excitation-contraction coupling and responsible for functional losses, pain, and impaired physical performance (LA MONICA *et al.*, 2016; TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017a).

Thus, new studies should consider the use of photobiomodulation in rugby athletes, to establish the best time to apply this recovery method. The objective of the present study was to analyze the effects of photobiomodulation applied at three different times (before, at the interval or after exercise), on muscle damage and ergogenic response of rugby athletes. The initial hypothesis was that each timepoints would be linked to a specific clinical objective, application before exercise would be effective in improving performance, the intermediate one would reduce muscle damage in the first exercise block and maintain performance in the second, while the effects after exercise would be related to late onset muscle pain.

2. Methods

2.1. Participants

The research was approved by the ethics committee (Opinion n °: 2.855.323) and registered in the *clinicaltrials.gov* (NCT03728439). All athletes signed an informed consent form, and the work was carried out from January to May 2019. The sample size was established by the Power and Sample Size program (<https://ps-power-and-sample-size-calculation.software.informer.com/>), with a confidence interval of 95%, alpha error of 5% and statistical test power of 80%, when considering the average time of sprints (means: 6.55 and 6.67; and the standard deviation: 0.21) from the study by Pinto et al. (PINTO *et al.*, 2016). The sample calculation established eight participants to be submitted to intervention, however, considering the changes according to gender and possible sample losses, it was decided to invite all the local rugby team athletes. Figure 1 shows the flow diagram of study participants.

Thus, the sample consisted of eighteen rugby athletes of the adult category, eleven men and seven women, aged 24.23 (\pm 5.33) years, body mass of 89.38 (\pm 23.3) kilograms, height of 1.73 (\pm 0.11) meters and body mass index (BMI) of 29.21 (\pm 5.47). The game positions involved 61.1% forwards and 38.9% backs, with an average number of weekly training sessions of 3.94 (\pm 1.43) and 7 (\pm 5.59) years of practice in the sport. The athletes participated in state and national competitions, had no history of musculoskeletal injuries in the lower limbs in the last three months, and did not use supplements or medications (BORGES *et al.*, 2014b).

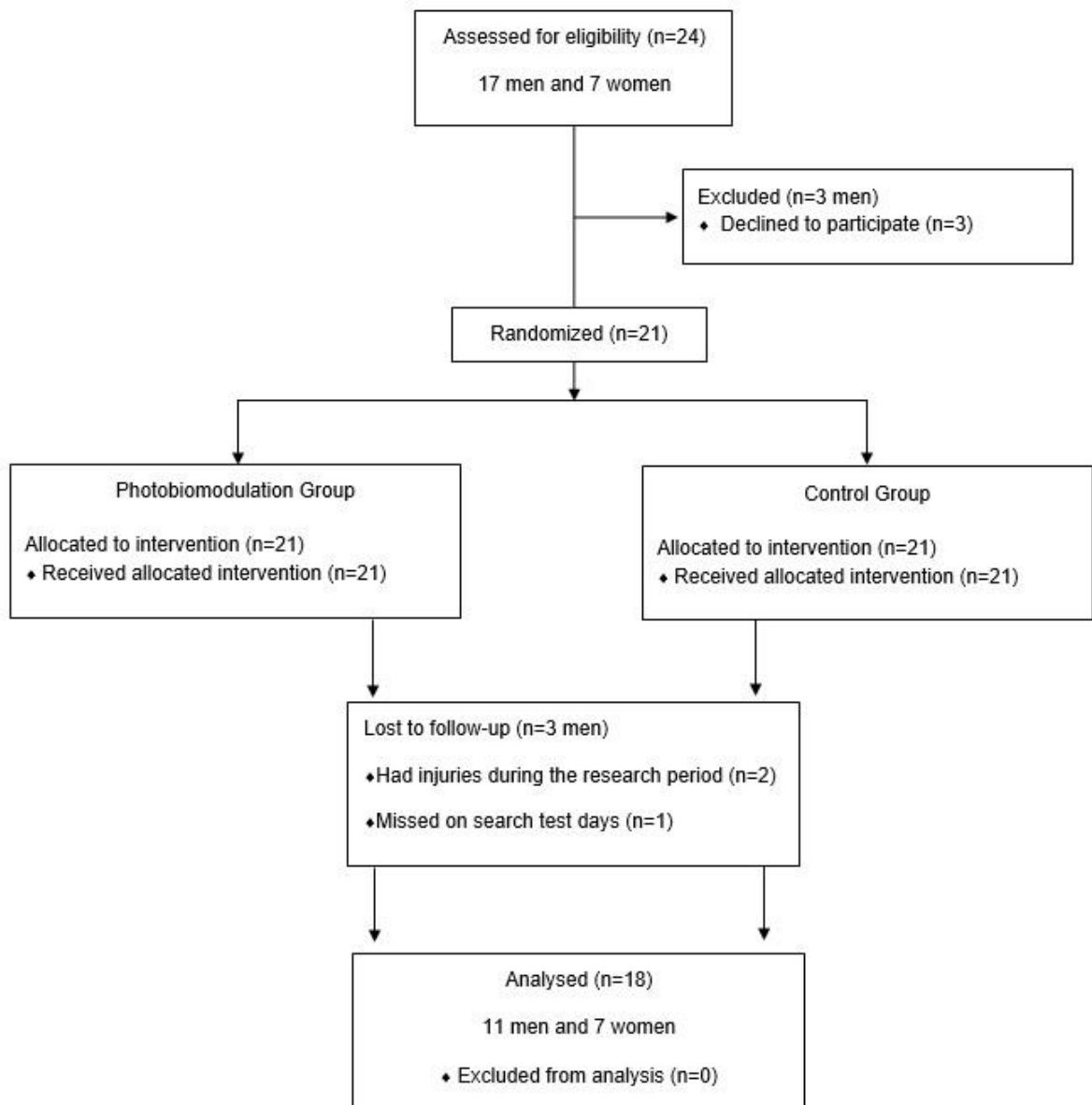


Fig. 1 Flow diagram of the sample loss during the study period.

The athletes were instructed not to consume alcohol or caffeine, or to perform intense physical exercises 48 hours preceding each test and not to train in the 48 hours afterwards, so as not to interfere in the evaluation. During the four weeks of tests, the athletes maintained, in the interval between the evaluation sessions, two technical-tactical trainings in the field and two strength training in bodybuilding, at different times and without interfering with the pre and post-test protocols. The evaluations were carried out in a multi-sport court, always at the

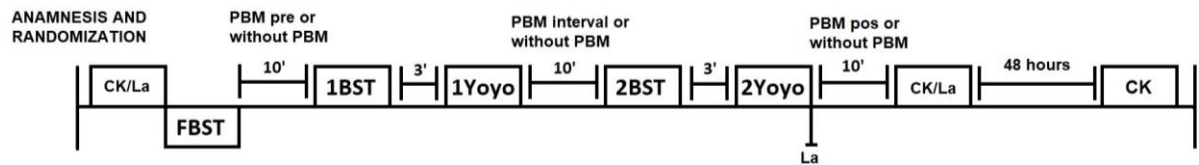
same time of day. Female athletes were asked about their menstrual cycle and the tests were not performed during the menstrual period to minimize the possible impacts of hormonal changes on the tests (OOSTHUYSE; BOSCH, 2010). Randomization was established through random.com, where 21 possibilities were randomized into blocks of four possible sequences for initial intervention. Each sequence block consisted of starting the study in the control situation or receiving photobiomodulation before, at the interval or after the exercise. The results were placed in sealed envelopes that were chosen by the participants in the first week of the study.

2.2. Study Design

This is a randomized cross-over clinical trial, with blinded evaluator, in which the participants received the intervention with photobiomodulation (PBM), randomly, at four different times, one per week, with an interval of seven days and for four weeks. On the first day of study, questions were asked about personal data, injury history and training time. Then, there was the randomization of PBM application (without intervention, with PBM before, at the interval or after exercise), a blood sample was collected and the warm-up with light running for five minutes. That same day, the athletes were familiarized with the Bangsbo Sprint test (BST) protocol and when they concluded it, they maintained the protocol according to randomization (PINTO *et al.*, 2016). There was no familiarization with the Yo-Yo intermittent recovery level 1 (Yoyo-IR1) protocol, as this is already part of the athletes' routine assessments. After 10 minutes of familiarization, the maximum BST was performed, followed by three minutes of rest at the end of it, until the beginning of the Yoyo-IR1 (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012). This was classified as the first block of exercises to generate fatigue. The second block started after 10 minutes of rest, and again the athletes performed the BST followed by YoyoIR1 after the three minutes of rest. At the end of the

second exercise block, blood was collected and repeated after 10 minutes. The time of 10 minutes was standardized before, at the interval and after the exercise blocks because it is the time necessary for the application of LED therapy, which lasted approximately eight minutes. After 48 hours, participants returned to the testing site to perform collect blood samples. Figure 2 shows the stages of the study.

FIRST WEEK



SECOND, THIRD AND FOURTH WEEK

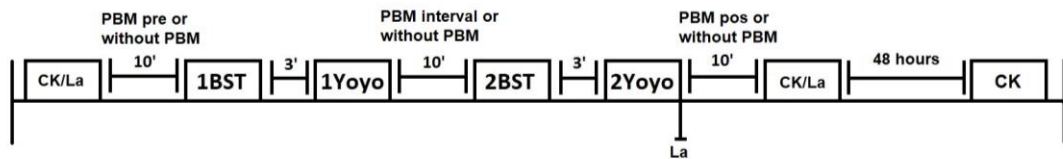


Fig. 2 Flowchart of data collection for the study.

Legend: CK = Creatine Kinase; La = Lactate; FBST= Familiarization with Bangsbo Sprint Test; PBM= Photobiomodulation; 1BST= First Bangsbo Sprint Test; 1Yoyo= First Yoyo Intermittent Recovery level 1; 2BST= Second Bangsbo Sprint Test; 2Yoyo= Second Yoyo Intermittent Recovery level 1

2.3. Data collection protocols

2.3.1. Rate of Perceived Exertion (RPE) and Pain

The rate of perceived exertion was assessed using the Borg category ratio scale (0 to 10) in the moments immediately after the first and second exercise blocks (ARNEY *et al.*, 2019). Pain was measured in the moments before, immediately after the second exercise block and 48 hours after the tests, by a numerical rating scale (from 0 to 10), where zero meant no pain, five moderate pain and ten maximum pain (HJERMSTAD *et al.*, 2011).

2.3.2. Blood Sample Collection

Blood serum samples were collected to analyze muscle damage by creatine kinase (CK) and to quantify the intensity of the exercise by lactate (La). The CK was collected before, 10 minutes after the end of the second exercise block (post10) and after 48 hours of the tests. Lactate was evaluated by means of collections before, immediately after the second exercise block and 10 minutes after the end of the exercise protocol (equivalent to the end of the application of PBM in the PBpos group). Collections were performed by experienced professionals from the Clinical Analysis Laboratory of the University Hospital, using biochemical test kits, following the criteria recommended by the manufacturer. Vacuum collection tubes were used, with a serum tube with separating gel for CK and a tube with sodium fluoride for La. Both analyzes were performed by automation in Dimension EXL (Siemens, Erlangen, Germany), CK by the enzymatic kinetics method and La by the enzymatic endpoint method.

2.3.3. Bangsbo Sprint Test (BST) Protocol

The Bangsbo Sprint Test consists of a protocol of repeated sprints with a change of direction and was applied according to previous studies by Bangsbo (BANGSBO, 2002). The familiarization protocol with the BST consisted of two submaximal sprints, progressing from 50 to approximately 100% of its maximum intensity (AZIZ *et al.*, 2008), during approximately one minute. Then, the participants remained 10 minutes in passive rest until the beginning of the test. In the sprints procedure the participants stood up right next to the starting marker cone (cone A) and start timing gate, at the signal, the athlete ran with maximum speed to cone B positioned 10 meters from the first, at that point the athlete bypassed cone C, ran to cone D and ended the sprint by going through the final timing gate located in cone E (Figure 3). The C cones were positioned five meters from the midline to the

right and left. The distance between cone A and E was 34.2 meters. Each athlete developed seven sprints with twenty-five seconds of active recovery between them (PINTO *et al.*, 2016).

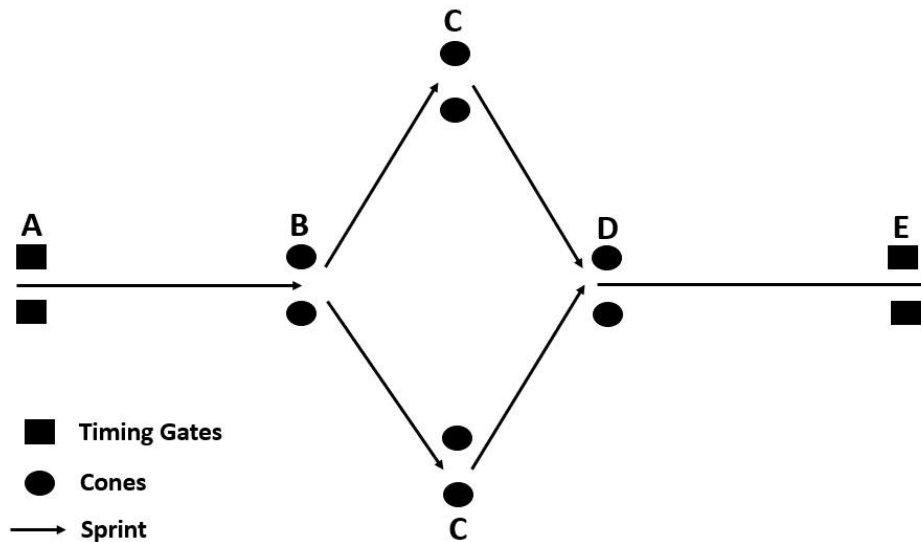


Fig. 3 Scheme of the Bangsbo Sprint Test.

The first change of direction in the test was performed according to the athlete's preference, and that direction (left or right) was alternated in the following sprints. The return to the starting position after the sprint was monitored by a manual stopwatch to guarantee the return to the starting point of the test within 20 seconds. Verbal commands were used to encourage and provide feedback on the remaining recovery time and the start of the next sprint. The sprints were recorded using a timing gate system (SMARTSPEED, Fusion Sport, AUS). The average time of the sprints, total time of all sprints and the fatigue indices were analyzed, which is the relationship between the average of the sprints and the worst time (PINTO *et al.*, 2016).

2.3.4. Yo-Yo protocol intermittent recovery level 1 (Yoyo-IR1)

The Yoyo-IR1 test consisted of a run out and back on a 20-meter course with a total

distance of 40 meters, the initial speed was 10 km/h, with a progressive increase in speed by sound stimulus (KRUSTRUP *et al.*, 2003). At the end of the 40-meter run, the athlete stopped running, walked 10 meters (5 meters recovery area), and returned to the initial mark to continue the test. The recovery period was equivalent to 10 seconds. Experienced evaluators followed the test execution, motivating the athletes to make the greatest effort possible. The test was ended when the athlete was unable to complete, for two consecutive times, the distance of 20 meters in the period established by the sound stimulus or went into exhaustion (KRUSTRUP *et al.*, 2003). The total distance covered until the last stage completed was used as performance indicator and to estimate the maximum oxygen consumption (VO_{2max}) as described by Bangsbo *et al.* (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012), using the following formula: $VO_{2max} (mL/min/kg) = distance\ YoyoIR1 (m) \times 0.0084 + 36.4$.

2.3.5. Photobiomodulation protocol

The athletes were submitted to intervention for four weeks in: exercise blocks without photobiomodulation (CO), photobiomodulation before the first exercise block (PBpre), photobiomodulation in the interval between the two exercise blocks (PBint) or photobiomodulation after the second exercise block (PBpos). Figure 1 shows the study protocol in detail. For the application of photobiomodulation, regardless of the timepoints (pre, interval or after the exercise protocol), the equipment was positioned in contact with the skin, as proposed by Malta *et al.* (MALTA *et al.*, 2019), on the quadriceps (two application areas: 25 and 75% of the distance between the anterior superior iliac spine and the patella), hamstrings (two application areas: 25 and 75% of the distance from the ischial tuberosity and the medial condyle of the femur) and gastrocnemius (one central application area) muscles of both limbs. At each point, irradiation was applied for 45 seconds, with the specifications shown in table 1.

Table 1 - Specifications for the application of photobiomodulation by light emitting diodes (LED).

Number of LEDs: 15 units
Wavelength: 850 ± 20 nm
Frequency: Continuous
Peak optical output power per LED: 300 mW
Average optical output power per LED: 200 mW
LED power density: 300 mW/cm^2
LED average power density: 200 mW/cm^2
Spot area: 1.0 cm^2
Treatment time per application: 30 s to 90 s
LED energy per application: 8.0 J
LED energy density per application: 8.0 J/cm^2
Total energy delivered per application: 120 J [8J x 15LEDs]
Total energy delivered to each quadriceps: 240 J
Total energy delivered in each hamstring: 240 J
Total energy delivered in each gastrocnemius: 120 J
Total energy delivered on lower limb: 600 J
Total energy delivered on body: 1200 J
Method of application: device kept attached in contact with the skin

The photobiomodulation intervention lasted approximately eight minutes, with the athlete lying down and the remaining two minutes at rest in the prone position. In situations without the application of photobiomodulation, the participants remained in passive rest for ten minutes, lying in prone position. The equipment used in the application was developed at the Optics and Optoelectronics Laboratory of the Physics Department of the State University of Londrina (figure 3) and the optical output power of the light source was calibrated before the study. The application device was built with microprocessor control for dynamic adjustment of the application time considering the dependence of the emission efficiency as a function of the temperature at the junction of the LEDs.

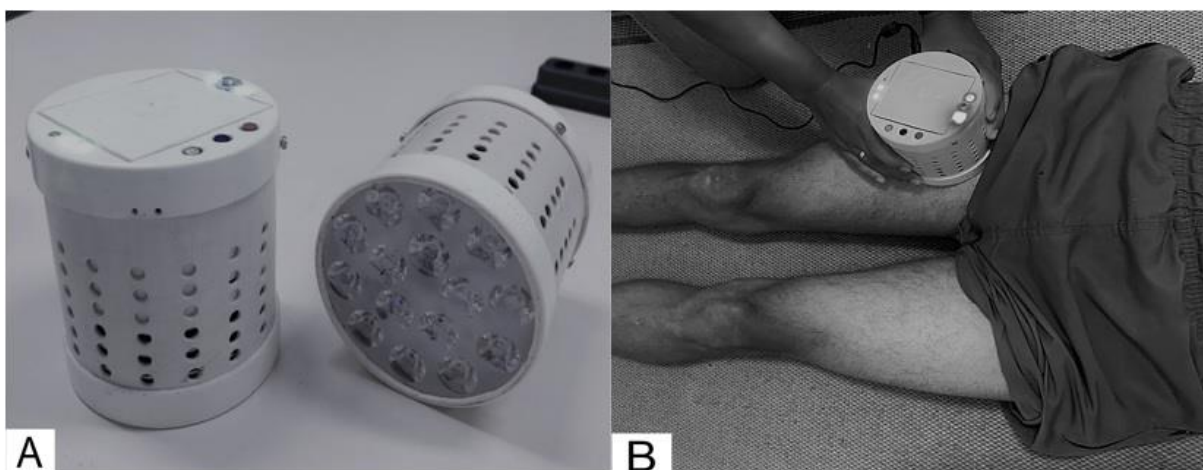


Fig. 4A. Photobiomodulation equipment used in the study. **4B.** Shows the application of photobiomodulation on the quadriceps of one of the athletes.

The parameters used in this research were based on previous studies and the power was designed so that each LED would provide the necessary energy within the ten minutes, which is the interval between the first and second half of the rugby match (FERRARESI *et al.*, 2015a; LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a; MACHADO *et al.*, 2017; VANIN *et al.*, 2018).

2.4. Statistical analysis

The data were analyzed using descriptive methods, expressed as mean and standard deviation (parametric data) or median and interquartile range (non-parametric data). Normality was tested by the Shapiro-Wilk test. For the comparison among the groups, the ANOVA test of repeated measures with post hoc of Tukey and the Friedman test with post hoc of Dunn was used for multiple comparisons. Differences among groups were considered significant when $p < 0.05$.

All variables were compared among groups CO, Lpre, Lint and Lpos, and intragroups between the moments of data collection. The results of the rate of perceived exertion analysis were compared intragroup at the end of the first and second blocks of exercise. Pain was

assessed before, after the end of the functional tests and 48 hours after the completion of the exercise blocks. The intra-group comparison of lactate considered the pre moments, immediately after the second Yoyo-IR1 and after 10 minutes of it, while the CK was analyzed before exercise, 10 minutes after the end of the second YoyoIR1 and after 48 hours. For the results of the BST and YoyoIR1, the difference between the results of the tests of the first and second blocks of exercises for the same group was established.

To check the effect size (Cohen's d) of the results between blocks one and two of BST and Yoyo-IR1, the following formula was used: $d = (x1 - x2) / \text{means of standard deviations (SD)}$, where $x1$ is the mean of the variable analyzed in the initial assessment and $x2$ is the mean of the variable analyzed in the final assessment. The SD mean was calculated using the arithmetic mean of the standard deviations related to the initial and final evaluation: $(DP1 + DP2) / 2$. Effect sizes were considered trivial (<0.2), small (> 0.2), moderate (> 0.6), large (> 1.2), very large (> 2.0) (FRASSON *et al.*, 2020). For data analysis used in SPSS 22.0 software.

3. Results

The rate of perceived exertion (RPE) did not differ between groups at any time. The intragroup comparison showed an increase in RPE after the first exercise block and at the end of the second block (table 2). The comparison of lactate values between blocks one and two of the exercises, and between the groups showed no differences, however, all groups showed an increase in the blood lactate concentration at the POST time (at the end of the two exercise blocks), with a reduction of these values at POST10 (table 2).

Table 2 - Values of the effort perception scale using the Borg scale and of blood lactate in the different intervention groups.

Collection time	Effort Perception		Lactate			Comparison between times
	Block 1	Block 2	Baseline	Post	Post 10	p
Control	9 (7 – 9)	9 (7.75 – 9.25)	1.1 (0.8 – 1.8)	11.5 (8.42 – 15.73)*	7.05 (6.27 – 11.15)*‡	p>0.05
PBM before	9 (8 – 9.25)	9 (8 – 9)	1.1 (0.87 – 1.45)	10.65 (8.65 – 15.1)*	6.85 (5.07 – 11.03)*‡	p>0.05
PBM interval	9 (7 – 10)	9 (8 – 10)	1.15 (0.8 – 1.52)	12.4 (9.55 – 15.8)*	8.35 (5.62 – 11.95)*‡	p>0.05
PBM after	8.5 (8 – 9)	8.5 (8 – 9)	1.3 (0.77 – 1.72)	12.4 (8.92 – 15.1)*	8.55 (5.4 – 10.25)*‡	p>0.05
Intragroup comparison	p>0.05		*p<0.05 ‡p<0.05			

PBM = Photobiomodulation. Results expressed as median (interquartile range). *Statistically significant difference compared to baseline. ‡Statistically significant difference compared to the post.

Table 3 - Comparison of creatine kinase and muscle pain values in the different intervention groups.

Blood sample	Creatine Kinase			Muscle pain			Comparison between times
	Baseline	Post 10	48 hours	Baseline	Post	48 hours	p
Control	167.5 (135.5 – 236.3)	217.5 (174.3 – 312)*	187 (129.3 – 298.5)	0 (0 – 2.25)	0 (0 – 0)	1.5 (0 – 4.25) #	p>0.05
PBM before	207.5 (97.5 – 344.5)	275 (151.5 – 393.3)*	213 (142 – 302.3)†	0 (0 – 2)	0 (0 – 0)	2.5 (0.37 – 3.25) #	p>0.05
PBM interval	200 (122 – 288.5)	266.5 (151.8 – 367.3)*	264.5 (205 – 393.8)*	0 (0 – 2.25)	0 (0 – 1)	3 (0.87 – 3) #	p>0.05
PBM after	228 (139.3 – 337.3)	284.5 (174.3 – 382.5)*	229.5 (131 – 387.5)	2 (0 – 3.25)	0 (0 – 0)	2 (0 – 3)	p>0.05
Intragroup comparison	*p<0.05 †p<0.05			#p≤0.01			

PBM = Photobiomodulation. Results expressed as median (interquartile range). *Statistically significant difference compared to baseline. †Statistically significant difference compared to the post 10. # Statistically significant difference compared to the moment after.

No difference was found between the groups in muscle pain. However, muscle soreness was reduced in all groups immediately at the end of the tests, with a significant increase after 48 hours in the CO, Lpre and Lint groups. The data are detailed in table 3. CK increased significantly after 10 minutes of the second Yoyo-IR1 in all groups, but only the PBpre group reduced the values significantly after 48 hours ($p=0.017$), while the PBint group maintained the elevated values ($p=0.037$) even 48 hours after the tests (Table 3).

The analysis of performance in the Bangsbo Sprint Test did not show differences between blocks of exercises one and two when compared between groups. However, in the intragroup analysis of the average and total time of the Bangsbo Sprint Test between the first and second exercise blocks, the group that received the LED in the exercise interval was able to maintain the sprint time, without performance worsening ($p>0.05$).

The performance on Yoyo-IR1 was better in the first exercise block in the Lpre group compared to the control group ($p=0.006$), Lint ($p=0.007$) and Lpos ($p=0.006$). Also, the second block of Yoyo-IR1 in the Lint group showed better results when compared to the control ($p=0.022$) and Lpos groups ($p=0.040$). In the intragroup comparison, the Lint group maintained a similar performance of the first and second blocks, which was not observed in the other groups that reduced the performance ($p < 0.05$). Table 4 shows the values of the performance tests in the different study groups.

Table 4 - Performance on the Bangsbo Sprint Test (BST) and Yoyo-IR1 in the different intervention groups.

Groups	Control		PBM before		PBM interval		PBM after		Comparison between groups
	1	2	1	2	1	2	1	2	
Average BST (seconds)	7.96 (0.68)	8.17 (0.64)‡	7.82 (0.56)	7.99 (0.61)‡	7.97 (0.62)	8.12 (0.69)	7.96 (0.61)	8.13 (0.68)‡	p>0.05
<i>P value within groups</i>	0.0007		0.0005		0.0535		0.0036		–
<i>d Cohen</i>	-0.31		-0.28		-0.23		-0.26		–
Total BST time (seconds)	55.33 (5.08)	57.26 (4.51)‡	54.79 (3.96)	55.96 (4.31)‡	55.84 (4.40)	56.90 (4.86)	55.78 (4.32)	56.97 (4.80)‡	p>0.05
<i>P value within groups</i>	0.0056		0.0005		0.0535		0.0036		–
<i>d Cohen</i>	-0.40		-0.28		-0.23		-0.26		–
BST fatigue index	3.68 (2.35 – 4.85)	3.20 (2.56 – 4.69)	2.97 (2.10 – 4.19)	3.61 (2.35 – 4.99)	3.35 (2.67 – 5.00)	3.65 (1.51 – 5.89)	4.15 (2.42 – 4.95)	4.26 (3.32 – 7.26)	p>0.05
<i>P value within groups</i>	0.4423		0.2328		0.3692		0.0826		–
<i>d Cohen</i>	-0.11		-0.33		-0.07		-0.47		–
Yoyo-IR1 distance (meters)	380 (240 – 680)*	260 (180 – 500)†‡	460 (280 – 780)	280 (240 – 470)‡	320 (270 – 620)*	360 (240 – 610)	360 (260 – 660)*	280 (160 – 500)†‡	*p<0.01 †p<0.05
<i>P value within groups</i>	0.0144		< 0.0001		0.9762		0.0005		–
<i>d Cohen</i>	0.26		0.62		0.58		0.45		–
Yoyo-IR1 VO_{2max}	39.59 (38.42 – 42.11)*	38.58 (37.91 – 40.60)† ‡	40.26 (38.75 – 42.95)	38.75 (38.42 – 40.35)‡	39.09 (38.67 – 41.61)*	39.42 (38.42 – 41.52)	39.42 (38.58 – 41.94)*	38.75 (37.74 – 40.60)† ‡	*p<0.01 †p<0.05
<i>P value within groups</i>	0.0085		< 0.0001		0.9387		0.0005		–
<i>d Cohen</i>	0.26		0.62		0.58		0.45		–

PBM = Photobiomodulation. Results in mean (standard deviation) or median (25% to 75% interquartile range). *Significant difference between the groups compared to the Lpre group. †Statistically significant difference between groups compared to the Lint. ‡Statistically significant difference between the first and the second blocks of tests. Anova one way. Cohen's d represents the effect size on each variable assessed within the group.

4. Discussion

This is the first study that compared the effect of photobiomodulation applied before, during the interval and after in an exercise protocol with anaerobic and aerobic characteristics in rugby athletes. Our results established improvement and maintenance of performance after the application of photobiomodulation. Previous research shows that there are no significant differences between forwards and backs in the agility T test, 40-meter sprint, creatine kinase, countermovement jump flight time, game time, number of contacts, perception of fatigue and muscle pain (LA MONICA *et al.*, 2016; TWIST *et al.*, 2012). Thus, the greater number of forwards evaluated in our study does not alter our findings.

Our results showed that the fatigue protocol used was of high intensity, demonstrated by the high internal load reported in the RPE by the athletes and the increase in lactate values (Table 2 and 3). In addition, the application of photobiomodulation did not change the internal load in the evaluated athletes, considering that there were no differences between the groups. Photobiomodulation applied after the end of the exercise blocks maintained a lower perception of muscle soreness after 48 hours, compared to the moment immediately after the exercise blocks. However, muscle soreness values in all studied groups were low, which does not show clinical relevance for this variable.

The effect of photobiomodulation applied pre-exercise can be used to reduce biochemical markers such as CK, C-reactive protein and lactate in athletes (DE MARCHI *et al.*, 2017, 2019), however, these results are controversial since the studies by Leal Junior *et al.* (LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.*, 2009a) and Zagatto *et al.* (ZAGATTO *et al.*, 2016) did not establish changes to these markers. Our results showed that blood lactate levels had the same pattern at all times of application of photobiomodulation. This shows that the improvement in performance in the PBpre and PBint group did not interfere in the intensity and production of this blood marker, as well as the post-exercise application that did not help in the removal of

lactate, which confirms previous research which reports that photobiomodulation improves performance by increased oxygen extraction by peripheral muscles, without causing a major impact on muscle fatigue (AGNES *et al.*, 2014; LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.*, 2009a). On the other hand, the CK blood analysis showed that even with the increase in exercise capacity in the PBpre group, there was no greater muscle damage, and the behavior of CK was as expected for the applications of photobiomodulation pre and post effort, with return to baseline levels after 48 hours. However, the application of photobiomodulation in the interval of the exercise blocks kept CK levels elevated after 48 hours (table 3), which may be associated with greater muscle effort to maintain the performance in the second test block.

The relationship between photobiomodulation and sprint exercises is presented in some studies with different methodologies (MACHADO *et al.*, 2017; PINTO *et al.*, 2016), and in the present study it was analyzed using the Bangsbo Sprint Test (BST). Our results did not show differences for the average time of sprints, total time of all sprints and fatigue rates when comparing the moments of application of photobiomodulation, which represents that this recovery modality did not interfere in the speed and ability to perform sprints, different from the results of Pinto *et al.* (PINTO *et al.*, 2016) who found an improvement in the average sprint time and fatigue index when applied to photobiomodulation before sprints. It is worth mentioning that the photobiomodulation in the exercise interval managed to maintain the sprint time and can be a great option to maintain performance until the end of games or in sequential competitions. These results have great practical applicability and can be tested in future studies.

Performance in sports such as rugby depends on both the anaerobic and aerobic capacity of the athlete (IAIA; BANGSBO, 2010). VO_{2max} correlates with the mitochondrial oxidative capacity of skeletal muscles, so methods that intervene in the energy production of mitochondria in these muscles can proportionally influence the supply of oxygen to the entire

body (GUZMAN *et al.*, 2020). The research by Da Rosa Orssatto *et al.* (DA ROSA ORSSATTO *et al.*, 2019) and Tomazoni *et al.* (TOMAZONI *et al.*, 2019), suggests that the effects of phototherapy are related to the modulation of enzyme activity in the electron transport chain, increasing the potential of the mitochondrial membrane, the production of adenosine triphosphate and controlling the production of reactive oxygen species, consequently reducing acidosis and its negative effects on the metabolism during exercise.

In the present study, aerobic capacity was analyzed using the Yoyo-IR1 test, and PBpre established an increase in performance in the first block of Yoyo-IR1, as did PBint for the second block of Yoyo-IR1 (table 4). These results contradict the findings of Dos Santos *et al.* (SANTOS *et al.*, 2020) who applied photobiomodulation before physical tests and found no differences in the Yoyo-IR1 test in futsal players. However, they confirm that the application of photobiomodulation before exercise is effective to improve performance with aerobic predominance (distance and VO_{2max}), as previously presented by Ferraresi *et al.* (FERRARESI *et al.*, 2015c) who demonstrate improvement in performance, increase in membrane potential and ATP synthesis after five minutes of irradiation. These findings are like those of other studies that showed improvement in aerobic performance, assessed by maximum oxygen consumption and time to exhaustion (MEZZAROBA *et al.*, 2018; MIRANDA, E. F. *et al.*, 2018; TOMAZONI *et al.*, 2019). Our results established a moderate effect size for the improvement of performance in Yoyo-IR1 after the application of photobiomodulation, which proves and values the application of this resource for the improvement of aerobic performance.

The main finding of the present study is about the positive effect of photobiomodulation between the exercise blocks to maintain aerobic performance (in Yoyo-IR1), which in sport could be equivalent to the time between the first and second half of a match. Miranda *et al.* (MIRANDA, E. F. *et al.*, 2018), evaluated the effect of

photobiomodulation applied before, after and with the two associated moments and observed an improvement in VO_{2max} , pulmonary ventilation and time to exhaustion only in the group that received photobiomodulation before and after exercise. Evidence suggests that the photobiomodulation applied before exercise improves aerobic capacity, workload, muscle torque and power, reduces fatigue and muscle damage during exercise, while application after effort is related to the reduction of muscle harm which is caused by activity, the decrease of delayed onset muscle soreness and the acceleration of muscle recovery (BORSA; LARKIN; TRUE, 2013a; LEAL-JUNIOR *et al.*, 2015b). In addition, the photobiomodulation applied in the interval has a positive effect on the maintenance of aerobic performance until the final stage of the game, when there is the greatest drop in performance, and which is also associated with injuries due to muscle failure. Still, the result of the present study on the application of photobiomodulation in the exercise interval confirms the experimental research by Da Costa Santos *et al.* (DA COSTA SANTOS *et al.*, 2014), who demonstrated that the application of photobiomodulation in the interval between two exercise blocks improved the exercise capacity in the second block compared to passive recovery and cryotherapy in rats.

The present study has as a limitation the use of the photobiomodulation only in the infrared wavelength, however there is evidence of greater effects when it is associated with photobiomodulation clusters in the red spectrum, in addition to studies which associate photobiomodulation and laser in the same application (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a). Another limitation is that we did not add placebo photobiomodulation, which did not allow the blinding of the athletes. Research that evaluates different application parameters of photobiomodulation and associates the moments of application are important for better therapeutic prescription.

5. Conclusions

The photobiomodulation applied before and in the interval of the exercise blocks was effective to improve the performance in the subsequent Yoyo-IR1 test. However, only the application in the interval maintained the performance in the sprints of the second exercise block. There were no differences between groups in the values of rate of perceived exertion, CK and lactate. The results found in this research show that according to the clinical objective, each moment of application can generate a certain benefit.

Acknowledgments

This study was supported, in part, by a grant from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasília, DF, Brazil (to Vanessa Batista da Costa Santos).

References list

1. Borsa PA, Larkin KA, True JM. Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. *J Athl Train.* 2013;48(1):57-67. doi:10.4085/1062-6050-48.1.12
2. Leal-Junior ECP, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho P de TC, Dal Corso S, Bjordal JM. Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(2):925-939. doi:10.1007/s10103-013-1465-4
3. Vanin AA, Verhagen E, Barboza SD, Costa LOP, Leal-Junior ECP. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2018;33(1):181-214. doi:10.1007/s10103-017-2368-6
4. Calleja-González J, Mielgo-Ayuso J, Ostojic SM, et al. Evidence-based post-exercise

- recovery strategies in rugby: a narrative review. *Phys Sportsmed.* 2019;47(2):137-147. doi:10.1080/00913847.2018.1541701
5. Pinto HD, Vanin AA, Miranda EF, et al. Photobiomodulation Therapy Improves Performance and Accelerates Recovery of High-Level Rugby Players in Field Test: A Randomized, Crossover, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Study. *J Strength Cond Res.* 2016;30(12):3329-3338. doi:10.1519/JSC.0000000000001439
 6. La Monica MB, Fukuda DH, Miramonti AA, et al. Physical Differences between Forwards and Backs in American Collegiate Rugby Players. Vol 30.; 2016. doi:10.1519/JSC.0000000000001388
 7. Tavares F, Smith TB, Driller M. Fatigue and Recovery in Rugby: A Review. *Sport Med.* 2017;47(8):1515-1530. doi:10.1007/s40279-017-0679-1
 8. Borges LS, Cerqueira MS, Dos Santos Rocha JA, et al. Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. *Lasers Med Sci.* 2014;29(3):1139-1144. doi:10.1007/s10103-013-1486-z
 9. Oosthuysen T, Bosch AN. The Effect of the Menstrual Cycle on Exercise Metabolism. *Sport Med.* 2010;40(3):207-227. doi:10.2165/11317090-000000000-00000
 10. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. *Sport Med.* 2012;38(1):37-51. doi:10.2165/00007256-200838010-00004
 11. Arney BE, Glover R, Fusco A, et al. Comparison Of RPE Rating Scales For Session RPE. *Med Sci Sport Exerc.* 2019;51(6S):920-921. doi:10.1249/01.mss.0000563258.44197.66
 12. Hjerstad MJ, Fayers PM, Haugen DF, et al. Studies comparing numerical rating scales, verbal rating scales, and visual analogue scales for assessment of pain intensity in adults: A systematic literature review. *J Pain Symptom Manage.* 2011;41(6):1073-1093. doi:10.1016/j.jpainsymman.2010.08.016

13. Aziz AR, Mukherjee S, Chia MYH, et al. Validity of the Running Repeated Sprint Ability Test Among Playing Positions and Level of Competitiveness in Trained Soccer Players. *Train Test*. Published online 2008:833-838. doi:10.1055/s-2008-1038410
14. Krstrup P, Mohr M, Amstrup T, et al. The Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(4):697-705. doi:10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32
15. Malta EDS, De Lira FS, Machado FA, Zago AS, Do Amaral SL, Zagatto AM. Photobiomodulation by led does not alter muscle recovery indicators and presents similar outcomes to cold-water immersion and active recovery. *Front Physiol*. 2019;10(JAN):1-11. doi:10.3389/fphys.2018.01948
16. Ferraresi C, Parizotto NA, de Sousa MVP, et al. Light-emitting diode therapy in exercise-trained mice increases muscle performance, cytochrome c oxidase activity, ATP and cell proliferation. *J Biophotonics*. 2015;8(9):740-754. doi:10.1002/jbio.201400087
17. Leal-Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, Bjordal JM. Clinical and scientific recommendations for the use of photobiomodulation therapy in exercise performance enhancement and post-exercise recovery: current evidence and future directions. *Brazilian J Phys Ther*. 2019;23(1):71-75. doi:10.1016/j.bjpt.2018.12.002
18. Machado FA, Peserico CS, Mezzaroba P V., Manoel FA, da Silva DF. Light-emitting diodes (LED) therapy applied between two running time trials has a moderate effect on attenuating delayed onset muscle soreness but does not change recovery markers and running performance. *Sci Sport*. 2017;32(5):286-294. doi:10.1016/j.scispo.2016.06.010
19. Frasson VB, Vaz MA, Morales AB, et al. Hip muscle weakness and reduced joint range of motion in patients with femoroacetabular impingement syndrome: a case-control study. *Brazilian J Phys Ther*. 2020;24(1):39-45. doi:10.1016/j.bjpt.2018.11.010

20. Twist C, Waldron M, Highton J, Burt D, Daniels M. Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league forwards and backs. *J Sports Sci.* 2012;30(4):359-367. doi:10.1080/02640414.2011.640707
21. De Marchi T, Schmitt VM, Danúbia da Silva Fabro C, et al. Phototherapy for Improvement of Performance and Exercise Recovery: Comparison of 3 Commercially Available Devices. *J Athl Train.* 2017;52(5):429-438. doi:10.4085/1062-6050-52.2.09
22. De Marchi T, Leal-Junior ECP, Lando KC, et al. Photobiomodulation therapy before futsal matches improves the staying time of athletes in the court and accelerates post-exercise recovery. *Lasers Med Sci.* 2019;34(1):139-148. doi:10.1007/s10103-018-2643-1
23. Leal Junior ECP, Lopes-Martins ÁB, Baroni BM, et al. Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLT) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. *Photomed Laser Surg.* 2009;27(4):617-623. doi:10.1089/pho.2008.2350
24. Zagatto AM, de Paula Ramos S, Nakamura FY, de Lira FS, Lopes-Martins RÁB, de Paiva Carvalho RL. Effects of low-level laser therapy on performance, inflammatory markers, and muscle damage in young water polo athletes: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Lasers Med Sci.* 2016;31(3):511-521. doi:10.1007/s10103-016-1875-1
25. Agnes M, Pinfildi CE, Neto LN, Lourenço RP, Henrique P, Marques S. Acute effects of low-level laser therapy on physiologic and electromyographic responses to the cardiopulmonary exercise testing in healthy untrained adults. Published online 2014. doi:10.1007/s10103-014-1595-3
26. Iaia FM, Bangsbo J. Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scand J Med Sci Sport.*

- 2010;20(SUPPL. 2):11-23. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01193.x
27. Guzman S, Ramirez J, Keslacy S, de Leon R, Yamazaki K, Dy C. Association between muscle aerobic capacity and whole-body peak oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol.* 2020;120(9):2029-2036. doi:10.1007/s00421-020-04402-9
 28. Da Rosa Orssatto LB, Detanico D, Kons RL, Sakugawa RL, Da Silva JN, Diefenthaler F. Photobiomodulation therapy does not attenuate fatigue and muscle damage in judo athletes: A randomized, triple-blind, placebo-controlled trial. *Front Physiol.* 2019;10(JUN):1-11. doi:10.3389/fphys.2019.00811
 29. Tomazoni SS, Machado CDSM, De Marchi T, et al. Infrared Low-Level Laser Therapy (Photobiomodulation Therapy) before Intense Progressive Running Test of High-Level Soccer Players: Effects on Functional, Muscle Damage, Inflammatory, and Oxidative Stress Markers - A Randomized Controlled Trial. *Oxid Med Cell Longev.* 2019. doi:10.1155/2019/6239058
 30. Santos IA Dos, Lemos M de P, Coelho VHM, et al. Acute photobiomodulation does not influence specific high-intensity and intermittent performance in female futsal players. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(19):1-12. doi:10.3390/ijerph17197253
 31. Ferraresi C, de Sousa MVP, Huang YY, Bagnato VS, Parizotto NA, Hamblin MR. Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. *Lasers Med Sci.* 2015;30(4):1259-1267. doi:10.1007/s10103-015-1723-8
 32. Mezzaroba P V., Pessôa Filho DM, Zagatto AM, Machado FA. LED session prior incremental step test enhance VO₂max in running. *Lasers Med Sci.* 2018;33(6):1263-1270. doi:10.1007/s10103-018-2475-z
 33. Miranda EF, Tomazoni SS, de Paiva PRV, et al. When is the best moment to apply photobiomodulation therapy (PBMT) when associated to a treadmill endurance-

- training program? A randomized, triple-blinded, placebo-controlled clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2018;33(4):719-727. doi:10.1007/s10103-017-2396-2
34. Da Costa Santos VB, De Paula Ramos S, Milanez VF, et al. LED therapy or cryotherapy between exercise intervals in Wistar rats: Anti-inflammatory and ergogenic effects. *Lasers Med Sci.* 2014;29(2):599-605. doi:10.1007/s10103-013-1371-9

5.2 ARTIGO 2 – PHOTOBIMODULATION DOES NOT CHANGE THE PERFORMANCE OF FUNCTIONAL TESTS AND THE PERCEPTION OF RECOVERY OF RUGBY ATHLETES: RANDOMIZED CLINICAL TRIAL

Em revisão na revista “*Research Quarterly for Exercise and Sport*”. *Qualis A3, JCR 2.5

Vanessa Batista da Costa Santos ^a; Amanda Maximo Alvares ^a; John Christopher Chen Hsiao ^a, Priscila Chierotti ^b, Dari de Oliveira Toginho Filho ^c; Christiane de Souza Guerino Macedo ^a

^a Department of Physiotherapy, Health Sciences Center, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina-PR, Brazil;

^b Department of Physical Education, Physical Education and Sports Center, UEL, Londrina-PR, Brazil;

^c Department of Physics, Exact Science Center, UEL, Londrina-PR, Brazil

Corresponding author:

Vanessa Batista da Costa Santos (e-mail: vann_costa@hotmail.com)

Author contributions: All authors contributed to the study conception and design. Material preparation and data collection by AMA, JCCH and PC. Analysis was performed by CSGM and VBCS. Design and construction of the light-emitting diodes apparatus by DOTF. The first draft of the manuscript was written by CSGM and VBCS. All authors commented on previous versions of the manuscript and approved the final manuscript.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding information: This study was supported, in part, by a grant from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasília, DF, Brazil (to Vanessa Batista da Costa Santos).

Trial registration number: Clinical trials NCT03728439.

<https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03728439>

Abstract

Background: Photobiomodulation is indicated to accelerate the recovery of athletes and reduce muscle damage caused by physical exercise, however little is known about its effects on functional performance, perception of recovery. The aim of the study was to evaluate the effects of photobiomodulation by light emitting diodes on the performance of functional tests and perception of recovery in rugby athletes.

Methods: This is a randomized crossover clinical trial developed in two weeks, with a blinded evaluator, and with application of the photobiomodulation (GPBM) or control (GCO) in a random way. Male rugby athletes (n=11), with a mean age of 25.36 (\pm 5.81) years, were evaluated using the Modified Star Excursion Balance Test, Single Hop Test and Triple Hop Test. They underwent photobiomodulation (GPBM; 850 nm, 8 J/ cm²) or control (GCO) for 10 minutes, and then underwent two repetitions of the fatigue protocol consisting of the Bangsbo Sprint and intermittent Yo-Yo recovery level 1. Blood lactate levels were analyzed before, immediately after and after 10 minutes of the fatigue protocol. The functional tests were repeated 10 minutes after the fatigue protocol and after 48 hours, in the latter, the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76) was also applied.

Results: Blood lactate levels significantly increased after the fatigue protocol. The results of the functional tests and the RESTQ-Sport-76 questionnaire did not show differences with the application of photobiomodulation.

Conclusions: Photobiomodulation did not improve the functional performance or the perception of recovery of the rugby athletes evaluated.

Keywords: Phototherapy; Physical Functional Performance; Psychophysiology; Recovery of Function.

1. Introduction

Rugby is a sport with characteristics of speed, agility to change direction, anaerobic resistance, muscular power of the lower limbs, resistance for prolonged high intensity running, performance in repeated sprints, in addition to eccentric activities in changes of direction, decelerations, jumping landings, which are responsible for a greater potential for muscle damage (CHIWARIDZO *et al.*, 2017; TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017b). This muscle damage can be aggravated by the accumulation of metabolites from anaerobic metabolism, due to the reduction of intracellular pH, increased osmolarity and decreased adenosine triphosphate (ATP) resynthesis, which leads to cell membrane rupture, intracellular calcium release and activation of signaling pathways (WHYTE *et al.*, 2015). Muscle acidosis can lead to pain and fatigue, related to reduced muscle strength and power production with worse performance in functional activities for up to 48 hours after a rugby match, with reports of fatigue up to four days after the game (TAVARES; SMITH; DRILLER, 2017b; WHYTE *et al.*, 2015).

The need to use recovery methods in rugby athletes can be confirmed by Johnston *et al.* (JOHNSTON, R. D.; GABBETT; JENKINS, 2013), who established progressive increases in neuromuscular fatigue, accompanied by the peak of muscle damage assessed by creatine kinase (CK), a drop in the perception of well-being monitored by questionnaire and decreased intensity of the match, high-speed running and high-intensity efforts measured with GPS. In addition, PEREIRA *et al.* (PEREIRA *et al.*, 2018), confirmed the increase in muscle damage and reductions in the ability to produce explosive force after three games and complemented that there are significant decreases in physical performance in the second half of the games, and the authors encourage the implementation of strategies of recovery, to reduce the impact of muscle damage and accumulated fatigue on performance (PEREIRA *et al.*, 2018).

The application of photobiomodulation (PBM) by low-frequency laser or light-emitting diodes (LED) has shown improvement in strength, power, performance in repeated sprints, maximum oxygen consumption, in addition to less muscle damage, less perception of stress and reduced fatigue (LEAL-JUNIOR; LOPES-MARTINS; BJORDAL, 2019a; VANIN *et al.*, 2018). These results are associated with modulation of enzymatic activity in the electron transport chain, which increases the potential of the mitochondrial membrane, the production of ATP and controls the production of reactive oxygen species, consequently reducing cellular acidosis and its negative effects on metabolism during the exercise (DA

ROSA ORSSATTO *et al.*, 2019; FERRARESI *et al.*, 2015b; TOMAZONI *et al.*, 2019). On the other hand, there are still controversial results that do not show photobiomodulation alterations in the countermovement jump tests, the Illinois test, Yo-Yo intermittent recovery level 1 (Yoyo-IR1), knee extension torque and blood lactate analysis (SANTOS *et al.*, 2020; TSUK *et al.*, 2020). Thus, the contradictory results identify the need for more studies to answer about the effects of photobiomodulation and therapeutic windows that can favor functional performance.

Despite several studies on the subject, the literature does not present the results of the use of photobiomodulation on the performance of functional tests for the lower limbs and on the perception of recovery-stress in rugby athletes. The Functional Tests are frequently used to assess functionality, dynamic stability, muscle power and compare the functional symmetry of the lower limbs, risk of injury and athletes' return to sport (BLEY *et al.*, 2014; CHIMERA; SMITH; WARREN, 2015; CHIWARIDZO *et al.*, 2017; ZWOLSKI *et al.*, 2016). These tests can assist physiotherapists and physical trainers in the assessment of neuromuscular deficits and high levels of fatigue that the training and competition routine generate in players, as they provide information for load control and recovery of athletes (JOHNSTON, W. *et al.*, 2018; MEIERBACHTOL *et al.*, 2017).

Moreover, previous studies have shown that exercise overload is related to the worsening of psychophysiological variables such as well-being, sports readiness, mental fatigue, quality of sleep and stress, in addition to a relationship with the overtraining syndrome (CAMPBELL *et al.*, 2020; LOCH *et al.*, 2020; VACHER *et al.*, 2019), however, there is no consensus in the literature on this topic. When exercise loads are sufficient to cause stress, the induction of a psychophysiological response is responsible for stimulating adaptation and improving physical performance (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018), on the other hand, if the load is excessive and the athlete does not recover correctly, psychophysiological disorders may occur, with reduced performance (GRANDOU *et al.*, 2020).

Faced with the gap in the literature on the effects of photobiomodulation on the performance on functional tests and on psychophysiological factors of recovery-stress, more studies are needed to help improve athletes. Thus, the aim of the present study was to evaluate the effects of photobiomodulation on the performance of functional tests, subjective perception of recovery-stress in rugby athletes. The hypothesis of the present study is that photobiomodulation could improve performance in functional tests and increase perceived recovery-stress of rugby athletes.

2. Methods

2.1. Study Design

This study is characterized as a randomized cross-over clinical trial with a blinded evaluator. The research was approved by the institution's ethics committee (Opinion n °: 2.855.323) and registered in *clinicaltrials.gov* (NCT03728439). All athletes provided a consent form in accordance with the Declaration of Helsinki.

2.2. Subjects

The sample calculation was performed using the Power and Sample Size program (<https://ps-power-and-sample-size-calculation.software.informer.com/>), with a confidence interval of 95%, alpha error of 5% and statistical test power of 80%, when considering the average time of sprints (means: 6.55 and 6.67; and the standard deviation: 0.21) from the study by Pinto et al. (PINTO *et al.*, 2016).

The sample calculation established eight participants to be submitted to intervention, however, considering the changes due to possible sample losses, it was decided to invite all the athletes from the local male rugby team. The initial sample was composed of 17 athletes, but after the losses during the study, it was established that there were 11 adult male rugby union athletes, training at least three days a week, who participated in state and national competitions, with no history of musculoskeletal injuries in the lower limbs in the last three months and didn't take supplements or medications (MIRANDA, E. F. *et al.*, 2018). Figure 1 shows the flow diagram of study participants.

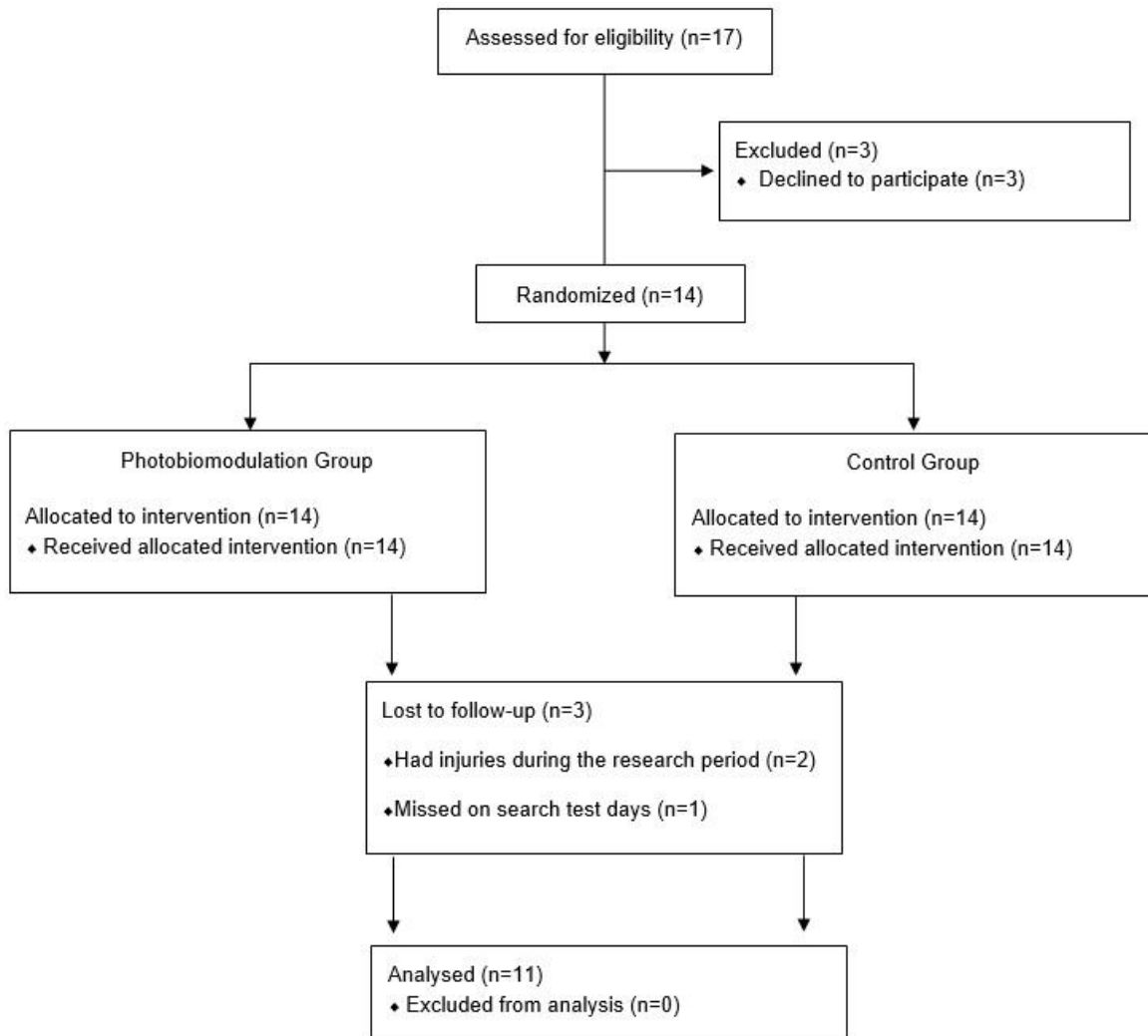


Fig. 1 Flow diagram of the sample loss during the study period.

2.3. Data collection protocols

In the 48 hours before the tests, athletes were instructed not to perform physical exercises, or to consume alcoholic beverages or caffeine (CAMPBELL *et al.*, 2020). Randomization was established by random.org., where 14 possibilities were randomized to the initial intervention with photobiomodulation before exercise (GPBM) or no intervention (control group - GCO), the results were placed in opaque and sealed envelopes. In the first week, each participant chose their envelope with the characteristics of the intervention and, consequently, the other intervention in the following week. The applications were performed once a week, with an interval of seven days, for two weeks. Figure 1 shows the sample selection, randomization, and allocation flow diagram.

On the first day of the study, anamnesis was performed with questions about personal data and training time. At this moment, the first collection of blood lactate levels was performed. Then, there was the selection of the intervention protocol, previously randomized, for the application of photobiomodulation or control, and warm-up with light run jogging for five minutes around the sports court. After warming up, athletes performed the Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT), Single Hop Test (SHT) and Triple Hop Test (THT) functional tests, which assess dynamic balance and muscle power, respectively (RABELLO, 2014; ROGERS *et al.*, 2019).

After performing the functional tests, the athletes were familiarized with the fatigue protocol, the Bangsbo Sprint test (BST) (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012; KRUSTRUP *et al.*, 2003; PINTO *et al.*, 2016). The BST familiarization protocol consisted of two submaximal sprints, progressing from 50 to approximately 100% of its maximum intensity¹³, approximately one minute in duration. There was no familiarity with the Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 (Yoyo-IR1) protocol, as it is already part of the athlete's assessment routine, but the instructions were recalled verbally. After 10 minutes of familiarization, when the intervention was applied (PBM or control), the first block of exercises to generate fatigue was started, consisting of the maximum BST (BANGSBO, 2002; PINTO *et al.*, 2016), followed by a three minutes rest at the end of it, until the beginning of the Yoyo-IR1 test, as proposed by Bangsbo *et al.* (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2012). The second block started after 10 minutes of rest, and again the athletes performed the BST and YoyoIR1.

The fatigue protocol was designed to simulate the demand of a rugby match and the 10 minutes rest between the blocks is the same as for a rugby union match. Lactate was assessed by collections before, immediately after the second exercise block and 10 minutes after the end of the fatigue protocol. The collections were performed by experienced professionals, with vacuum collection tubes and analyzed by the team of the Clinical Analysis Laboratory of the University Hospital, with biochemical test kits (Siemens, Erlangen, Germany), following the criteria recommended by the manufacturer.

Functional tests were performed again 10 minutes after the end of the second block of exercises, to avoid interference with post-exercise lactate increase and to assess functional readiness for the following activities, as in real match situations that take place on the same day in some championships of rugby. After 48 hours, the participants returned to the research site to perform the functional tests and answered the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76) in order to assess psychophysiological recovery-stress (COSTA;

SAMULSKI, 2005). Figure 2 shows the study data collection flowchart.

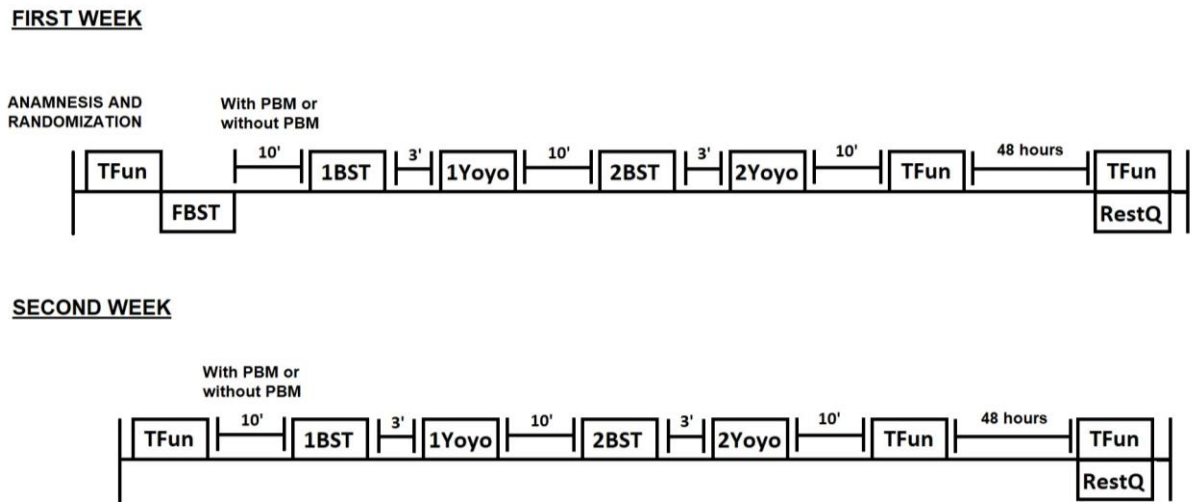


Figure 2. Flowchart of data collection procedures, fatigue protocol and intervention during the study. Legend: Tfun= Functional Tests; FBST= Familiarization with Bangsbo Sprint Test; PBM= Photobiomodulation; 1BST= First Bangsbo Sprint Test; 1Yoyo= First Yoyo Intermittent Recovery level 1; 2BST= Second Bangsbo Sprint Test; 2Yoyo= Second Yoyo Intermittent Recovery level 1; RestQ= Recovery-Stress Questionnaire for Athletes.

2.3.1 Photobiomodulation application protocol

Photobiomodulation (PBM) parameters were shown in table 1. The parameters used were based on previous studies (MALTA *et al.*, 2019; VANIN *et al.*, 2018) and the power of the device was designed so that each light-emitting diode (LED) would deliver the necessary energy within ten minutes. The equipment used was developed by the Optics and Optoelectronics Laboratory of the Physics Department of the State University of Londrina and was calibrated before the study. The equipment has microprocessor control for dynamic adjustment of the application time considering the dependence of the emission efficiency as a function of the temperature at the junction of the LEDs, that is, the power of the device starts at 300 mW with a time of 30 seconds of application, but it can decrease to 100 mW with one minute of application. As the application lasts 45 seconds on average, the average power released to the tissue is 200 mW, and the device signals the end of the application when the pre-programmed energy (J) is reached.

Table 1 - Specifications for the application of photobiomodulation.

Number of LEDs: 15 units
Wavelength: 850 ± 20 nm
Frequency: Continuous
Peak optical output power per LED: 300 mW
Average optical output power per LED: 200 mW
LED power density: 300 mW /cm^2
LED average power density: 200 mW/cm^2
Spot area: 1.0 cm^2
Treatment time per application: 30 s to 90 s
LED energy per application: 8.0 J
LED energy density per application: 8.0 J/cm^2
Total energy delivered per application: 120 J [8J x 15LEDs]
Total energy delivered to each quadriceps: 240 J
Total energy delivered in each hamstring: 240 J
Total energy delivered in each gastrocnemius: 120 J
Total energy delivered on lower limb: 600 J
Total energy delivered on body: 1200 J
Method of application: device kept attached in contact with the skin

*Application device with microprocessor control for dynamic adjustment of the application time considering the dependence of the emission efficiency as a function of the temperature at the junction of the LEDs.

The PBM device was positioned in contact with the skin, over the quadriceps (two application areas: 25 and 75% of the distance between the anterior superior iliac spine and the patella), hamstrings (two application areas: 25 and 75% of the distance from the ischial tuberosity and the medial condyle of the femur) and gastrocnemius (one central application area) muscles of both limbs, as proposed by Malta et al. (MALTA *et al.*, 2019), starting with the dominant limb and then in the same muscle group as the non-dominant limb. The PBM intervention lasted approximately eight minutes, with the athlete lying down and the remaining two minutes at rest in the prone position. The control group remained the ten minutes allocated for the application of PBM in passive rest, lying in prone position. Rest for 10 minutes, without any placebo application, was chosen because it translates the sporting reality when the athlete does not develop any intervention for prevention or recovery. Figure 3A and 3B show the photobiomodulation equipment used in the research.

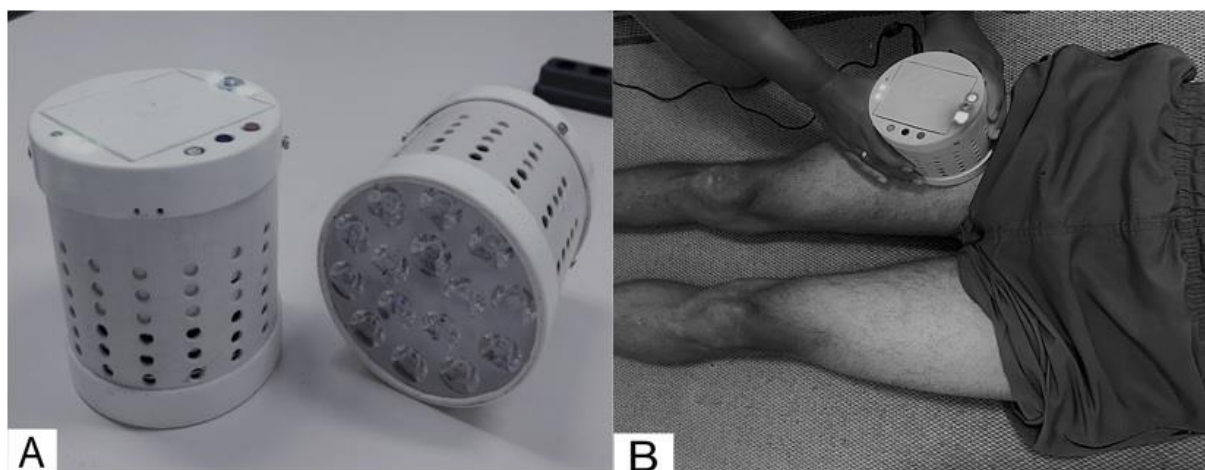


Figure 3A. Photobiomodulation equipment used in the study. **3B.** Shows the application of photobiomodulation on the quadriceps of one of the athletes.

2.3.2. Functional tests

In the present study, functional tests were applied before exercise to obtain the baseline pattern, ten minutes after the end of the exercise protocol, with or without the application of photobiomodulation, to establish the immediate effects of photobiomodulation on the functional performance of the lower limbs and after 48 hours to verify the late effects of photobiomodulation on the functionality of the lower limbs.

The Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT) was performed according to Jagger et al. (JAGGER *et al.*, 2020), normalized by the length of the lower limb, in the anterior, posteromedial and posterolateral directions, with three repetitions performed only by the dominant lower limb and with an interval of one minute between them (MAURICIO CORREIA LIMA, 2015; NESS *et al.*, 2015). The Single Hop Test (SHT) and Triple Hop Test (THT) were developed according to Logerstedt et al. (LOGERSTEDT *et al.*, 2013), performed with the dominant lower limb, with distance measured in centimeters, the jumps with a stable landing were considered valid and each test was repeated for three valid attempts, with an interval of one minute between them.

2.3.3. Recovery and Stress Psychophysiological

To assess the impact of exercise loads on recovery and stress psychophysiological, the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76) was applied (COSTA;

SAMULSKI, 2005; KELLMANN, M., 2010). The RESTQ-Sport-76 questionnaire consists of 77 items, organized into 19 scales (four items in each plus a warm-up), with 10 stress scales (general stress, emotional stress, social stress, conflicts/pressure, fatigue, lack of energy, physical complaints, disturbances in the interval of the sport, emotional exhaustion related to the sport and injuries) and nine recovery scales (success, social recovery, physical recovery, general well-being, quality of sleep, being in shape for physical activities, acceptance self-efficacy and self-regulation). The questionnaire quantitatively evaluates, according to a Likert scale from 0 (never) to 6 (always), how many times the individual has been engaged in potentially stressful and tranquilizing events in the last three days and nights (COSTA; SAMULSKI, 2005).

The result of the questionnaire was obtained based on the average values of the items on each scale, which can vary from zero to six (COSTA; SAMULSKI, 2005). Higher scores on the stress variables mean worse outcomes, while higher scores on the recovery variables show better outcomes. The questionnaire was applied 48 hours after each weekly intervention session, to quantify the athlete's stress and recovery level during the evaluation days.

2.4. Statistical analysis

The data were analyzed using descriptive methods, expressed as mean and standard deviation (parametric data) or median and interquartile range (non-parametric data). Normality was tested by the Shapiro-Wilk test. Two-way ANOVA with repeated measures was performed to determine the effects on groups (GPBM vs GCO), as well as on times (PRE, POST and POST 48). Lactate levels during the fatigue protocol were tested intragroup by one-way ANOVA. Differences between groups were considered significant when $p < 0.05$.

Effect sizes were calculated using Cohen's d to determine the differences between the results of the functional tests obtained in the initial evaluation and 10 minutes after the end of the fatigue protocol. Effect sizes were considered trivial (< 0.2), small (> 0.2), moderate (> 0.6), large (> 1.2), very large (> 2.0) (FRASSON *et al.*, 2020). All variables were compared between the GPH and GCO groups, and intragroups between the moments of data collection. For data analysis used in SPSS 22.0 software.

3. Results

The sample consisted of 11 men, 8 forwards (72.73%) and 3 backwards (27.27%), with a mean age of 25.36 (± 5.81) years, body mass of 100.45 (± 22.41) kg, height of 1.80 (\pm

0.09) meters, and BMI of 30.75 (\pm 5.9). The average weekly training sessions was 4.54 (\pm 1.36) and the time of sport practice was 7.45 (\pm 4.71) years.

Pre-exercise lactate levels in the control group were 1.1 (\pm 0.52) mmol/L before exercise, increasing to 12.12 (\pm 4.43) mmol/L immediately after the second exercise block ($p < 0.0001$ compared to pre-exercise) and decreasing to 8.46 (\pm 3.62) mmol/L after 10 minutes from the end of the exercise ($p = 0.0002$ compared to pre-exercise and $p < 0.0001$ compared to post-exercise). The photobiomodulation group presented similar results, initially with 1.03 (\pm 0.45) mmol/L, increasing to 11.65 (\pm 4.89) mmol/L after exercise ($p < 0.0001$ compared to pre-exercise) and decreasing to 7.58 (\pm 3.86) mmol/L after 10 minutes of the protocol of fatigue ($p = 0.0006$ compared to pre-exercise and $p < 0.0001$ compared to post-exercise). Figure 4 illustrates the lactate results in both groups analyzed.

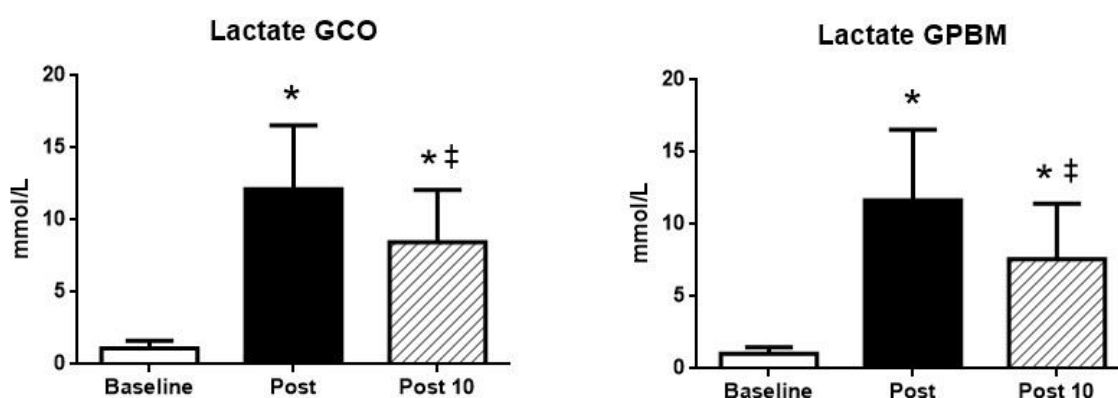


Fig. 4 Blood lactate values before and after the fatigue protocol in both groups.

GCO = Control group. GPBM = Photobiomodulation group. Results expressed as mean and standard deviation by one-way ANOVA. *Statistically significant difference compared to baseline ($p < 0.0001$). ‡ Statistically significant difference compared to the post ($p < 0.0001$).

The results of the functional tests have not established significant differences concerning the comparison between GPBM and GCO, as well as between the moments of data collection (table 2). The effect size analysis (clinical effect) showed that the GPBM was moderately worsened in the Single Hop Test immediately after the fatigue protocol ($d=0.419$), and that the GCO was moderately worsened in the Triple Hop Test values immediately at the end of the exercises, as well as after 48 hours ($d=0.521$). In addition, none of the variables in the RESTQ-Sport-76 questionnaire showed significant changes (table 3).

Table 2. Results of the Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT), Single Hop Test and Triple Hop Test for groups submitted to photobiomodulation (PBM) and control.

Variable		Groups		P Anova			Effect Size
		PBM	Control	Group	Time	Interaction	<i>d</i> de Cohen intragroup
mSEBT	PRE	91.47 (11.53)	89.04 (12.67)	0.914	0.840	0.867	GPBM: 0.028
	POST	91.09 (14.93)	90.63 (14.01)				GCO: 0.118
	POST 48	91.62 (13.64)	93.45 (12.24)				
Single Hop Test	PRE	158.33 (21.80)	160.30 (18.9)	0.401	0.556	0.931	GPBM: 0.419
	POST	148.39 (25.40)	155.57 (24.19)				GCO: 0.217
	POST 48	154.81 (27.21)	160.21 (21.05)				
Triple Hop Test	PRE	502.90 (82.77)	533.48 (57.87)	0.167	0.362	0.916	GPBM: 0.373
	POST	473.24 (76.29)	502.36 (61.45)				GCO: 0.521
	POST 48	490.45 (83.52)	504.69 (62.96)				

GCO = Control group. GPBM = Photobiomodulation group. Values are expressed as mean and standard deviation established by two-way ANOVA. *d*: *d* de Cohen determined between the results of the functional tests obtained in the initial evaluation and after the end of the fatigue protocol.

Table 3. Comparison of stress variables assessed by the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76).

	RESTQ-Sport-76	PBM	Control	P value
Stress Variables	General stress	1.09 ± 1.24	0.93 ± 0.77	0.57
	Emotional stress	1.54 ± 1.12	1.47 ± 0.95	0.85
	Social stress	0.86 ± 1,05	0.84 ± 1.22	0.96
	Conflicts / pressure	2.36 ± 1.47	2.09 ± 1.25	0.52
	Fatigue	2.70 ± 1.77	2.59 ± 1.48	0.74
	Loss of energy	1.29 ± 0.99	1.38 ± 0.76	0.72
	Physical complaints	1.86 ± 1.73	1.50 ± 1.44	0.32
	Disturbances in the sport break	2.20 ± 1.50	2.02 ± 1.59	0.53
	Sport-related emotional exhaustion	1.54 ± 0,95	1.20 ± 0.72	0.34
	Injuries	2.27 ± 0,91	2.11 ± 1.06	0.63
Recovery Variables	Success	3.36 ± 1,10	3.38 ± 1,10	0.88
	Social recovery	3.06 ± 1.05	3.13 ± 1.02	0.73
	Physical recovery	2.81 ± 1,21	3.47 ± 1,40	0.10
	General well-being	3.81 ± 1.31	4.00 ± 1.07	0.24
	Sleep quality	2.31 ± 0,64	2.27 ± 0,69	0.80
	Being in shape for physical activities	2.95 ± 1,24	3.61 ± 1,09	0.22
	Personal acceptance	2.72 ± 1,45	2.72 ± 1,13	>0.99
	Self-efficacy	3.25 ± 1,06	3.47 ± 1,04	0.27
	Self-regulation	3.02 ± 1,58	3.29 ± 1,48	0.43

PBM = Photobiomodulation. Values are expressed as mean and standard deviation established by Paired t test.

4. Discussion

The present study analyzed the effects of photobiomodulation on the performance of functional tests and in psychological recovery-stress in rugby athletes, with results that did not show any change or positive immediate or late effects. Rugby athletes were selected for the study because they are exposed to great physical exertion with consequent neuromuscular fatigue, muscle damage, reduced capacity to produce explosive strength, and decreased perception of well-being (DA SILVA *et al.*, 2020; JOHNSTON, R. D.; GABBETT; JENKINS, 2013; PEREIRA *et al.*, 2018). In addition, training and games on consecutive days can decrease sports performance, which indicates the need to implement recovery strategies (DA SILVA *et al.*, 2020; JOHNSTON, R. D.; GABBETT; JENKINS, 2013; PEREIRA *et al.*, 2018).

The choice of the Bangsbo Sprint test (BST) and the Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 (Yoyo-IR1) as an effort or fatigue protocol is based on the development of activities that resemble rugby matches, with the exercise of changes of direction, speed increase, maximum exercise close to exhaustion and the results of the lactate prove that the athletes really presented fatigue, in both groups, since a significant difference was observed between the initial and final values. The lactate threshold is defined by the exercise intensity in which the energy supply passes from the initial lactate production to the oxidative metabolism, and in the literature the average value of this threshold is approximately 4 mmol/L (HECK *et al.*, 1985). Thus, our values show that the intensity of the fatigue protocol was high and reached its objective.

To answer the gap presented in the literature and faced with the need to improve the performance of functional tests and improve the subjective perception of psychological recovery-stress, the present study used photobiomodulation, applied pre-exercise. The results established that the application of PBM did not change the functional performance of dynamic balance and unipodal jumps, which confirms the non-influence of photobiomodulation on the functional performance of the lower limbs. This finding partially corroborates with Padoin *et al.* (PADOIN *et al.*, 2020) who evaluated the effect of irradiation with red (630nm, 4.6J/cm², 97J energy) and infrared (940nm, 4.6J/cm², 114J) light-emitting diodes, before a protocol with 100 drop-jumps and established that PBM did not change the countermovement jump but increased the squat jump at both wavelengths used.

The functional tests used can be influenced by factors such as muscle strength, motor learning, range of motion, neuromuscular control, proprioception, and trunk stabilization

13,37–39. Furthermore, a single application of photobiomodulation can reduce muscle damage and fatigue, without changing strength, muscle power and performance in countermovement jump (DOS REIS *et al.*, 2014; PADOIN *et al.*, 2020; TSUK *et al.*, 2020).

Another factor associated with athletes' recovery is a psychological recovery-stress, that is associated with mental fatigue, related to changes in attention capacity, feeling of exhaustion and central control of exercise (KELLMANN, M., 2010). It is worth pointing out that when the exercise loads are sufficient to cause stress, the induction of a psychophysiological response is responsible for the adaptation stimulus and the improvement in physical performance (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018). However, if an excessive load is imposed on the athlete and he does not recover correctly, psychophysiological disorders can occur (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2018). To answer a gap in the literature on recovery and psychophysiological stress, the RESTQ-Sport-76 (COSTA; SAMULSKI, 2005; KELLMANN, M., 2010) was used, applied 48 hours after the intervention and exercise protocol, and the results showed no differences or positive effects of photobiomodulation for any of the analyzed variables.

The RESTQ-Sport-76 broadly assesses the stressful and restorative activities related to athletes and presents the overall effects of recovery and stress. It is believed that photobiomodulation applied locally, in the quadriceps, hamstrings and sural triceps muscles, as proposed in the present study, was not sufficient to establish positive effects of recovery and psychophysiological stress. However, studies with a larger application area, with whole-body photobiomodulation, by Intravascular Laser Irradiation of Blood (ILIB) and transcranial irradiation could establish better results (BARRETT; GONZALEZ-LIMA, 2013).

The present study has a limitation which is using only the wavelength in the infrared spectrum and suggests that future research may include equipment with red and infrared lights, in addition to evaluating other sports and athletes from different teams. Also, that future works evaluate the effect of applying photobiomodulation in more regions of the body, by ILIB and transcranial irradiation to conclude if there are real changes in psychophysiological variables of athletes. As a clinical contribution, it is highlighted that photobiomodulation, despite having positive effects on muscle injury markers, did not change the functional performance and psychophysiological responses of athletes with the parameters applied in this study and should not be used for this purpose.

5. Conclusion

Photobiomodulation was not able to change performance in the Modified Star Excursion Balance Test and Hop Tests in rugby athletes. Therefore, it has not changed the functional performance of dynamic balance and jumps in rugby athletes. Also, it has not altered the athletes' perception of stress and recovery after 48 hours of the fatigue protocol.

REFERENCES

1. Chiwaridzo M, Oorschot S, Dambi JM, et al. A systematic review investigating measurement properties of physiological tests in rugby. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2017;9(1). doi:10.1186/s13102-017-0081-1
2. Tavares F, Smith TB, Driller M. Fatigue and Recovery in Rugby: A Review. *Sport Med.* 2017;47(8):1515-1530. doi:10.1007/s40279-017-0679-1
3. Whyte E, Burke A, White E, Moran K. A high-intensity, intermittent exercise protocol and dynamic postural control in men and women. *J Athl Train.* 2015;50(4):392-399. doi:10.4085/1062-6050-49.6.08
4. Johnston RD, Gabbett TJ, Jenkins DG. Influence of an intensified competition on fatigue and match performance in junior rugby league players. *J Sci Med Sport.* 2013;16(5):460-465. doi:10.1016/j.jsams.2012.10.009
5. Pereira LA, Nakamura FY, Moraes JE, Kitamura K, Ramos SP, Loturco I. Movement patterns and muscle damage during simulated rugby sevens matches in national team players. *J Strength Cond Res.* 2018;32(12):3456-3465. doi:10.1519/JSC.0000000000001866
6. Vanin AA, Verhagen E, Barboza SD, Costa LOP, Leal-Junior ECP. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2018;33(1):181-214. doi:10.1007/s10103-017-2368-6
7. Leal-Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, Bjordal JM. Clinical and scientific recommendations for the use of photobiomodulation therapy in exercise performance

- enhancement and post-exercise recovery: current evidence and future directions. *Brazilian J Phys Ther.* 2019;23(1):71-75. doi:10.1016/j.bjpt.2018.12.002
8. Ferraresi C, Kaippert B, Avci P, et al. Low-level laser (light) therapy increases mitochondrial membrane potential and ATP synthesis in C2C12 myotubes with a peak response at 3-6 h. *Photochem Photobiol.* 2015;91(2):411-416. doi:10.1111/php.12397
 9. Da Rosa Orssatto LB, Detanico D, Kons RL, Sakugawa RL, Da Silva JN, Diefenthaeler F. Photobiomodulation therapy does not attenuate fatigue and muscle damage in judo athletes: A randomized, triple-blind, placebo-controlled trial. *Front Physiol.* 2019;10(JUN):1-11. doi:10.3389/fphys.2019.00811
 10. Tomazoni SS, Machado CDSM, De Marchi T, et al. Infrared Low-Level Laser Therapy (Photobiomodulation Therapy) before Intense Progressive Running Test of High-Level Soccer Players: Effects on Functional, Muscle Damage, Inflammatory, and Oxidative Stress Markers - A Randomized Controlled Trial. *Oxid Med Cell Longev.* 2019;2019. doi:10.1155/2019/6239058
 11. Santos IA Dos, Lemos M de P, Coelho VHM, et al. Acute photobiomodulation does not influence specific high-intensity and intermittent performance in female futsal players. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(19):1-12. doi:10.3390/ijerph17197253
 12. Tsuk S, Lev YH, Fox O, Carasso R, Dunsky A. Does Photobiomodulation Therapy Enhance Maximal Muscle Strength and Muscle Recovery? *J Hum Kinet.* 2020;73(1):135-144. doi:10.2478/hukin-2019-0138
 13. Bley AS, Correa JCF, Reis AC Dos, Rabelo NDDA, Marchetti PH, Lucareli PRG. Propulsion Phase of the single leg triple hop test in women with patellofemoral pain syndrome: A biomechanical study. *PLoS One.* 2014;9(5):1-7. doi:10.1371/journal.pone.0097606
 14. Chimera NJ, Smith CA, Warren M. Injury history, sex, and performance on the functional movement screen and Y balance test. *J Athl Train.* 2015;50(5):475-485. doi:10.4085/1062-6050-49.6.02
 15. Zwolski C, Schmitt LC, Thomas S, Hewett TE, Paterno M V. The Utility of Limb Symmetry Indices in Return-to-Sport Assessment in Patients with Bilateral Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(8):2030-2038.

- doi:10.1177/0363546516645084
16. Meierbachtol A, Rohman E, Paur E, Bottoms J, Tompkins M. Quantitative Improvements in Hop Test Scores After a 6-Week Neuromuscular Training Program. *Sports Health*. 2017;9(1):22-29. doi:10.1177/1941738116667933
 17. Johnston W, Dolan K, Reid N, Coughlan GF, Caulfield B. Investigating the effects of maximal anaerobic fatigue on dynamic postural control using the Y-Balance Test. *J Sci Med Sport*. 2018;21(1):103-108. doi:10.1016/j.jsams.2017.06.007
 18. Campbell PG, Stewart IB, Sirotic AC, Minett GM. The effect of overreaching on neuromuscular performance and wellness responses in Australian rules football athletes. *J Strength Cond Res*. 2020;34(6):1530-1538. doi:10.1519/JSC.0000000000003603
 19. Vacher P, Filaire E, Mourot L, Nicolas M. Stress and recovery in sports: Effects on heart rate variability, cortisol, and subjective experience. *Int J Psychophysiol*. 2019;143(June):25-35. doi:10.1016/j.ijpsycho.2019.06.011
 20. Loch F, Hof zum Berge A, Ferrauti A, Meyer T, Pfeiffer M, Kellmann M. Acute Effects of Mental Recovery Strategies After a Mentally Fatiguing Task. *Front Psychol*. 2020;11(December):1-13. doi:10.3389/fpsyg.2020.558856
 21. Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ. Internal and External Training Load : 15 Years On Training Load : Internal and External Load Theoretical Framework : The Training Process. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;14(2):270-273.
 22. Grandou C, Wallace L, Impellizzeri FM, Allen NG, Coutts AJ. Overtraining in Resistance Exercise: An Exploratory Systematic Review and Methodological Appraisal of the Literature. *Sport Med*. 2020;50(4):815-828. doi:10.1007/s40279-019-01242-2
 23. Pinto HD, Vanin AA, Miranda EF, et al. Photobiomodulation Therapy Improves Performance and Accelerates Recovery of High-Level Rugby Players in Field Test: A Randomized, Crossover, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Study. *J Strength Cond Res*. 2016;30(12):3329-3338. doi:10.1519/JSC.0000000000001439
 24. Miranda EF, Tomazoni SS, de Paiva PRV, et al. When is the best moment to apply photobiomodulation therapy (PBMT) when associated to a treadmill endurance-training program? A randomized, triple-blinded, placebo-controlled clinical trial.

- Lasers Med Sci.* 2018;33(4):719-727. doi:10.1007/s10103-017-2396-2
25. RABELLO LM et al. Relação Entre Testes Funcionais E Plataforma De. *Rev Bras Med Esporte [online]*. 2014;20(3):219-222. doi:10.1590/1517-86922014200301720
 26. Rogers SM, Winkelmann ZK, Ebermann LE, Games KE. Triple Hop for Distance as a Predictor of Lower Extremity Performance in Firefighter Equipment. *Int J Exerc Sci.* 2019;12(6):515-525.
 27. Bangsbo J, Iain FM, Krstrup P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. *Sport Med.* 2012;38(1):37-51. doi:10.2165/00007256-200838010-00004
 28. Krstrup P, Mohr M, Amstrup T, et al. The Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(4):697-705. doi:10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32
 29. Bangsbo J. Entrenamiento de la condición física en el fútbol. Published online 2002:349.
 30. Costa L, Samulski D. Validation Process of The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport) in Portuguese. *R bras Ci e Mov.* 2005;13(31):79-86. [http://www.aleixo.com/arquivos/artigos_ptg/Processo de Valida??o do Question?rio de Estresse e Recupera??o para Atletas \(RESTQ-Sport\) na L?ngua Portuguesa.pdf](http://www.aleixo.com/arquivos/artigos_ptg/Processo%20de%20Valida%20o%20do%20Question%20rio%20de%20Estresse%20e%20Recupera%20o%20para%20Atletas%20(RESTQ-Sport)%20na%20L%20ngua%20Portuguesa.pdf)5Cn[http://www.researchgate.net/publication/44796090_Validation_Pr ocess_of_the_Recovery_Stress_Qu](http://www.researchgate.net/publication/44796090_Validation_Process_of_the_Recovery_Stress_Qu)
 31. Malta EDS, De Lira FS, Machado FA, Zago AS, Do Amaral SL, Zagatto AM. Photobiomodulation by led does not alter muscle recovery indicators and presents similar outcomes to cold-water immersion and active recovery. *Front Physiol.* 2019;10(JAN):1-11. doi:10.3389/fphys.2018.01948
 32. Jagger K, Frazier A, Aron A, Harper B. Original research Y-balance test, a modified Y-balance test, and the modified star excursion balance test. 2020;15(1):34-41. doi:10.26603/ijsp20200034
 33. Ness BM, Taylor AL, Haberl MD, Reuteman PF, Borgert AJ. Clinical observation and analysis of movement quality during performance on the star excursion balance test. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10(2):168-177.
 34. Mauricio Correia Lima. Análise do equilíbrio dinâmico e da força muscular do quadril

- em atletas pós-reconstrução do ligamento cruzado anterior. *Diss Mestr.* Published online 2015.
35. Logerstedt D, Grindem H, Lynch A, Eitzen I. Single-legged Hop test as predictors of self-reported knee function after ACL reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013;40(July 2012):2348-2356. doi:10.1177/0363546512457551.Single-legged
 36. Kellmann M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sport.* 2010;20(SUPPL. 2):95-102. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x
 37. Frasson VB, Vaz MA, Morales AB, et al. Hip muscle weakness and reduced joint range of motion in patients with femoroacetabular impingement syndrome: a case-control study. *Brazilian J Phys Ther.* 2020;24(1):39-45. doi:10.1016/j.bjpt.2018.11.010
 38. da Silva BVC, Simim MA de M, da Silva RB, et al. Time Course of Recovery for Performance Attributes and Circulating Markers of Muscle Damage Following a Rugby Union Match in Amateur Athletes. *Sports.* 2020;8(5):64. doi:10.3390/sports8050064
 39. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l Lactate Threshold. *Int J Sports Med.* 1985;06(03):117-130. doi:10.1055/s-2008-1025824
 40. Padoin S, Zeffa AC, Molina Corrêa JC, et al. Phototherapy Improves Muscle Recovery and Does Not Impair Repeated Bout Effect in Plyometric Exercise. *J Strength Cond Res.* 2020;Publish Ah(March):67-68. doi:10.1519/JSC.0000000000003895
 41. dos Reis FA, da Silva BAK, Laraia EMS, et al. Effects of Pre- or Post-Exercise Low-Level Laser Therapy (830 nm) on Skeletal Muscle Fatigue and Biochemical Markers of Recovery in Humans: Double-Blind Placebo-Controlled Trial. *Photomed Laser Surg.* 2014;32(2):106-112. doi:10.1089/pho.2013.3617
 42. Barrett DW, Gonzalez-Lima F. Transcranial infrared laser stimulation produces beneficial cognitive and emotional effects in humans. *Neuroscience.* 2013;230:13-23. doi:10.1016/j.neuroscience.2012.11.016

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese desenvolvida no doutorado em Ciências da Reabilitação mostrou que seguindo os parâmetros utilizados o melhor momento para aplicar a fotobiomodulação com diodos emissores de luz para aumentar o desempenho é antes do exercício, considerando também a aplicabilidade antes de um segundo bloco de exercícios para manutenção da atividade. A fotobiomodulação em diferentes momentos não alterou o dano muscular, a produção de lactato, a percepção subjetiva de esforço, estresse ou recuperação, tal como o desempenho nos testes funcionais.

O estudo contribui para a prática clínica por evidenciar o efeito positivo da aplicação da fotobiomodulação em atletas de *rugby* e demonstrar sua aplicabilidade em intervalos de partidas ou jogos consecutivos para prevenir a queda de desempenho. Outra contribuição é mostrar que a fotobiomodulação não é indicada para melhora da funcionalidade de membros inferiores ou fatores psicofisiológicos de recuperação. Novos estudos são indicados utilizando doses diferentes e equipamentos que associem comprimentos de onda vermelho e infravermelho, além de incluir aplicação placebo da fotobiomodulação com consequente cegamento dos atletas que receberam o método.

8 REFERÊNCIAS

ALTMANN, S. *et al.* **Validity and reliability of speed tests used in soccer: A systematic review.** [S. l.: s. n.], 2019. ISSN 19326203.v. 14 Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220982>

BANGSBO, J. **Entrenamiento de la condición física en el fútbol.** [S. l.: s. n.], 2002.

BANGSBO, J.; IAIA, F. M.; KRUSTRUP, P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. **Sports Medicine**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 37–51, 2012. Available at: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>

BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. / Facteurs limitants de la consommation maximale d'oxygene et determinants de la performance d'endurance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 70–84, 2000.

BORGES, L. S. *et al.* Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 1139–1144, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1486-z>

BORSA, P. A.; LARKIN, K. A.; TRUE, J. M. Does Phototherapy Enhance Skeletal Muscle Contractile Function and Postexercise Recovery? A Systematic Review. **Journal of Athletic Training**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 57–67, 2013. Available at: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.1.12>

BORTOLOTTI, H. *et al.* Avaliação da capacidade de realizar sprints repetidos no futebol Determinantes fisiológicos para o desempenho em RSA. **Motriz**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 1006–1012, 2010. Available at: <https://doi.org/10.5016/1980-6574.2010v16n4p1006>

BOUCHARD, C. *et al.* Genomic predictors of the maximal O₂ uptake response to standardized exercise training programs. **Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 110, n. 5, p. 1160–1170, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00973.2010>

BOURDON, P. C. *et al.* Monitoring athlete training loads: Consensus statement. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [s. l.], v. 12, p. 161–170, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>

BRANCACCIO, P. *et al.* Serum Enzyme Monitoring in Sports Medicine. **Clinics in Sports Medicine**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 1–18, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.csm.2007.09.005>

BRANCACCIO, P.; MAFFULLI, N.; LIMONGELLI, F. M. Creatine kinase monitoring in sport medicine. **British Medical Bulletin**, [s. l.], v. 81–82, n. 1, p. 209–230, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldm014>

BRAZIER, J. *et al.* Anthropometric and Physiological Characteristics of Elite Male Rugby Athletes. **Journal of strength and conditioning research**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 1790–1801, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002827>

CALLEJA-GONZÁLEZ, J. *et al.* Evidence-based post-exercise recovery strategies in rugby: a narrative review. **Physician and Sportsmedicine**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 137–147, 2019a. Available at: <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1541701>

CALLEJA-GONZÁLEZ, J. *et al.* Evidence-based post-exercise recovery strategies in rugby: a narrative review. **Physician and Sportsmedicine**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 137–147, 2019b. Available at:

<https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1541701>

CAMARGO, M. Z. *et al.* Effects of light emitting diode (LED) therapy and cold water immersion therapy on exercise-induced muscle damage in rats. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 1051–1058, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-011-1039-2>

CAMPBELL, P. G. *et al.* The effect of overreaching on neuromuscular performance and wellness responses in Australian rules football athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 1530–1538, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003603>

CHENG, A. J.; JUDE, B.; LANNER, J. T. Intramuscular mechanisms of overtraining. **Redox Biology**, [s. l.], v. 35, n. January, p. 101480, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101480>

CHIWARIDZO, M. *et al.* A systematic review investigating measurement properties of physiological tests in rugby. **BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation**, [s. l.], v. 9, n. 1, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13102-017-0081-1>

CHUNG, H. *et al.* The Nuts and Bolts of Low-level Laser (Light) Therapy. **Annals of Biomedical Engineering**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 516–533, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10439-011-0454-7>

CLAGG, S. *et al.* Performance on the Modified Star Excursion Balance Test at the Time of Return to Sport Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, [s. l.], v. 45, n. 6, p. 444–452, 2015. Available at: <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5040>

COSTA, L.; SAMULSKI, D. Validation Process of The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport) in Portuguese. **R. bras. Ci e Mov**, [s. l.], v. 13, n. 31, p. 79–86, 2005.

DA COSTA SANTOS, V. B. *et al.* LED therapy or cryotherapy between exercise intervals in Wistar rats: Anti-inflammatory and ergogenic effects. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 599–605, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1371-9>

DA SILVA, B. V. C. *et al.* Time Course of Recovery for Performance Attributes and Circulating Markers of Muscle Damage Following a Rugby Union Match in Amateur Athletes. **Sports**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 64, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3390/sports8050064>

DE MARCHI, T. *et al.* Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running: Effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 231–236, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-011-0955-5>

DENIS, R.; O'BRIEN, C.; DELAHUNT, E. The effects of light emitting diode therapy following high intensity exercise. **Physical Therapy in Sport**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 110–115, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.03.014>

DOBBIN, N. *et al.* Concurrent Validity of a Rugby-Specific Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Level 1) for Assessing Match-Related Running Performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 176–182, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002621>

DOEVEN, S. H. *et al.* Postmatch recovery of physical performance and biochemical markers in team ball sports: A systematic review. **BMJ Open Sport and Exercise Medicine**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1–10, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000264>

DONKIN, C. *et al.* Positional In-Match Running Demands of University Rugby

Players in South Africa. **Frontiers in Psychology**, [s. l.], v. 11, n. July, p. 1–8, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01591>

DOS REIS, F. A. *et al.* Effects of Pre- or Post-Exercise Low-Level Laser Therapy (830 nm) on Skeletal Muscle Fatigue and Biochemical Markers of Recovery in Humans: Double-Blind Placebo-Controlled Trial. **Photomedicine and Laser Surgery**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 106–112, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1089/pho.2013.3617>

FIORENZA, M. *et al.* High-intensity exercise training enhances mitochondrial oxidative phosphorylation efficiency in a temperature-dependent manner in human skeletal muscle: implications for exercise performance. **FASEB Journal**, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 8976–8989, 2019a. Available at: <https://doi.org/10.1096/fj.201900106RRR>

FIORENZA, M. *et al.* **Neuromuscular Fatigue and Metabolism during High-Intensity Intermittent Exercise**. [S. l.: s. n.], 2019b. ISSN 15300315.v. 51 Available at: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001959>

FREDSTED, A. *et al.* Causes of excitation-induced muscle cell damage in isometric contractions: Mechanical stress or calcium overload? **American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, [s. l.], v. 292, n. 6, p. 2249–2259, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00415.2006>

FRITSCH, C. G. *et al.* Effects of low-level laser therapy applied before or after plyometric exercise on muscle damage markers: randomized, double-blind, placebo-controlled trial. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 1935–1942, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-016-2072-y>

FULLAM, K. *et al.* Kinematic analysis of selected reach directions of the star excursion balance test compared with the Y-balance test. **Journal of Sport Rehabilitation**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 27–35, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1123/JSR.2012-0114>

GABBETT, T. J. Influence of fatigue on tackling ability in rugby league players: Role of muscular strength, endurance, and aerobic qualities. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 1–11, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163161>

GABBETT, T. J. *et al.* The athlete monitoring cycle: A practical guide to interpreting and applying training monitoring data. **British Journal of Sports Medicine**, [s. l.], v. 51, n. 20, p. 1451–1452, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097298>

GIRARD, O.; MENDEZ-VILLANUEVA, A.; BISHOP, D. Repeated-Sprint Ability – Part I. **Sports Medicine**, [s. l.], v. 41, n. 8, p. 673–694, 2011. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21780851%5Cnhttp://link.springer.com/10.2165/11590550-000000000-00000>

GRANDOU, C. *et al.* Overtraining in Resistance Exercise: An Exploratory Systematic Review and Methodological Appraisal of the Literature. **Sports Medicine**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 815–828, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01242-2>

GRANT, D.; DAVID, P.; SUE, H. Applied Physiology and Game Analysis of Rugby Union. **Sports Medicine**, [s. l.], v. 33, n. 13, p. 973–991, 2003. Available at: <https://link-springer-com.chain.kent.ac.uk/content/pdf/10.2165%2F00007256-200333130-00003.pdf>

GREEN, H. J. *et al.* Muscle cellular properties in the ice hockey player: a model for investigating overtraining? **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, [s. l.], v. 90, n. 5, p. 567–578, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1139/y2012-017>

GÜLDENPENNING, I. *et al.* Processing deceptive information in sports:

Individual differences for responding to head fakes depends on the attentional capability of the observer. **Psychology of Sport and Exercise**, [s. l.], v. 51, n. June, p. 101764, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101764>

HAMBLIN, M. R. Mechanisms and Mitochondrial Redox Signaling in Photobiomodulation. **Photochem Photobiol.**, [s. l.], v. 94(2), p. 199–212, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1111/php.12864>

HAMBLIN, M. R.; DEMIDOVA, T. N. **Mechanisms of low level light therapy**. [S. l.: s. n.], 2006. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.646294>

HAMILTON, R. T. *et al.* Triple-hop distance as a valid predictor of lower limb strength and power. **Journal of Athletic Training**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 144–151, 2008. Available at: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.2.144>

HEGEDUS, E. J. *et al.* Clinician-friendly lower extremity physical performance measures in athletes: A systematic review of measurement properties and correlation with injury, part 1. The tests for knee function including the hop tests. **British Journal of Sports Medicine**, [s. l.], v. 49, n. 10, p. 642–648, 2015a. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094094>

HEGEDUS, E. J. *et al.* Clinician-friendly lower extremity physical performance tests in athletes: A systematic review of measurement properties and correlation with injury. Part 2-the tests for the hip, thigh, foot and ankle including the star excursion balance test. **British Journal of Sports Medicine**, [s. l.], v. 49, n. 10, p. 649–656, 2015b. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094341>

HOSTRUP, M.; BANGSBO, J. Limitations in intense exercise performance of athletes – effect of speed endurance training on ion handling and fatigue development. **Journal of Physiology**, [s. l.], v. 595, n. 9, p. 2897–2913, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1113/JP273218>

HUANG, Y.-Y. *et al.* Biphasic Dose Response in Low Level Light Therapy. **Dose-Response**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. dose-response.0, 2009. Available at: <https://doi.org/10.2203/dose-response.09-027.Hamblin>

HUANG, Y. Y. *et al.* Biphasic dose response in low level lighththerapy. **Dose-Response**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 358–383, 2009. Available at: <https://doi.org/10.2203/dose-response.09-027.Hamblin>

IAIA, F. M.; BANGSBO, J. Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, [s. l.], v. 20, n. SUPPL. 2, p. 11–23, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01193.x>

IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORA, S. M.; COUTTS, A. J. Internal and External Training Load: 15 Years On Training Load: Internal and External Load Theoretical Framework: The Training Process. **International journal of sports physiology and performance**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 270–273, 2018.

JAGGER, K. *et al.* Original Research Y-Balance Test, a Modified Y-Balance Test, and the Modified Star Excursion Balance Test. [s. l.], v. 15, n. 1, p. 34–41, 2020. Available at: <https://doi.org/10.26603/ijsp20200034>

JOHNSTON, R. D.; GABBETT, T. J.; JENKINS, D. G. Influence of an intensified competition on fatigue and match performance in junior rugby league players. **Journal of Science and Medicine in Sport**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 460–465, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.10.009>

JOHNSTON, W. *et al.* Concussion Recovery Evaluation Using the Inertial Sensor Instrumented Y Balance Test. **Journal of Neurotrauma**, [s. l.], v. 37, n. 23, p. 2549–2557, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1089/neu.2020.7040>

JOHNSTON, W. *et al.* Investigating the effects of maximal anaerobic fatigue

on dynamic postural control using the Y-Balance Test. **Journal of Science and Medicine in Sport**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 103–108, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.06.007>

KELLMANN, M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, [s. l.], v. 20, n. SUPPL. 2, p. 95–102, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>

KELLMANN, Michael *et al.* Recovery and performance in sport: Consensus statement. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 240–245, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759>

KELLMANN, Michael; GÜNTHER, K. D. Changes in stress and recovery in elite rowers during preparation for the Olympic Games. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 676–683, 2000. Available at: <https://doi.org/10.1097/00005768-200003000-00019>

KRUSTRUP, P. *et al.* The Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 697–705, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32>

LA MONICA, M. B. *et al.* **Physical differences between forwards and backs in American collegiate rugby players**. [S. l.: s. n.], 2016. ISSN 15334295.v. 30 Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001388>

LEAL-JUNIOR, E. C. P. *et al.* Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 925–939, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1465-4>

LEAL-JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. Á. B.; BJORDAL, J. M. Clinical and scientific recommendations for the use of photobiomodulation therapy in exercise performance enhancement and post-exercise recovery: current evidence and future directions. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 71–75, 2019a. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.12.002>

LEAL-JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. Á. B.; BJORDAL, J. M. Clinical and scientific recommendations for the use of photobiomodulation therapy in exercise performance enhancement and post-exercise recovery: current evidence and future directions. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 71–75, 2019b. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.12.002>

LEAL JUNIOR, E. C. *et al.* 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 in Medical Science**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 493–501, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-010-0866-x>

LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.* Effect of cluster multi-diode light emitting diode therapy (LEDT) on exercise-induced skeletal muscle fatigue and skeletal muscle recovery in humans. **Lasers in Surgery and Medicine**, [s. l.], v. 41, n. 8, p. 572–577, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1002/lsm.20810>

LOCH, F. *et al.* Acute Effects of Mental Recovery Strategies After a Mentally Fatiguing Task. **Frontiers in Psychology**, [s. l.], v. 11, n. December, p. 1–13, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.558856>

LOGERSTEDT, D. *et al.* Single-legged Hop test as predictors of self-reported knee function after ACL reconstruction. **The American journal of sports medicine**,

[s. l.], v. 40, n. July 2012, p. 2348–2356, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546512457551>. Single-legged

MALONE, S. *et al.* Monitoring player fitness, fatigue status and running performance during an in-season training camp in elite Gaelic football. **Science and Medicine in Football**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 229–236, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1361040>

MARTÍNEZ-LAGUNAS, V.; HARTMANN, U. Validity of the Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 for direct measurement or indirect estimation of maximal oxygen uptake in female soccer players. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 825–831, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0313>

MAURICIO CORREIA LIMA. Análise do equilíbrio dinâmico e da força muscular do quadril em atletas pós-reconstrução do ligamento cruzado anterior. **Dissertação de Mestrado**, [s. l.], 2015.

MINETT, G. M.; COSTELLO, J. T. Specificity and context in post-exercise recovery: It is not a one-size-fits-all approach. **Frontiers in Physiology**, [s. l.], v. 6, n. APR, p. 1–3, 2015. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00130>

MIRANDA, E. F. *et al.* When is the best moment to apply photobiomodulation therapy (PBMT) when associated to a treadmill endurance-training program? A randomized, triple-blinded, placebo-controlled clinical trial. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 719–727, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2396-2>

MIRANDA, E.; LEAL-JUNIOR, E. Effects of light-emitting diodes on muscle fatigue and exercise tolerance in patients with COPD: study protocol for a randomized controlled trial. **Trials**, [s. l.], v. 14, n. 134, p. 1–7, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1186/1745-6215-14-134>

NAMPO, F. K. *et al.* Effect of low-level phototherapy on delayed onset muscle soreness: a systematic review and meta-analysis. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 165–177, 2016a. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-015-1832-4>

NAMPO, F. K. *et al.* Low-level phototherapy to improve exercise capacity and muscle performance: a systematic review and meta-analysis. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 1957–1970, 2016b. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1977-9>

NESS, B. M. *et al.* Clinical observation and analysis of movement quality during performance on the star excursion balance test. **International journal of sports physical therapy**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 168–177, 2015. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4387724&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

PEREIRA, L. A. *et al.* Movement patterns and muscle damage during simulated rugby sevens matches in national team players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s. l.], v. 32, n. 12, p. 3456–3465, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001866>

PINTO, H. D. *et al.* Photobiomodulation Therapy Improves Performance and Accelerates Recovery of High-Level Rugby Players in Field Test: A Randomized, Crossover, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Study. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s. l.], v. 30, n. 12, p. 3329–3338, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001439>

PROIA, P. *et al.* Lactate as a metabolite and a regulator in the central nervous system. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 9, 2016.

Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms17091450>

ROELANDTS, R. The history of phototherapy: Something new under the sun? **Journal of the American Academy of Dermatology**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. 926–930, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1067/mjd.2002.121354>

ROGERS, S. M. *et al.* Triple Hop for Distance as a Predictor of Lower Extremity Performance in Firefighter Equipment. **International journal of exercise science**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 515–525, 2019.

SONESSON, S.; LINDBLOM, H.; HÄGGLUND, M. Performance on sprint, agility and jump tests have moderate to strong correlations in youth football players but performance tests are weakly correlated to neuromuscular control tests. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 1659–1669, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06302-z>

SPENCER, M. *et al.* Performance and metabolism in repeated sprint exercise: Effect of recovery intensity. **European Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 103, n. 5, p. 545–552, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0749-z>

TAVARES, F.; SMITH, T. B.; DRILLER, M. Fatigue and Recovery in Rugby: A Review. **Sports Medicine**, [s. l.], v. 47, n. 8, p. 1515–1530, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0679-1>

THORNTON, H. R. *et al.* Effects of a 2-week high-intensity training camp on sleep activity of professional rugby league athletes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 928–933, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0414>

TROESTER, J. C.; DUFFIELD, R. Monitoring residual 36 h post-match neuromuscular fatigue in rugby union; a role for postural control? **European Journal of Sport Science**, [s. l.], v. 19, n. 10, p. 1312–1319, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1606941>

TWIST, C. *et al.* Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league forwards and backs. **Journal of Sports Sciences**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 359–367, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.640707>

VACHER, P. *et al.* Stress and recovery in sports: Effects on heart rate variability, cortisol, and subjective experience. **International Journal of Psychophysiology**, [s. l.], v. 143, n. June, p. 25–35, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.06.011>

VANIN, A. A. *et al.* Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 181–214, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2368-6>

VANIN, A. A. *et al.* What is the best moment to apply phototherapy when associated to a strength training program? A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial: Phototherapy in association to strength training. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 31, n. 8, p. 1555–1564, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-016-2015-7>

WHITE, G. E.; WELLS, G. D. Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: Physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. **Extreme Physiology and Medicine**, [s. l.], v. 2, n. 1, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-26>

WHYTE, E. *et al.* A high-intensity, intermittent exercise protocol and dynamic postural control in men and women. **Journal of Athletic Training**, [s. l.], v. 50, n. 4,

p. 392–399, 2015. Available at: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.6.08>

WILCZYŃSKI, B. *et al.* The relationship between dynamic balance and jumping tests among adolescent amateur rugby players. A preliminary study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 1–10, 2021. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010312>

WOOD, D. J.; COUGHLAN, G. F.; DELAHUNT, E. Fitness profiles of elite adolescent irish rugby union players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 105–112, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001694>

APÊNDICES

APÊNDICE A

Termo de Consentimento da Equipe

A equipe _____ (nome da equipe), CNPJ _____, pela qual você é responsável legal, está sendo convidada a participar da pesquisa **“ANÁLISE DA DOR MUSCULAR DE INÍCIO TARDIO, RESPOSTA INFLAMATÓRIA E ERGOGÊNICA DA LEDTERAPIA EM ATLETAS DE RUGBY: Ensaio Clínico Randomizado”**, desenvolvido pela aluna de doutorado Vanessa Batista da Costa Santos, orientada e coordenada pela Profa. Dra. Christiane de Souza Guerino Macedo, da Universidade Estadual de Londrina. O estudo tem por objetivo verificar o efeito da aplicação de diodos emissores de luz (LED) nos marcadores inflamatórios, dor muscular após o treinamento e no desempenho esportivo.

Após seu aceite em participar do estudo os atletas serão esclarecidos e convidados individualmente a participar do mesmo e assinarão o termo de consentimento livre e esclarecido. Será agendado o melhor horário e data para realização dos testes, sem prejuízo aos treinamentos ou competições. Na avaliação inicial será realizada uma entrevista para preenchimento dos dados pessoais e aplicado um questionário sobre o seu estado de estresse e recuperação (RESTQ-Sport-76). Depois, será realizada uma avaliação antropométrica do atleta, para avaliar o peso, altura, índice de massa corporal (IMC), percentual de gordura, limiar de dor e testes funcionais, além de coletada uma amostra sanguínea para verificar seus valores de marcadores sanguíneos ao repouso.

Logo após o participante será instruído a realizar um protocolo de aquecimento, seguido de dois testes de corrida com mudanças de direção ao término desses, o participante permanecerá em repouso por dez minutos e repetirá ambos os testes. Ao final dos testes de desempenho, serão realizadas novas coletas de limiar de dor, percepção de esforço, frequência cardíaca, pressão arterial, amostras sanguíneas e testes funcionais.

O atleta repetirá esses testes mais três vezes, uma vez por semana em dias a serem definidos de comum acordo. Após 48 horas, deverão ser coletadas novas amostras sanguíneas, testes funcionais e mensurações do limiar de dor para analisar os níveis inflamatórios e a recuperação após o exercício. No primeiro dia de avaliação não será aplicado nenhum método para acelerar a recuperação ao exercício, entretanto, nos três outros dias de estudo, o atleta será submetido ao tratamento com LEDterapia de acordo com um sorteio que definirá se ele receberá o tratamento, antes, no intervalo ou no final dos exercícios, o participante receberá o tratamento nos três momentos, e a sequência será sorteada.

Seguem abaixo algumas informações gerais:

- Os atletas de sua equipe não serão submetidos a riscos durante a fase dos testes de exercícios, pois os mesmos são praticados durante as rotinas de treinamentos;
- Os exames sanguíneos serão realizados por profissionais treinados e serão seguidas todas as normas de higiene e cuidados com a saúde do seu atleta;
- Você e os atletas tem garantia que receberão respostas a qualquer pergunta ou esclarecimento quanto aos procedimentos, riscos ou benefícios da pesquisa;
- Em qualquer fase do estudo, você poderá retirar o termo de consentimento e com isso deixar de fazer parte do estudo, sem qualquer penalidade;

- Os procedimentos desta pesquisa estão de acordo com as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos atendendo à Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde – Brasília/DF;
- Os pesquisadores asseguram a total privacidade quanto a identidade e aos dados envolvidos com o estudo, os quais serão utilizados exclusivamente para fins de ensino, pesquisa e divulgação científica;
- Caso necessite de maiores esclarecimentos, ou haja dúvidas, você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br; ou os responsáveis pela pesquisa onde os contatos estão descritos abaixo.
- Este termo será preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada, entregue a você.

Eu, _____, RG nº _____, responsável pela equipe _____, CNPJ _____, li e entendi todas as informações contidas neste documento e concordo que minha equipe participe do estudo. Dou pleno direito da utilização desses dados e informações para uso no ensino, pesquisa e divulgação científica.

Assinatura do responsável pela equipe

Coordenadora: Profa. Christiane de S. Guerino Macedo
e-mail: chmacedouel@yahoo.com.br
Telefone: (43) 3371-2288
Endereço: Av. Robert Koch, 60 - Operária, Londrina

Assinatura e carimbo

Doutoranda: Vanessa Batista da Costa Santos
e-mail: vann_costa@hotmail.com
Telefone: (43) 3304-9283

Assinatura e carimbo

Londrina, _____ de _____ de 20____.

APÊNDICE B

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

Você está sendo convidado(a) a participar como voluntário(a) da pesquisa **“ANÁLISE DA DOR MUSCULAR DE INÍCIO TARDIO, RESPOSTA INFLAMATÓRIA E ERGOGÊNICA DA LEDTERAPIA EM ATLETAS DE RUGBY: Ensaio Clínico Randomizado”**, desenvolvido pela aluna de doutorado Vanessa Batista da Costa Santos, orientado e coordenado pela Profa. Dra. Christiane de Souza Guerino Macedo, da Universidade Estadual de Londrina. O estudo tem por objetivo verificar o efeito da aplicação de diodos emissores de luz (LED) nos marcadores inflamatórios e no desempenho esportivo.

Se você está sendo convidado(a) a participar desta pesquisa, o responsável pela sua equipe já foi contatado e autorizou seu desenvolvimento. Entretanto a mesma somente será realizada com o seu total acordo em participar voluntariamente. Após seu aceite em participar do estudo será agendado um melhor horário e data para realização dos testes, sem prejuízo aos treinamentos ou competições. Na avaliação inicial será realizada uma entrevista para preenchimento dos dados pessoais e aplicado um questionário sobre o seu estado de estresse e recuperação (RESTQ-Sport_76). Depois, será realizada uma avaliação antropométrica, para avaliar seu peso, altura, índice de massa corporal (IMC), percentual de gordura, limiar de dor e testes funcionais, além de coletada uma amostra sanguínea para verificar seus valores de marcadores sanguíneos ao repouso. Logo após você será instruído a realizar um protocolo de aquecimento, seguido de dois testes de corrida com mudanças de direção ao término desses você permanecerá em repouso por dez minutos e repetirá ambos os testes. Ao final dos testes de desempenho, serão realizadas novas coletas de limiar de dor, percepção de esforço, frequência cardíaca, pressão arterial, amostras sanguíneas e testes funcionais.

Você repetirá esses testes mais três vezes, uma vez por semana em dias a serem definidos de comum acordo. Após 48 horas, deverão ser coletadas novas amostras sanguíneas, testes funcionais e mensurações do limiar de dor para analisar os níveis inflamatórios e a recuperação após o exercício. No primeiro dia de avaliação não será aplicado nenhum método para acelerar a recuperação ao exercício, entretanto, nos três outros dias de estudo, você será submetido ao tratamento com LEDterapia de acordo com um sorteio que definirá se você receberá o tratamento, antes, no intervalo ou no final dos exercícios, assim você receberá o tratamento nos três momentos, e a sequência será sorteada.

As avaliações serão realizadas em um campo com grama natural, no seu local de treinamento, e você deverá utilizar vestimentas e calçado adequado para a prática esportiva.

Seguem abaixo algumas informações gerais:

- Você não será submetido a riscos durante os testes e os exames, entretanto, o protocolo de exercício poderá causar desconforto e dor muscular;
- Você tem garantia que receberá respostas a qualquer pergunta ou esclarecimento quanto aos procedimentos, riscos ou benefícios da pesquisa;
- Em qualquer fase do estudo, você poderá retirar o termo de consentimento e com isso deixar de fazer parte do estudo, sem que isto leve a qualquer penalidade;

- Os procedimentos desta pesquisa estão de acordo com as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos atendendo à Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde – Brasília/DF;
- Os pesquisadores asseguram a sua privacidade quanto a sua identidade e aos dados envolvidos com o estudo, os quais serão utilizados exclusivamente para fins de ensino, pesquisa e divulgação científica;
- Na eventualidade de qualquer dano, prejuízos ou lesões que aconteçam em função dos testes de desempenho, os pesquisadores asseguram o seu tratamento fisioterápico integral sem nenhum custo financeiro, no projeto de extensão Fisioterapia Esportiva, coordenado pela professora Christiane de S. Guerino Macedo;
- Caso necessite de maiores esclarecimentos, ou haja dúvidas, você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br; ou os responsáveis pela pesquisa onde os contatos estão descritos abaixo.
- Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada, entregue a você.

Eu, _____, RG nº _____, abaixo assinado, li e entendi todas as informações contidas neste documento e concordo em participar do estudo. Dou pleno direito da utilização desses dados e informações para uso no ensino, pesquisa e divulgação científica.

Assinatura do Voluntário

Coordenadora: Profa. Christiane de S. Guerino Macedo
e-mail: chmacedouel@yahoo.com.br
Telefone: (43) 3371-2288
Endereço: Av. Robert Koch, 60 - Operária, Londrina

Assinatura e carimbo

Doutoranda: Vanessa Batista da Costa Santos
e-mail: vann_costa@hotmail.com
Telefone: (43) 3304-9283

Assinatura e carimbo

Londrina, _____ de _____ de 20____.

APÊNDICE C
Ficha de Caracterização da Amostra

Nome: _____

Data de nascimento: _____ Idade: _____

Peso: _____ Altura: _____ IMC: _____ Sexo (F) (M)

Telefone: _____ e-mail: _____

Tempo como atleta (anos): _____ Número de treinos por semana: _____

Modalidade: _____

Posição de jogo: _____

Apresentou lesões nos últimos 2 meses: (SIM) (NÃO)

Queixas de dor (atual):

Histórico de lesões:

Membro inferior dominante: _____

Atletas mulheres:

Última menstruação (dia): ____/____/____

Toma Anticoncepcional? Qual? _____

Sente desconfortos/sintomas/sinais durante o ciclo menstrual? Qual(is)?

Percebe alguma alteração no desempenho esportivo relacionado ao ciclo menstrual? Em qual fase?

Frequência Cardíaca:

FC Máxima = 220- _____ (idade) X0,8= _____

Dia 1:

FC pré-exercício: _____ FC pós exercício: _____

Dia 2:

FC pré-exercício: _____ FC pós exercício: _____

Dia 3:

FC pré-exercício: _____ FC pós exercício: _____

Dia 4:

FC pré-exercício: _____ FC pós exercício: _____

Pressão Arterial:**Dia 1:**

PA pré-exercício: _____ PA pós exercício: _____

Dia 2:

PA pré-exercício: _____ PA pós exercício: _____

Dia 3:

PA pré-exercício: _____ PA pós exercício: _____

Dia 4:

PA pré-exercício: _____ PA pós exercício: _____

Percepção Subjetiva de Esforço:**Dia 1:**

PSE bloco 1: _____ PSE bloco 2: _____

Dia 2:

PSE bloco 1: _____ PSE bloco 2: _____

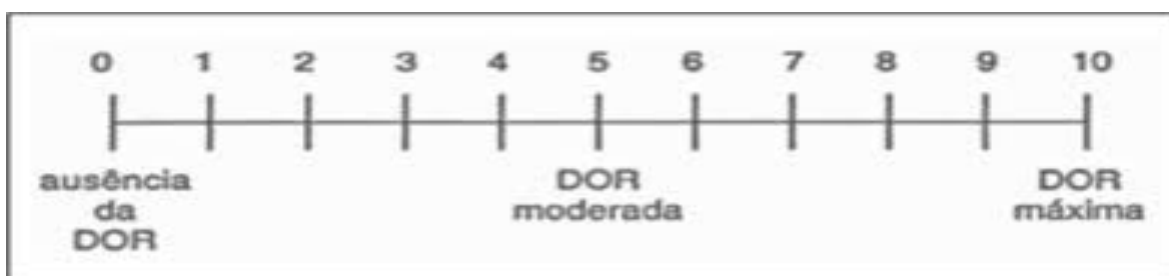
Dia 3:

PSE bloco 1: _____ PSE bloco 2: _____

Dia 4:

PSE bloco 1: _____ PSE bloco 2: _____

Temperatura Local: Dia 1: _____ Dia 2: _____ Dia 3: _____ Dia 4: _____

Dor Muscular de Início Tardio (DOMS):**Dia 1:**

Dor pré-exercício: _____

Dor pós exercício: _____

Dor após 48 horas: _____

Dia 2:

Dor pré-exercício: _____

Dor pós exercício: _____

Dor após 48 horas: _____

Dia 3:

Dor pré-exercício: _____

Dor pós exercício: _____

Dor após 48 horas: _____

Dia 4:

Dor pré-exercício: _____

Dor pós exercício: _____

Dor após 48 horas: _____

TESTES FUNCIONAIS**Star Excursion Balance Test modificado:**

Membro Inferior: _____

ANTERIOR	POSTEROMEDIAL	POSTEROLATERAL

Membro Inferior: _____

ANTERIOR	POSTEROMEDIAL	POSTEROLATERAL

Single Hop Test

TENTATIVAS	DIREITA	ESQUERDA
1		
2		
3		

Triple Hop Test

TENTATIVAS	DIREITA	ESQUERDA
1		
2		
3		

ANEXOS

ANEXO A

Questionário de Prontidão para Atividade Física – PAR-Q *Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)*

Este questionário tem objetivo de identificar a necessidade de avaliação clínica e médica antes do início da atividade física. Caso você marque um SIM, é fortemente sugerida a realização da avaliação clínica e médica. Contudo, qualquer pessoa pode participar de uma atividade física de esforço moderado, respeitando as restrições médicas.

O PAR-Q foi elaborado para auxiliar você a se auto-ajudar. Os exercícios praticados regularmente estão associados a muitos benefícios de saúde. Completar o PAR-Q representa o primeiro passo importante a ser tomado, principalmente se você está interessado em incluir a atividade física com maior frequência e regularidade no seu dia a dia.

O bom senso é o seu melhor guia ao responder estas questões. Por favor, leia atentamente cada questão e marque SIM ou NÃO.

SIM NÃO

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1. Alguma vez seu médico disse que você possui algum problema cardíaco e recomendou que você só praticasse atividade física sob prescrição médica? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 2. Você sente dor no tórax quando pratica uma atividade física? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 3. No último mês você sentiu dor torácica quando não estava praticando atividade física? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 4. Você perdeu o equilíbrio em virtude de tonturas ou perdeu a consciência quando estava praticando atividade física? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 5. Você tem algum problema ósseo ou articular que poderia ser agravado com a prática de atividades físicas? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6. Seu médico já recomendou o uso de medicamentos para controle da sua pressão arterial ou condição cardiovascular? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 7. Você tem conhecimento de alguma outra razão física que o impeça de participar de atividades físicas? |

Declaração de Responsabilidade

Assumo a veracidade das informações prestadas no questionário “PAR-Q” e afirmo estar liberado(a) pelo meu médico para participação em atividades físicas.

Nome do(a) participante:

Nome do(a) responsável se menor de 18 anos:

Data

Assinatura

(Assinatura do Responsável no caso de menor de 18 anos)

ANEXO B

Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport-76)

RESTQ -76 SPORT

Este questionário consiste numa série de afirmações. Estas afirmações possivelmente descreverão seu estado mental, emocional e bem estar físico, ou suas atividades que você realizou nos últimos 3 dias e noites.

Por favor, escolha a resposta que mais precisamente demonstre seus pensamentos e atividades. Indicando em qual frequência cada afirmação se encaixa no seu caso nos últimos dias.

As afirmações relacionadas ao desempenho esportivo se referem tanto a atividades de treinamento quanto de competição.

Para cada afirmação existem sete possíveis respostas.

Por favor, faça sua escolha marcando o número correspondente à resposta apropriada.

Exemplo:

Nos últimos (3) dias/noites

... *Eu li um jornal*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	muitíssimas vezes	Sempre

Neste exemplo, o número 5 foi marcado. O que significa que você leu jornais muitíssimas vezes nos últimos três dias.

Por favor, não deixe nenhuma afirmação em branco.

Se você está com dúvida em qual opção marcar, escolha a que mais se aproxima de sua realidade.

Agora vire a página e responda as categorias na ordem sem interrupção.

*Nos últimos (3) dias/noites*1) *...eu vi televisão*

0	1	2	3	4	5	6
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

2) *...eu dormi menos do que necessitava*

0	1	2	3	4	5	6
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

3) *...eu realizei importantes tarefas*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

4) *...eu estava desconcentrado*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

5) *...qualquer coisa me incomodava*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

6) *... eu sorri*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

7) *...eu me sentia mal fisicamente*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

8) *...eu estive de mau humor*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

9) *...eu me sentia relaxado fisicamente*

0	1	2	3	4	5	6
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

10) *... eu estava com bom ânimo*

0	1	2	3	4	5	6
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

11) *... eu tive dificuldades de concentração*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

12) *... eu me preocupei com problemas não resolvidos*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

13) *... eu me senti fisicamente confortável (tranquilo)*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

Nos últimos (3) dias/noites

14) ... *eu tive bons momentos com meus amigos*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

15) ... *eu tive dor de cabeça ou pressão (exaustão) mental*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

16) ... *eu estava cansado do trabalho*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

17) ... *eu tive sucesso ao realizar minhas atividades*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

18) ... *eu fui incapaz de parar de pensar em algo (alguns pensamentos vinham a minha mente a todo momento)*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

19) ... *eu me senti disposto, satisfeito e relaxado*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

20) ... *eu me senti fisicamente desconfortável (incomodado)*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

21) ... *eu estava aborrecido com outras pessoas*

0	1	2	3	4	5	6
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

22) ... *eu me senti para baixo*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

23) ... *eu me encontrei com alguns amigos*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

24) ... *eu me senti deprimido*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

25) ... *eu estava morto de cansaço após o trabalho*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

26) ... *outras pessoas mexeram com meus nervos*

0	1	2	3	4	5	6
nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

Nos últimos (3) dias/noites

27) ... <i>eu dormi satisfatoriamente</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
28) ... <i>eu me senti ansioso (agitado)</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
29) ... <i>eu me senti bem fisicamente</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
30) ... <i>eu fiquei "de saco cheio" com qualquer coisa</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
31) ... <i>eu estava apático (desmotivado/lento)</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
32) ... <i>eu senti que eu tinha que ter um bom desempenho na frente dos outros</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
33) ... <i>eu me diverti</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
34) ... <i>eu estava de bom humor</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
35) ... <i>eu estava extremamente cansado</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
36) ... <i>eu dormi inquietamente</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
37) ... <i>eu estava aborrecido</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
38) ... <i>eu senti que meu corpo estava capacitado em realizar minhas atividades</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre
39) ... <i>eu estava abalado (transornado)</i>	0	1	2	3	4	5	6
	nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre

Nos últimos (3) dias/noites

- 40) ... *eu fui incapaz de tomar decisões*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 41) ... *eu tomei decisões importantes*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 42) ... *eu me senti exausto fisicamente*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 43) ... *eu me senti feliz*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 44) ... *eu me senti sob pressão*
 0 Nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 45) ... *qualquer coisa era muito para mim*
 0 Nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 46) ... *meu sono se interrompeu facilmente*
 0 Nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 47) ... *eu me senti contente*
 0 Nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 48) ... *eu estava zangado com alguém*
 0 Nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 49) ... *eu tive boas idéias*
 0 Nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 50) ... *partes do meu corpo estavam doloridas*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 51) ... *eu não conseguia descansar durante os períodos de repouso*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 52) ... *eu estava convencido que eu poderia alcançar minhas metas durante a competição ou treino*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre
- 53) ... *eu me recuperei bem fisicamente*
 0 nunca 1 pouquíssimas vezes 2 poucas vezes 3 metade das vezes 4 muitas vezes 5 muitíssimas vezes 6 Sempre

- 54) ... *eu me senti esgotado do meu esporte*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 55) ... *eu conquistei coisas que valeram a pena através do meu treinamento ou competição*
 0 1 2 3 4 5 6
 nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 56) ... *eu me preparei mentalmente para a competição ou treinamento*
 0 1 2 3 4 5 6
 nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 57) ... *eu senti meus músculos tensos durante a competição ou treinamento*
 0 1 2 3 4 5 6
 nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 58) ... *eu tive a impressão que tive poucos períodos de descanso*
 0 1 2 3 4 5 6
 nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 59) ... *eu estava convencido que poderia alcançar meu desempenho normal a qualquer momento*
 0 1 2 3 4 5 6
 nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 60) ... *eu lidei muito bem com os problemas da minha equipe*
 0 1 2 3 4 5 6
 nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 61) ... *eu estava em boa condição física*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 62) ... *eu me esforcei durante a competição ou treinamento*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 63) ... *eu me senti emocionalmente desgastado pela competição ou treinamento*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 64) ... *eu tive dores musculares após a competição ou treinamento*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 65) ... *eu estava convencido que tive um bom rendimento*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- Nos últimos (3) dias/noites*
- 66) ... *muito foi exigido de mim durante os períodos de descanso*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes
- 67) ... *eu me preparei psicologicamente antes da competição ou treinamento*
 0 1 2 3 4 5 6
 Nunca pouquíssimas poucas vezes metade das muitas vezes muitíssimas Sempre
 vezes vezes vezes vezes vezes vezes

68) ... <i>eu quis abandonar o esporte</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
69) ... <i>eu me senti com muita energia</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
70) ... <i>eu entendi bem o que meus companheiros de equipe sentiam</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
71) ... <i>eu estava convencido que tinha treinado bem</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
72) ... <i>os períodos de descanso não ocorreram nos momentos corretos</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
73) ... <i>eu senti que estava próximo de me machucar</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
74) ... <i>eu defini meus objetivos para a competição ou treinamento</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
75) ... <i>meu corpo se sentia forte</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
76) ... <i>eu me senti frustrado pelo meu esporte</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	
77) ... <i>eu lidei bem com os problemas emocionais dos meus companheiros de equipe</i>							
0	1	2	3	4	5	6	
Nunca	pouquíssimas vezes	poucas vezes	metade das vezes	muitas vezes	multíssimas vezes	Sempre	

Muito Obrigado

ESCALAS E ITENS DO RESTQ-76 SPORT

Escala 1: Estresse Geral

- 22)... eu me senti para baixo
- 24)... eu me senti deprimido
- 30)... eu fiquei de “saco cheio” com qualquer coisa
- 45)... qualquer coisa era muito para mim

Escala 2: Estresse Emocional

- 5)... qualquer coisa me incomodava
- 8)... eu estive de mal humor
- 28)... eu me senti ansioso (agitado)
- 37)... eu estava aborrecido

Escala 3: Estresse Social

- 21)... eu estava aborrecido com outras pessoas
- 26)... outras pessoas mexeram com meus nervos
- 39)... eu estava abalado (transtornado)
- 48)... eu estava zangado com alguém

Escala 4: Conflitos/Pressão

- 12)... eu me preocupei com problemas não resolvidos
- 18)... eu fui incapaz de parar de pensar em algo (alguns pensamentos vinham a minha mente a todo momento)
- 32)... eu senti que eu tinha que ter um bom desempenho na frente dos outros
- 44)... eu me senti sob pressão

Escala 5: Fadiga

- 2)... eu dormi menos do que necessitava
- 16)... eu estava cansado do trabalho
- 25)... eu estava morto de cansaço após o trabalho
- 35)... eu estava extremamente cansado

Escala 6: Falta de Energia

- 4)... eu estava desconcentrado
- 11)... eu tive dificuldades de concentração
- 31)... eu estava apático (desmotivado/lento)
- 40)... eu fui incapaz de tomar decisões

Escala 7: Queixas Somáticas

- 7)... eu me sentia mal fisicamente
- 15)... eu tive dor de cabeça ou pressão (exaustão) mental
- 20)... eu me senti fisicamente desconfortável (incomodado)
- 42)... eu me senti exausto fisicamente

Escala 8: Sucesso

- 3)... eu realizei importantes tarefas
- 17)... eu tive sucesso ao realizar minhas atividades
- 41)... eu tomei decisões importantes

49)... eu tive boas idéias

Escala 9: Relaxamento Social

6)... eu sorri

14)... eu tive bons momentos com os amigos

23)... eu encontrei com alguns amigos

33)... eu me diverti

Escala 10: Relaxamento Somático

9)... eu me sentia relaxado fisicamente

13)... eu me senti confortável (tranquilo)

29)... eu me senti bem fisicamente

38)... eu senti como se meu corpo estava capacitado em realizar minhas atividades

Escala 11: Bem Estar Geral

10)... eu estava com bom ânimo

34)... eu estava de bom humor

43)... eu me senti feliz

47)... eu me senti contente

Escala 12: Qualidade de Sono

19)... eu senti disposto, satisfeito e relaxado

27)... eu dormi satisfatoriamente

36)... eu dormi inquietamente

46)... meu sono se interrompeu facilmente

Escala 13: Perturbações nos Intervalos

51)... eu não conseguia descansar durante os períodos de repouso

58)... eu tive a impressão que tive poucos períodos de descanso

66)... muito foi exigido de mim durante os períodos de descanso

72)... os períodos de descanso não ocorreram nos momentos corretos

Escala 14: Exaustão Emocional

54)... eu senti esgotado do meu esporte

63)... eu me senti emocionalmente desgastado pela competição ou treinamento

68)... eu quis abandonar o esporte

76)... eu me senti frustrado pelo meu esporte

Escala 15: Lesões

50)... partes do meu corpo estavam doloridas

57)... eu senti meus músculos tensos durante a competição ou treinamento

64)... eu tive dores musculares após a competição ou treinamento

73)... eu senti que estava próximo de me machucar

Escala 16: Estar em forma

53)... eu me recuperei bem fisicamente

61)... eu estava numa boa condição física

69)... eu me senti com muita energia

75)... eu corpo se sentia forte

Escala 17: Aceitação Pessoal

- 55)... eu conquistei coisas que valeram a pena através de meu treinamento ou competição
- 60)... eu lidei bem com os problemas da minha equipe
- 70)... eu entendi bem o que meus companheiros de equipe sentiam
- 77)... eu lidei bem com os problemas emocionais dos companheiros de equipe

Escala 18: Auto Eficácia

- 52)... eu estava convencido que eu consegui alcançar minhas metas durante a competição ou treinamento
- 59)... eu estava convencido que poderia alcançar meu desempenho normal a qualquer momento
- 65)... eu estava convencido que tive um bom rendimento
- 71)... eu estava convencido que tinha treinado bem

Escala 19: Auto Regulação

- 56)... eu me preparei mentalmente para a competição ou treinamento
- 62)... eu me esforcei durante a competição ou treinamento
- 67)... eu me preparei psicologicamente antes da competição ou treinamento
- 74)... eu defini meus objetivos para a competição ou treinamento

ANEXO C

Escala de Borg CR-10 modificada por Foster et al. (1998)

0	Nenhuma
0,5	Muito, muito leve
1	Muito leve
2	Leve
3	Moderada
4	Pouco intensa
5	Intensa
6	
7	Muito intensa
8	
9	Muito, muito intensa
10	Máxima

ANEXO D

Ficha de avaliação do Yo Yo Intermittent Recovery Test – Level 1

Speed		Time		Time		Time		Time		Time		Time		Time		Time
5	1 40	0,14														
9	1 80	0,35														
11	1 120	0,56	2 160	1,17												
12	1 200	1,37	2 240	1,58	3 280	2,19										
13	1 320	2,38	2 360	2,58	3 400	3,19	4 440	3,39								
14	1 480	3,59	2 520	4,18	3 560	4,38	4 600	4,58	5 640	5,17	6 680	5,37	7 720	5,57	8 760	6,16
15	1 800	6,36	2 840	6,55	3 880	7,14	4 920	7,34	5 960	7,53	6 1000	8,13	7 1040	8,32	8 1080	8,51
16	1 1120	9,10	2 1160	9,29	3 1200	9,48	4 1240	10,08	5 1280	10,27	6 1320	10,46	7 1360	11,05	8 1400	11,24
17	1 1440	11,43	2 1480	12,01	3 1520	12,20	4 1560	12,39	5 1600	12,58	6 1640	13,17	7 1680	13,31	8 1720	13,54
18	1 1760	14,13	2 1800	14,31	3 1840	14,50	4 1880	15,08	5 1920	15,27	6 1960	15,45	7 2000	16,04	8 2040	16,23
19	1 2080	16,41	2 2120	17,00	3 2160	17,19	4 2200	17,36	5 2240	17,54	6 2280	18,12	7 2320	18,30	8 2360	18,49
20	1 2400	19,07	2 2440	19,25	3 2480	19,43	4 2520	20,01	5 2560	20,19	6 2600	20,37	7 2640	20,55	8 2680	21,13
21	1 2720		2 2760		3 2800		4 2840		5 2880		6 2920		7 2960		8 3000	
22	1 3040		2 3080		3 3120		4 3160		5 3200		6 3240		7 3280		8 3320	
23	1 3360		2 3400		3 3440		4 3480		5 3520		6 3560		7 3600		8 3640	