



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL – UFMS
INSTITUTO INTEGRADO DE SAÚDE – INISA
MESTRADO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO



MARCOS SAMPAIO COSTA

**EFEITOS AGUDOS DA TERAPIA FOTOBIMODULADORA CONTROLADA
POR DOSE-DEPENDÊNCIA NO DESEMPENHO E FADIGA MUSCULAR
DURANTE A CONTRAÇÃO ISOMÉTRICA DE EXTENSÃO DO JOELHO EM
PESSOAS IDOSAS**

Campo Grande -MS

2025

MARCOS SAMPAIO COSTA

**EFEITOS AGUDOS DA TERAPIA FOTOBIMODULADORA CONTROLADA
POR DOSE-DEPENDÊNCIA NO DESEMPENHO E FADIGA MUSCULAR
DURANTE A CONTRAÇÃO ISOMÉTRICA DE EXTENSÃO DO JOELHO EM
PESSOAS IDOSAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento (PPGCMov), do Instituto Integrado de Saúde (INISA), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

Linha de pesquisa: “Aspectos profiláticos e terapêuticos da atividade física em diferentes condições de saúde”.

Orientador: Professor Doutor Adalberto Vieira Corazza

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela força, inspiração e resiliência que me concedeu ao longo desta jornada. Às bênçãos, sabedoria e proteção divinas, devo a conclusão deste trabalho e a superação dos desafios encontrados no caminho.

Ao meu professor orientador, Dr. Adalberto Vieira Corazza, pela orientação, paciência e confiança. Sua sabedoria e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, e sua paixão pela pesquisa e pelo conhecimento inspiraram em mim um amor renovado pela ciência.

Aos acadêmicos de iniciação científica que tanto contribuíram com entusiasmo e compromisso, em especial a Renato P. de Mello e Giovanna G. dos Santos, cuja colaboração e apoio foram imprescindíveis em cada etapa deste trabalho. Juntos, superamos desafios e construímos um conhecimento que, acredito, contribuirá para nossa área de estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento (PPGMOV) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS, que foi essencial para a realização desta pesquisa, oferecendo suporte acadêmico, científico e estrutural para o desenvolvimento deste trabalho. Por fim, estendo minha gratidão a todos os colegas, amigos e familiares que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista. Cada gesto de apoio e incentivo fez toda a diferença nesta caminhada.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO

MARCOS SAMPAIO COSTA

**EFEITOS AGUDOS DA TERAPIA FOTOBIMODULADORA CONTROLADA
POR DOSE-DEPENDÊNCIA NO DESEMPENHO E FADIGA MUSCULAR
DURANTE A EXERCÍCIA ISOMÉTRICO DE EXTENSÃO DO JOELHO EM
PESSOAS IDOSAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento (PPGCMov), do Instituto Integrado de Saúde (INISA), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), como requisito para a Qualificação no Mestrado do Ciência do Movimento.

DATA:05/09/2025

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Adalberto Vieira Corazza

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS

(Orientador)

Prof. Dr. Thomaz Nogueira Burke

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS

(Titular)

Prof. Dr. Marcelo Augusto Assunção Sanches

Universidade Estadual Paulista – UNESP

(Titular)

EPÍGRAFE

“Pois a mensagem da cruz é loucura para os que estão perecendo, mas para nós, que estamos sendo salvos, é o poder de Deus. Pois está escrito: "Destruirei a sabedoria dos sábios e rejeitarei a inteligência dos inteligentes". Onde está o sábio? Onde está o erudito? Onde está o questionador desta era? Acaso não tornou Deus louca a sabedoria deste mundo? Visto que, na sabedoria de Deus, o mundo não o conheceu por meio da sabedoria humana, agradou a Deus salvar aqueles que creem por meio da loucura da pregação. Os judeus pedem sinais milagrosos, e os gregos procuram sabedoria; nós, porém, pregamos Cristo crucificado, o qual, de fato, é escândalo para os judeus e loucura para os gentios, mas para os que foram chamados, tanto judeus como gregos, Cristo é o poder de Deus e a sabedoria de Deus. Porque a loucura de Deus é mais sábia que a sabedoria humana, e a fraqueza de Deus é mais forte que a força do homem.” (I Coríntios 1:18-25)

RESUMO

COSTA, Marcos Sampaio. EFEITOS AGUDOS DA TERAPIA FOTOBIMODULADORA CONTROLADA POR DOSE-DEPENDÊNCIA NO DESEMPENHO E FADIGA MUSCULAR DURANTE A CONTRAÇÃO ISOMÉTRICA DE EXTENSÃO DO JOELHO EM PESSOAS IDOSAS. 2025. f. Dissertação (Mestre em Ciência do Movimento) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, Campo Grande, MS, Brasil.

A prática do exercício físico é importante para a qualidade de vida no envelhecimento, entretanto cerca de 55% das pessoas idosas desistem de realiza-lo devido à fadiga muscular. A Terapia de fotobiomodulação (TFBM) é utilizada para estimular o rendimento físico em atletas e indivíduos saudáveis. Este estudo teve como objetivo analisar a aplicação prévia da TFBM ao Teste de Resistência Isométrica (TRI) no músculo quadríceps femoral (QF) de idosas na promoção do desempenho físico. As participantes (28 mulheres, 71,22±5,83 anos) do estudo duplo-cego foram divididas aleatoriamente nos grupos tratado com TFBM Ativa e TFBM Placebo, sendo o estudo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS, com parecer número 6.529.039. A TFBM foi realizada com a Matriz de Lasers (830 nm) e LEDs (850 nm) em uma aplicação prévia ao TRI na área do QF. As participantes desenvolveram o TRI (60% da contração isométrica voluntária máxima - CIVM), até o limite de tolerância (20% da CIVM), com registro eletromiográfico (Frequência Mediana–Fmed), do tempo de resistência e da força muscular. Após 48 horas realizaram aplicação ativa ou placebo da TFBM antes do TRI (registro da Fmed e tempo de resistência). Os tempos de resistência foram normalizados em Percentual da Variação do Tempo (Δt (%)). A TFBM Ativa demonstrou maior Δt (%) (194,21%), com diferença significativa em relação a TFBM Placebo (70,16%) ($p < 0,0167$). Na análise da força muscular, o grupo TFBM 500 J placebo apresentou fadiga precoce em relação ao seu respectivo TFBM Ativo. Doses de 125,1 J e 315 J não diferiram entre os grupos. A Fmed ao longo do tempo no TRI não apresentou diferença significativa entre os grupos TFBM Ativo e TFBM Placebo ($F=0,616$, $P=0,804$), com evidências de fadiga muscular em ambos os grupos ao longo do tempo. A TFBM com 500 J otimizou a força do QF nas fases inicial e intermediária (Basal, 25% e 75%) do TRI em comparação ao placebo ($p < 0,05$). A aplicação da TFBM com 500J de energia no QF aumentou o tempo de resistência isométrica e reduziu a fadiga na análise da força muscular ao longo do

tempo, sugerindo que a inovação tecnológica com a Matriz de Laser e LED desenvolvida para o presente estudo otimizou o desempenho físico, entretanto não houve evidência na suplementação da TFBM na fadiga eletromiográfica.

Palavras-chave: Fotobiomodulação, Fadiga muscular Laser, LED, Envelhecimento, Rendimento físico

ABSTRACT

COSTA, Marcos Sampaio. ACUTE EFFECTS OF DOSE-DEPENDENCE CONTROLLED PHOTOBIOMODULATORY THERAPY ON MUSCLE PERFORMANCE AND FATIGUE DURING ISOMETRIC KNEE EXTENSION CONTRACTION IN ELDERLY INDIVIDUALS. 2025. f. Dissertation (Master in Movement Science) – Postgraduate Program in Movement Science, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, Campo Grande, MS, Brazil.

Physical exercise is important for quality of life in aging; however, approximately 55% of older give up exercising due to muscle fatigue. Photobiomodulation therapy (PBMT) is used to stimulate physical performance in athletes and healthy individuals. This study aimed to analyze the application of PBMT prior to the Isometric Endurance Test (IRT) in the quadriceps femoris (QF) muscle of elderly women in promoting physical performance. The participants (28 women, 71.22 ± 5.83 years) in the double-blind study were randomly divided into groups treated with Active PBMT and Placebo PBMT. The study was approved by the Research Ethics Committee of the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS) under opinion number 6.529.039. The PBMT was performed with the Laser Matrix (830 nm) and LEDs (850 nm) in a pre-IRT application in the QF area. The participants performed IRT (60% of maximum voluntary isometric contraction - MVIC) up to the tolerance limit (20% of MVIC), with electromyographic recording (Median Frequency - Fmed), of endurance time and muscle strength. After 48 hours, they performed active or placebo application of PBMT before IRT (recording of Fmed and endurance time). The endurance times were normalized in Percentage of Time Variation (Δt (%)). The Active PBMT demonstrated higher Δt (%) (194.21%), with a significant difference in relation to the Placebo PBMT (70.16%) ($p < 0.0167$). In the analysis of muscle strength, the 500 J placebo PBMT group showed early fatigue in relation to their respective Active PBMT. Doses of 125.1 J and 315 J did not differ between the groups. The Fmed over time in the IRT showed no significant difference between the Active PBMT and Placebo PBMT groups ($F=0.616$, $p=0.804$), with evidence of muscle fatigue in both groups over time. The 500J PBMT optimized QF strength in the initial and intermediate phases (Baseline, 25%, and 75%) of the IRT compared to placebo ($p<0.05$). The application of 500J PBMT in the QF increased isometric endurance time and reduced fatigue in the analysis of muscle strength over time, suggesting that the technological

innovation with the Laser and LED Matrix developed for this study optimized physical performance. However, there was no evidence of PBMT supplementation in electromyographic fatigue.

Keywords: Photobiomodulation, Muscle Fatigue, Laser, LED, Aging, Physical Performance

Lista de Abreviações

ACSM	American College of Sports Medicine (Colégio Americano de Medicina do Esporte)
ADP	Adenosine Diphosphate (Adenosina Difosfato)
AMP	Adenosine Monophosphate (Adenosina Monofosfato)
ATP	Adenosine Triphosphate (Adenosina Trifosfato)
C T E	Electron Transport Chain- ETC (Cadeia Transportadora de Elétrons)
Ca ²⁺	Cálcio Citosólico
CK	Creatina Quinase
Cl ⁻	Cloro
cm	Centímetro
CVMI	Maximum Voluntary Isometric Contraction- MVIC (Contração Voluntária Máxima Isométrica)
dB	Decibéis
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
DNA	Deoxyribonucleic acid (Ácido Desoxirribonucleico)
EMG	Electromyography (Eletromiografia)
ERN	Reactive Oxygen Species (Espécies Reativas de Nitrogênio)
ERO	Reactive Nitrogen Species (Espécies Reativas de Oxigênio)
FADH2	Flavina Adenina Dinucleotídeo Reduzido
FBM	Photobiomodulation(Fotobiomodulação)
FFT	Fast Fourier Transform(Transformada Rápida de Fourier)
FM	Frequencia Mediana
GAPPA	Global Action Plan on Physical Activity (Plano de Ação Global sobre Atividade Física)
H ⁺	Hidrogênio
HSL	Lipase Hormônio-Sensível
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGF-1,	Insulin-like Growth Factor-1(Fator de Crescimento)
IMP	Inosinato Nucleotídeos
J	Joules
K ⁺	Potássio
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação)
LDHA	Enzima Lactato Desidrogenase Citosólica
LED	Light Emitting Diode (Diodo emissor de luz)
Mg ⁺²	Magnésio
MRF4 - Myf5	Myogenic Factor (Fatores Reguladores Miogênicos)
MRFs	Myogenic Factor (Fatores Regulatórios Miogênicos)
MyoD	Myoblast Determination Protein 1(Proteína de Determinação de Mioblastos 1)
N	Nitrogênio
Na ⁺	Sódio

NADH	Nicotinamide Adenine Dinucleotide Hydride (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Hidreto)
NMI	Lower Motor Neuron (Neurônio Motor Inferior)
WHO	World Health Organization (Organização Mundial de Saúde - OMS)
PI	Piruvato
Pi	Inorganic Phosphate (Fosfato Inorgânico)
PSD	Power Spectral Density (Análise de Densidade Espectral de Energia)
QF	Quadriceps Femoris Muscle (Músculo Quadríceps Femoral)
RMS	Root Mean Square (raiz quadrada média)
RNA	Ribonucleic Acid (Ácido Ribonucleico)
s	Segundo
SNC	Sistema Nervoso Central
TG	Triglycerides (Triglicerídeos)
TFBM	Photobiomodulation Therapy (Terapia de Fotobiomodulação)
VIGITEL	Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico
W	Watts

Lista de Figuras

Figura 1- Tipo de fibras muscular.....	20
Figura 2 - EMG de superfície, descrever que o sinal originalmente coletado é bruto, apresentando espectros positivos e negativos, sendo depois tratados para melhor interpretação do sinal EMG, por isso se analisa pela raiz quadrada das médias dos quadrados.	28
Figura 3 - Radiações Ionizantes e Não-Ionizantes.....	30
Figura 4- Propriedades Físicas da Luz Laser e LED.....	31
Figura 5- Profundidade de Penetração dos Comprimentos de Onda das Luzes Terapêuticas	33
Figura 7- Teste de Resistência Isométrica (TRI) e coleta da EMG. A) Vista Lateral. B) Vista Frontal.....	57
Figura 8 - Tempo de Fadiga do TRI. O registro temporal inicial (t_0) inicia a 60% do torque máximo e o tempo final.....	57
Figura 9- Estudo da linha do tempo.....	59
Figura 10- Coleta da Fmed	59
Figura 11- Matriz de Lasers (16 diodos-806 nm) e LEDs (24 diodos-850 nm). A) Desligado. B) Acionado	60
Figura 12: TFBM na coxa da participante. A) Vista Frontal. B) Vista Superior.	60

Lista de Tabelas

Tabela 1: Revisão da Literatura sobre TFBM no Desempenho Físico	42
Tabela 2 - Características antropométricas dos grupos - Percentual de Gordura Corpórea; IMC: Índice de Massa Corporal.....	56
Tabela 3 Parâmetro da Matriz de Laser e Led.....	61
Tabela 4: Análise do Tempo dos Grupos TFBM Ativo e Placebo com 125,1J, 315J e 500J.	63
Tabela 5 – Análise da Força no Percentual (%) do tempo no Teste de Resistência Isométrico (TRI) com e sem FBM (Ativa ou Placebo), após aplicações imediatas das energias irradiadas (125,1 J, 315 J e 500J).....	64
Tabela 6: Análise da Frequência Mediana (Hz) no Percentual Temporal do Teste de Resistência Isométrico com Terapia de Fotobiomodulação Ativa ou Placebo, após aplicações imediatas das energias irradiada de 125,1 J, 315 J e 500 J.	65
Tabela 7 Análise da Frequência Mediana (Fmed) no TRI Máximo entre Basal e 100% (em Hertz e porcentagem).	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1. FADIGA MUSCULAR.....	17
2.2. ELETROMIOGRAFIA E ANÁLISE DA FADIGA MUSCULAR.....	23
3. FOTOBIMODULAÇÃO	30
3.1. Parâmetros Físicos da Fotobiomodulação de Baixa Potência.....	32
3.2. Fotobiomodulação no Rendimento Físico.....	32
4. OBJETIVO	53
4.1. OBJETIVO GERAL	53
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	53
5. MATERIAIS E MÉTODOS	54
5.1. Participantes.....	54
5.2. Procedimentos de randomização, cegamento e Controle por placebo	55
5.3. Teste de Resistência Isométrico.....	56
5.4. Análise da Eletromiografia de Superfície (EMGs), FORÇA MUSCULAR e Tempo de Fadiga.....	58
5.5. Energias da FBM.....	59
6. Análise Estatística.....	62
7. RESULTADOS.....	63
8. DISCUSSÃO.....	67
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
10. CONCLUSÃO.....	73
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
12. ANEXOS I.....	88
12.1 ANEXOS II.....	89
13. APÊNDICE A.....	92

1 INTRODUÇÃO

O envelhecimento é um processo biológico que envolve mudanças progressivas nas funções fisiológicas ao longo do tempo, marcada pelo acúmulo de danos celulares e moleculares, que diminui a capacidade do organismo em manter a homeostase e resistir ao estresse; fatores genéticos, epigenéticos e ambientais influenciam nesses processos (OMS, 2015). A partir dos 30 anos, ocorre uma redução gradual da massa muscular, que acelera após os 60 anos, comprometendo a mobilidade dos idosos. A prevalência de sarcopenia aumenta com a idade, afetando entre 5% a 13% de pessoas com mais de 60 anos e até 50% com mais de 80 anos. Cerca de 200 milhões de pessoas sofrem de sarcopenia no mundo, um número que deve crescer à medida que a população envelhece (Cruz-Jentoft et al., 2019).

À medida que a população global envelhece, a perda da independência funcional relacionada à idade aumenta e está associada a condições crônicas e insidiosas que podem afetar negativamente os sistemas neuromuscular e cardiovascular (Taylor et al., 2023). Essas alterações levam à perda progressiva de massa muscular, força, capacidade aeróbica e, eventualmente, a função física. Os déficits funcionais podem prejudicar a capacidade de um indivíduo de realizar atividades da vida diária e colocá-lo abaixo do limiar de dependência funcional (O'Connor et al., 2018).

Programas de exercícios resistidos podem aumentar a força muscular em 60% a 80% dos idosos e retardar a perda de massa muscular em cerca de 1% ao ano, segundo o European Working Group on Sarcopenia in Older People (Cruz-Jentoft et al., 2019).

No Brasil, em 2019, cerca de metade dos adultos não atingiram as recomendações mínimas de prática de atividade física (IBGE, 2020). A prática insuficiente de atividade física esteve relacionada a mais de 800 mil óbitos no mundo em 2019 e configura-se como uma das principais causas de perda de anos de vida saudáveis. (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2019).

Em seu estudo Justine et al., (2013) analisaram dados sobre barreiras internas e externas para a prática de atividades físicas entre pessoas da meia-idade e idosos, sendo um cenário interessante e complexo, com motivações ou dificuldades para se envolver em atividades físicas são semelhantes. As barreiras externas incluem, 'tempo insuficiente' (46,7% vs. 48,4%), 'ninguém para se exercitar' (40,0% vs. 28,3%) e 'falta de instalações' (33,4% vs. 35,0%). Em indivíduos de meia-idade as barreias internas foram "muito cansados" (48,3%), "já ativo o suficiente" (38,3%), "não sabe como fazer" (36,7%) e

"muito preguiçoso" (36,7%), enquanto para os idosos foram "muito cansados" (51,7%), "falta de motivação" (38,4%) e "já ativo o suficiente" (38,4 %).

Embora essa queda nos níveis de atividade possa em parte estar ligada a fatores como falta de interesse, tempo, condições financeiras, lugares adequados para prática de atividade física e pessoas para ajudar a realizar a atividade física, muitos indivíduos idosos geralmente não podem se exercitar devido à incapacidade física e comorbidades subjacentes, como doenças crônicas, dores e fadiga muscular (OMS. 2020).

Esses fatores limitantes destacam a necessidade de alternativas que melhorem o exercício voluntário para reduzir os déficits funcionais associados à idade e ao sedentarismo. Alguns recursos para biomodulação das condições clínicas dos idosos, como suplementação alimentar (Ailioaie et al.,2021) e terapêuticas farmacológicas como anti-inflamatórios (Tomazoni et al., 2017;), e anabolizantes esteróides (Nogueira et al,2012); são utilizadas para estimular a prática do exercício físico. Nos últimos anos alguns recursos físicos não-invasivos, como eletroestimuladores neuromusculares (Cullen et al.,2021) e fotobiomodulação (FBM) de baixa potência (Vanin, et al.,2018) vem sendo usados para otimizar o rendimento físico e prevenir a fadiga muscular.

Nesse contexto, estudos têm demonstrado que a Terapia de FBM (TFBM) pode limitar o dano muscular induzido pelo exercício, melhorando a recuperação bioquímica e funcional, reduzindo a inflamação e o estresse oxidativo (Bagnato, 2014). Fritsch et al., (2019) retratam o impacto da fotobiomodulação na contração muscular como objeto de estudo recente, evidenciando sua capacidade de reduzir a fadiga muscular e melhorar o desempenho muscular. A TFBM funciona através da absorção de fótons por cromóforos naturalmente presentes no corpo, impactando tanto a membrana celular quanto a mitocôndria. Na membrana celular, os cromóforos ligados à membrana atuam como fotossensibilizadores, causando mudanças na permeabilidade e nos mecanismos de transporte, resultando em alterações intracelulares no pH, facilitando a excitabilidade da membrana. Na mitocôndria, os fótons são absorvidos por citocromos, especialmente o citocromo C oxidase, o que desencadeia respostas fisiológicas, como a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO), aumento na taxa de ATP e síntese proteica (Silveira et al., 2009; Rola et al., 2014). Estudos subsequentes, tanto em modelos animais (Falcai et al, 2010; de Almeida et al, 2011; Corazza et al., 2013; Souza, et al.,2016; Simunovic et al.,2000), quanto em seres humanos (Leal Junior et al., 2008; Paolillo et al., 2013, de Brito Vieira. et al.,2014, Ferraresi et al., 2015, Ferraresi. et al.,2016, Clijsen. et al,2017 Rossato et al.,2018, Jówko et al.,2019, Cunha et al., 2020, de Paula Gomes et

al.,2020, Dalmolin et al.,2021, Oliveira et al.,2022) corroboraram esses achados, destacando melhorias no desempenho físico em diversos protocolos de exercícios. Os benefícios agudos da TFBM demonstraram atenuar marcadores de dano muscular, como dor muscular tardia e aumento da capacidade de produção de força (Jówko et al., 2019). Essa capacidade de acelerar a recuperação pós-exercício reforça a perspectiva da fototerapia como um agente promissor na otimização do desempenho físico (Oliveira et al., 2022) e na regeneração muscular (Paolillo et al., 2013). Almeida et al. (2011) indicaram que uma aplicação crônica de fotobiomodulação associada ao treinamento de força pode potencializar os ganhos de força e espessura muscular. A TFBM, quando aplicada antes (Rossato et al., 2018), durante (Paolillo et al.,2013), ou depois (Corazza et al., 2013), do treinamento, contribuem para maximizar o rendimento durante o exercício físico. Embora a fotobiomodulação tenha demonstrado efeitos positivos nos estudos citados, Medeiro (2019) não encontrou respostas na otimização a recuperação da flexibilidade ou força muscular e não acelerou o retorno ao esporte, sendo necessário investigações mais aprofundadas para estabelecer os parâmetros físicos ideais para a dose adequada na janela terapêutica. A fotobiomodulação emerge como uma terapia promissora na prevenção da fadiga muscular (Leal Junior et al., 2009), otimização do desempenho muscular (Oliveira. et al,(2022), recuperação pós-exercício (Vanin et al.,2018) e potencialização dos ganhos de treinamento de força (Ferraresi et al., 2016).

A compreensão dos mecanismos de ação e da identificação de parâmetros ideais da dose da luz terapêutica por meio de Laser e LED de Baixa Potência, especialmente em questões específicas, são essenciais para consolidar sua eficácia clínica e potencializar seus benefícios terapêuticos em idosos. Nesse sentido, o presente estudo analisa a eficiência de três níveis de energia fotobiomoduladora para otimizar o desempenho físico e prevenir a fadiga muscular em idosas submetidas a contração voluntária isométrica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FADIGA MUSCULAR

De acordo com Weineck (1999), a fadiga é a redução reversível da capacidade no rendimento físico ou psicológico. A fadiga muscular pode ser definida como a incapacidade temporária de um músculo ou grupo muscular de manter um desempenho esperado, resultando em uma redução progressiva da força ou potência gerada. Esse fenômeno é multifatorial, envolvendo alterações fisiológicas e bioquímicas que afetam o sistema nervoso central e/ou o músculo esquelético, dependendo da natureza da atividade e da intensidade do esforço. (Allen et al., 2008)

Diferente do esgotamento, a fadiga ainda permite a realização de atividades, embora com um gasto energético maior e comprometimento da coordenação. A contração muscular voluntária compreende-se como um processo que vai do cérebro para todo o corpo, portanto, a fadiga pode estar relacionada a vários mecanismos que envolvam o Sistema Nervoso Central (SNC), ao metabolismo e ao aumento de subprodutos no músculo (Kirkendall, 1990).

A fadiga muscular consiste na incapacidade do músculo esquelético em gerar ou manter níveis de força ou potência durante o exercício prolongado e intenso. Taylor et al. (2016) sugerem que, após exercícios exaustivos, a fadiga funcione como um mecanismo de defesa contra possíveis efeitos deletérios à integridade da fibra muscular esquelética, prevenindo lesões esportivas.

As manifestações da fadiga incluem o declínio da força muscular gerada durante e após exercícios, a incapacidade de manter uma determinada intensidade de exercício, a diminuição da velocidade de contração e o aumento do tempo de relaxamento muscular (Allen et al., 2008).

Outros fatores que contribuem para causar fadiga muscular incluem alterações no pH, temperatura, fluxo sanguíneo, e acúmulo de produtos metabólicos como adenosina difosfato (ADP), adenosina monofosfato (AMP), inosinato nucleotídeos (IMP), piruvato (Pi) e amônia. A perda da homeostasia do íon cálcio (Ca^{2+}), as mudanças na cinética de íons como potássio (K^+), sódio (Na^+), cloro (Cl^-), magnésio (Mg^{2+}), lesões musculares induzidas por contrações excêntricas e o estresse oxidativo também são fatores mencionados na fadiga muscular (Ascensão et al., 2003).

O cálcio (Ca^{2+}) no músculo esquelético é crucial para a contração, sendo regulado pelo retículo sarcoplasmático. Durante a fadiga muscular, ocorrem redução na liberação

e recaptura de Ca^{2+} . O retículo sarcoplasmático libera menos cálcio devido ao acúmulo de fosfato inorgânico e disfunção dos receptores de rianodina. Além disso, as bombas de cálcio, dependentes de ATP, têm eficiência reduzida, prejudicando a recaptura e atrasando o relaxamento muscular. (Marco et al., 2017)

A diminuição da sensibilidade ao cálcio, o acúmulo de íons de hidrogênio e outras alterações químicas contidas na camada de troponina C pelo cálcio, resultam em menor força contrátil com os mesmos níveis de cálcio.

A mudança na produção de força muscular resulta de alterações no processo de excitação, contração e relaxamento, permitindo a divisão da fadiga em central e periférica. Essa divisão entre fadiga central e periférica reflete a complexidade dos mecanismos envolvidos na redução do desempenho muscular durante e após o exercício. (Ferreira et al., 2011).

A fadiga central afeta a parte da estímulo neural da contração muscular, enquanto a fadiga periférica se refere à deterioração dos processos bioquímicos e contráteis do músculo (Giannesini et al., 2003).

A fadiga central caracteriza-se pela falha no sistema nervoso central (SNC) em manter o recrutamento de unidades motoras e a frequência de disparo dos motoneurônios, o que limita a capacidade de contração muscular. Esse tipo de fadiga ocorre devido à incapacidade do SNC em sustentar a geração de impulso neural. Fatores incluem diminuição na taxa de disparo cortical, alterações nos neurotransmissores e aumento da percepção de esforço. A fadiga central é particularmente relevante em exercícios prolongados e de alta intensidade. (Allen et al., 2008)

A fadiga periférica envolve processos locais na inervação, nas junções neuromusculares e nos músculos. Os principais mecanismos incluem acúmulo de metabólitos, depleção de glicogênio e alterações na homeostase do cálcio (Sundberg et al., 2019)

A fadiga periférica pode ocorrer em baixa frequência (FBF) ou alta frequência (FAF) do impulso neural. A FBF manifesta-se por uma redução da força gerada nas frequências baixas do impulso neural (10-30 Hz), com recuperação lenta e persistência de sinais de fadiga mesmo após o término do exercício, sem distúrbios elétricos ou metabólicos significativos (Giannesini et al., 2003). A recuperação dessa fadiga está relacionada com a regeneração proteica e reparos musculares. Em contraste, a FAF é especificada pela redução de força em estimulações de alta frequência (50-100 Hz),

associada a alterações no potencial de ação e acúmulo de íons Na^+ e K^+ , com recuperação rápida através do restabelecimento da homeostase iônica.

A falta de substratos energéticos durante o exercício físico pode ser um fator limitante para a manutenção da atividade muscular. A diminuição na liberação de Ca^{2+} pelo retículo sarcoplasmático envolve a força gerada pela fibra muscular, sendo um mecanismo intracelular central para o desenvolvimento da fadiga (Weineck, 1999; Ascensão et al., 2003; McArdle et al., 2018).

O processo de contração muscular, mediado pela interação entre a miosina e a actina, é fundamental para a execução de movimentos no corpo humano (Ferreira, 2005).

Mansour (2019), descreve que as unidades motoras são formadas por centenas ou milhares de fibras musculares e que cada fibra muscular é inervada por um neurônio motor específico que varia em tamanho, mielinização e velocidade de condução nervosa. Tipicamente, as fibras musculares do tipo I, que são oxidativas e resistentes à fadiga, são inervadas por neurônios com axônios de pequeno diâmetro, constituindo pequenas unidades motoras. Em contraste, fibras do tipo II, que são mais fatigáveis, porém produzem maior nível de força, são inervadas por axônios com grande diâmetro e constituem unidades motoras rápidas.

Existem, ainda, subtipos de fibras rápidas: IIa, IIb e IId. A fibra IIa é uma fibra rápida intermediária, possuindo potencial moderadamente desenvolvido para geração de força, utilizando tanto o metabolismo oxidativo como o glicolítico para a produção de energia durante a contração muscular, sendo rápida, porém com certa resistência à fadiga. A fibra IIb utiliza predominantemente o metabolismo glicolítico para a produção de energia, sendo mais rápida, porém mais fatigável que a IIa. As fibras do Tipo II têm alta frequência e condução rápida, proporcionando uma rápida geração de força em atividades de alta intensidade. As fibras do Tipo I têm baixa frequência e condução lenta, favorecendo a resistência e a eficiência energética em atividades de baixa intensidade e longa duração. (Bottinelli et al., 2000) (Figura 1).

O envelhecimento promove alterações significativas nas fibras musculares, especialmente a redução das fibras do tipo II, que são responsáveis por contrações rápidas e explosivas. Essa redução das fibras brancas ocorre devido diminuição da atividade contrátil, redução seletiva e remodelamento de unidades motoras, além da diminuição do número de motoneurônios alfa, o que também reduz o número de UM, permitindo brotamentos colaterais, preferencialmente de motoneurônios do tipo I30, aumentando a incidência de fibras lentas (Lieber, 2002). Essa diminuição de fibras do tipo II limita a

força e a potência muscular, resultando em uma transição para um metabolismo mais dependente de vias oxidativas, que são associadas às fibras do tipo I. Essa mudança aumenta a carga sobre as mitocôndrias, que já enfrentam disfunções devido ao envelhecimento, comprometendo ainda mais a produção de energia. (Grevendonk et al.,2021), exarcebando os efeitos da sarcopenia. (Dao et al., 2020).

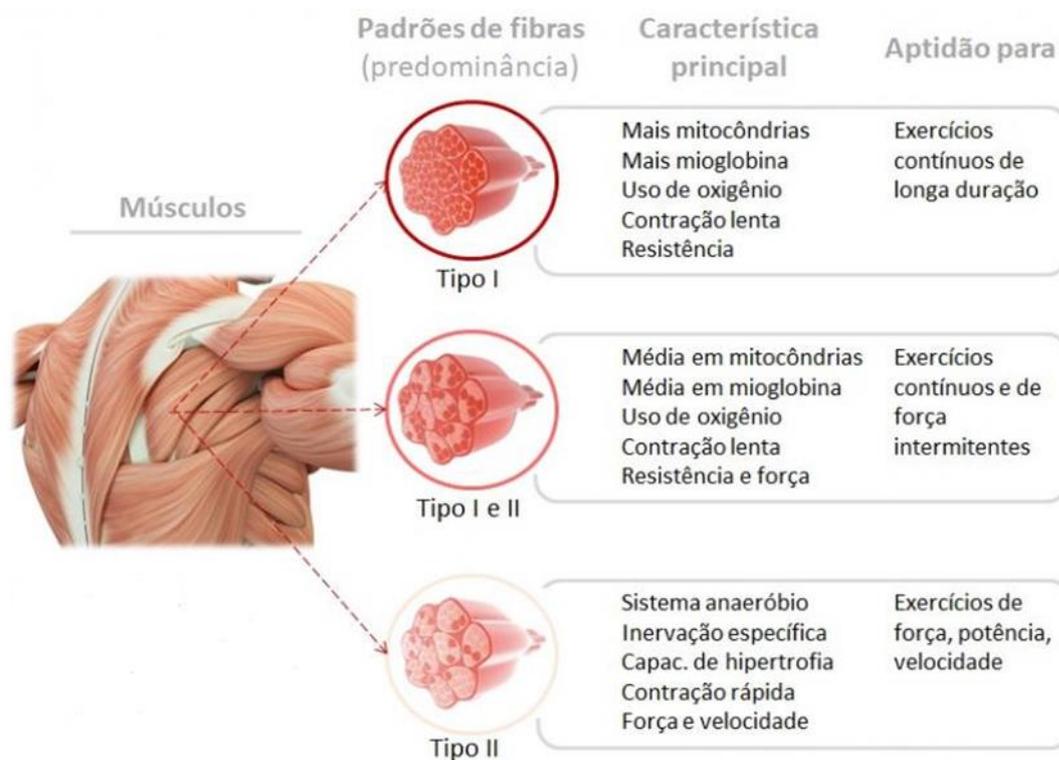


Figura 1- Tipo de fibras muscular

FONTE: <https://www.imparcial.com.br/assets/images/galeria/1647703581.jpg>

O envelhecimento promove alterações significativas nas fibras musculares, especialmente a redução das fibras do tipo II, que são responsáveis por contrações rápidas e explosivas. Essa redução das fibras brancas ocorre devido diminuição da atividade contrátil, redução seletiva e remodelamento de unidades motoras, além da diminuição do número de motoneurônios alfa, o que também reduz o número de UM, permitindo brotamentos colaterais, preferencialmente de motoneurônios do tipo I30, aumentando a incidência de fibras lentas (Lieber, 2002). Essa diminuição de fibras do tipo II limita a força e a potência muscular, resultando em uma transição para um metabolismo mais dependente de vias oxidativas, que são associadas às fibras do tipo I. Essa mudança aumenta a carga sobre as mitocôndrias, que já enfrentam disfunções devido ao

envelhecimento, comprometendo ainda mais a produção de energia. (Grevendonk et al.,2021), exarcebando os efeitos da sarcopenia. (Dao et al., 2020).

As mitocôndrias geram energia celular através da fosforilação oxidativa. Com o envelhecimento, a função mitocondrial diminui, afetando a capacidade respiratória e a biogênese mitocondrial. Essa redução está relacionada à menor expressão de proteínas reguladoras, como o PGC-1 α , além disso, o acúmulo de mutações no DNA mitocondrial e a diminuição da autofagia mitocondrial (mitofagia) altera a disfunção mitocondrial com o avanço da idade; essa manipulação é evidenciada pela redução na capacidade de recuperação da fosfocreatina e no consumo de oxigênio em idosos. (Herpich et al.,2021)

Segundo Allen et al. (2008), diversos métodos são usados para avaliar a fadiga muscular, incluindo testes de força isométrica, que medem o declínio da força gerada durante a contração muscular; a ressonância magnética, que analisa mudanças estruturais e metabólicas no músculo; a análise de metabólitos sanguíneos, que verifica os níveis de lactato e outras substâncias associadas ao metabolismo muscular; e a eletromiografia, que avalia a atividade elétrica muscular, identificando alterações na amplitude e frequência dos sinais.

Wan et al. (2017), descrevem os biomarcadores da fadiga muscular, com base nos mecanismos fisiológicos e nas alterações metabólicas que ocorrem durante esse fenômeno. O lactato, por exemplo, é um indicador crucial da acidose metabólica, sendo frequentemente medido durante e após exercícios intensos. Sua presença reflete a produção anaeróbica de energia, sinalizando o nível de esforço físico. Outro biomarcador importante é a amônia, cuja acumulação no sangue está associada à degradação das proteínas, podendo indicar desgaste muscular. Além disso, a hipoxantina serve como um marcador da degradação do ATP, sendo utilizada para avaliar o estresse metabólico.

Os biomarcadores de estresse oxidativo são desenvolvidos na peroxidação lipídica, sendo um dos principais indicadores desse tipo de estresse, resultando na formação de produtos que podem danificar as estruturas celulares. A peroxidação proteica, por sua vez, indica modificações nas proteínas causadas por radicais livres, o que pode comprometer a função muscular. A capacidade antioxidante do organismo também é fundamental, pois sua avaliação ajuda a entender a resposta ao estresse oxidativo durante a fadiga (Sun et al., 2022).

Segundo Powers et al. (2020), o estresse oxidativo ocorre devido ao desequilíbrio entre oxidantes e antioxidantes que é a capacidade do sistema antioxidante em neutralizá-los, podendo causar danos moleculares, incluindo oxidação de proteínas, lipídeos e DNA,

bem como perturbações nas vias de sinalização celular, mas também desempenhando funções importantes na sinalização celular e adaptação muscular. Durante o exercício, intenso e prolongado, há aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), provenientes de fontes mitocondriais e NADPH oxidases. Embora altos níveis de EROs causem fadiga, níveis moderados estimulam adaptações como maior capacidade antioxidante e biogênese mitocondrial. Os EROs podem melhorar a força muscular e promover adaptações ao treinamento, mas, em excesso, comprometem a produção de força e causam danos estruturais. Além disso, níveis moderados ativam vias de sinalização celular, como Nrf2 e PGC-1 α , essenciais para a biogênese mitocondrial e defesa antioxidante.

Os biomarcadores inflamatórios, como o TNF- α , ou fator de necrose tumoral alfa, é uma citocina associada a processos inflamatórios e pode ser um indicador de fadiga induzida pela inflamação. A contagem de leucócitos também é relevante, pois reflete a resposta imunológica e a presença de inflamação nos músculos. Além disso, citocinas como IL-6 e IL-1 β costumam ser aumentadas em condições de estresse, indicando sua relação com a fadiga muscular (Wan et al., 2017).

Segundo Petrella et al. (2005), a Eletromiografia (EMG) é considerada ótima metodologia na avaliação da atividade elétrica dos músculos durante a contração e para investigar a fadiga muscular. Essa ferramenta é utilizada para investigar os mecanismos neurais centrais e periféricos envolvidos na fadiga, bem como para monitorar o rendimento muscular em diferentes condições de esforço. (Salgado, 2015; Merletti e Paker, 2004).

Durante a contração muscular, ocorre a diminuição da frequência e o aumento da amplitude dos sinais, revelando a fadiga periférica. Além disso, a idade é um fator determinante para a fadiga muscular, sendo que indivíduos idosos fadigam mais rapidamente do que indivíduos jovens.

Hunter et al., (2016) demonstraram que a análise da coerência dos sinais EMG em idosos apresentavam maior coerência entre sinais neurais e musculares, refletindo alterações no controle motor e na sincronização neural ao longo do envelhecimento.

A fadiga muscular reflete alterações neurofisiológicas que podem ser captadas por EMG. Segundo Kallenberg et al. (2007), essas mudanças incluem o aumento da amplitude do sinal EMG e a redução das frequências espectrais características, fenômenos intimamente relacionados a adaptações neuromusculares durante contrações prolongadas. Esses padrões podem ser compreendidos pelo aumento no recrutamento de unidades

motoras, a redução da velocidade de condução das fibras musculares, e sincronização das unidades motoras.

A velocidade de condução muscular mede a propagação da despolarização ao longo da fibra, refletindo propriedades celulares e contráteis. Durante a fadiga, alterações metabólicas controladas pela velocidade de condução impactam nas variáveis da EMG, permitindo descrever e quantificar a fadiga muscular (Marco et al., 2017)

2.2 ELETROMIOGRAFIA E ANÁLISE DA FADIGA MUSCULAR

A eletromiografia (EMG) é uma técnica fundamental no estudo da fadiga muscular, permitindo a avaliação da atividade elétrica dos músculos durante a contração. Essa ferramenta é utilizada para investigar os mecanismos neurais e periféricos envolvidos na fadiga, bem como para monitorar a performance muscular em diferentes condições de esforço (Salgado, 2015; Basmajian e de Luca, 1985). Segundo Hermens et al. (2000), para garantir a precisão dos dados, o sistema de EMG deve incluir três fases principais, destacando a entrada, processamento e saída da informação.

Na fase de entrada, os sinais elétricos são captados por eletrodos de superfície ou intramusculares, que devem ser posicionados corretamente para minimizar interferências. Geralmente para análise da fadiga muscular, são eleitos eletrodos de superfície, sendo o eletrodo posicionado segundo as normativas do SENIAM, com eletrodos ativos de 1 cm de diâmetro na área circular condutiva, separados de centro a centro por 2 cm, sendo importante a fixação dos eletrodos com fita adesiva para evitar deslocamentos e interferências causadas pelo movimento (Merletti e Paker, 2004). Tanto Toma et al (2013) quanto Miranda et al. (2014) em seus estudos para análise eletromiográfica da fadiga muscular do músculo quadríceps femoral em participantes submetidos a terapia por fotobiomodulação antes do exercício físico, posicionaram o eletrodo ativo a 50% na linha da espinha ilíaca ântero-superior até a parte superior da patela no membro inferior dominante, segundo as normas do SENIAM, tão bem como realizaram a preparação da pele, incluindo raspagem, limpeza com álcool e secagem, para garantir um bom contato eletrodo-pele e reduzir interferências no sinal EMG.

A EMG permite a detecção de sinais elétricos gerados pelas unidades motoras durante a contração muscular (Clarys et al., 1993). Esses sinais podem ser analisados em termos de amplitude, frequência e padrões temporais, fornecendo informações sobre a ativação muscular, o recrutamento de unidades motoras e a sincronização das fibras musculares (Robinson, 2010).

A normalização de um sinal eletromiográfico é um processo essencial para garantir que os dados coletados sejam comparáveis entre diferentes sujeitos, músculos ou sessões de teste. O principal objetivo da normalização é reduzir a variabilidade interindividual e intraindividual, facilitando a interpretação dos dados (Konrad, 2006).

Marchetti et al.(2006) descreve as variáveis para normalização da amplitude do sinal EMG, sendo apresentadas a seguir:

Contração Isométrica Voluntária Máxima (CIVM): Este método utiliza o maior valor encontrado em uma contração isométrica máxima como referência para normalização, específico para o músculo.

Pico Máximo do Sinal EMG: Neste método, o valor é caracterizado pelo pico do sinal EMG encontrado no movimento ou ciclo estudado (método do pico dinâmico). Atribui-se 100% a este valor, normalizando todo o sinal EMG por ele.

Valor Médio do Sinal EMG: Este método utiliza o valor médio do sinal EMG da contração como referência para normalização (método da média dinâmica).

Valor Fixo do Sinal EMG: Neste método, um valor de referência é citado para normalização, como uma contração submáxima ou uma contração isométrica submáxima.

Na fase de processamento, os sinais captados são amplificados e filtrados para reduzir ruídos e melhorar a qualidade do registro EMG. Delacoste et al. (2018) focaram na duração da ativação muscular em protocolos de fadiga envolvendo contrações isocinéticas concêntricas e excêntricas, além da análise espectral, utilizando filtros de 60 - 500 Hz para a detecção de fadiga. Toma et al. (2013, 2016) aplicaram EMG de superfície para capturar sinais de alta densidade em exercícios de força, utilizando uma passagem-banda de 20–1000 Hz, para normalizar sinais do músculo quadríceps, taxa de entrada de 10 G, com um A/D de 12 bits com placa conversora e taxa de rejeição de 130 dB. Vassão et al. (2016, 2018) empregaram filtros na faixa de 20–1000 Hz para eliminar interferências em movimento dos idosos, com placa conversora A/D de 12 bits e taxa de rejeição de 130 dB. Das Neves et al. (2016), ao estudarem unidades motoras pós-AVC, utilizaram filtros na faixa de 20-400 Hz. Tucci et al. (2019), em sessões de treinamento de resistência do quadríceps femoral, aplicaram filtros em uma largura de frequência de 20-1000 Hz, com pré-amplificador de entrada 10 G, razão de rejeição de 130 dB e ganho de 20 vezes. Miranda et al. (2014), em análises técnicas para contração isométrica voluntária máxima (CIVM), adotaram filtros entre 20 e 400 Hz. Os sinais EMG também foram registrados com um pré-amplificador com ganho (1.000×), rejeição >85 dB.

Na fase de saída, os sinais processados são decodificados e visualizados graficamente para análise detalhada. A fadiga muscular, caracterizada pela diminuição progressiva da capacidade de gerar força ou potência, é um fenômeno multifatorial que envolve alterações no sistema nervoso central (fadiga central) e nos próprios músculos (fadiga periférica). A EMG fornece dados quantitativos que permitem analisar essas alterações. (Sundberg et al., 2019). Os dados quantitativos registrados pelos parâmetros como RMS, frequência mediana e amplitude são extraídos para avaliar a ativação muscular e a fadiga. O uso de protocolos padronizados, como os do SENIAM (Merletti e Paker, 2004), garante maior confiabilidade e reprodutibilidade na análise eletromiográfica, permitindo a obtenção de dados precisos para aplicações clínicas e científicas (Stegeman et al., 2007; Pernambuco, 2010).

O motoneurônio é um tipo de neurônio encontrado no sistema nervoso central, responsável pela transmissão de sinais nervosos para os músculos (Priego-Quesada et al., 2022). A atividade dos motoneurônios é crucial para a coordenação dos movimentos voluntários, a postura e o equilíbrio. Quando os motoneurônios estão danificados ou não funcionam corretamente, podem ocorrer distúrbios neuromusculares, como paralisia ou fraqueza muscular. Esses neurônios desempenham um papel fundamental no controle dos movimentos voluntários e na regulação das atividades (Salgado, 2015; Robinson, 2010).

Um sinal bruto da EMG é a representação elétrica da atividade muscular captada por eletrodos (Hendler, 2019). Esse sinal reflete a despolarização das fibras musculares durante a contração, apresentando variações em amplitude e frequência, que podem ser influenciadas por diversos fatores, como a intensidade da contração e a localização dos eletrodos.

Segunda Basmajian e de Luca (1985), os sinais EMG brutos passam por várias etapas de manipulação e análise para facilitar a interpretação. As principais etapas incluem a Retificação onde o sinal é retificado integralmente, ou seja, tanto as porções negativas quanto positivas do sinal bruto são convertidas para valores positivos, permitindo que a atividade muscular seja visualizada de forma mais clara em relação à linha de base. A Integração é nesta etapa, o sinal é matematicamente integrado, acumulando a energia elétrica em um capacitor ou condensador. Isso ajuda a quantificar a atividade elétrica ao longo do tempo. A Raiz da Média dos Quadrados (RMQ ou RMS) onde esta técnica calcula a média eletrônica que representa a raiz quadrada da média dos quadrados da corrente ou voltagem durante um ciclo. O valor RMS é útil para comparar a potência elétrica, pois indica a corrente contínua que produziria a mesma potência

dissipada em uma carga resistiva. O Espectros de Frequências (Análise de Fourier) onde esta análise examina a forma da onda da Unidade Motora, sendo especialmente útil para avaliar a fadiga muscular (Figura 4).

A EMG desempenha um papel importante na avaliação e no acompanhamento de pacientes com distúrbios neuromusculares, lesões esportivas e condições ortopédicas; têm sido investigados protocolos de reabilitação baseados em EMG e técnicas de biofeedback para melhorar os resultados clínicos (Robinson, 2010, Ocarino et al.,2005). A EMG tem contribuído para avanços na compreensão da fisiologia muscular, incluindo padrões de recrutamento de unidades motoras, coordenação muscular e adaptações neuromusculares ao treinamento físico e à atividade física (Manca et al.,2020).

Pesquisas indicam que contrações musculares sustentadas resultam em uma compressão na frequência da densidade espectral de potência (PSD) do sinal EMG antes que o músculo atinja a exaustão, revelando manifestações mioelétricas de fadiga muscular localizada (De Luca e Carlo, 1997). Entre as variáveis espectrais, a frequência média e a frequência mediana (Fmed) são consideradas o padrão-ouro na avaliação da fadiga muscular, especialmente durante contrações estáticas, onde o sinal é considerado estacionário (Scano et al., 2020, Konrad 2006). Geralmente, esse processo envolve a utilização da Transformada Rápida de Fourier (FFT) para determinar o espectro de frequências do sinal, a partir desse espectro, é possível obter a Análise de Densidade Espectral de Energia (PSD), que fornece informações mais detalhadas sobre a distribuição da energia do sinal em diferentes frequências (Konrad, 2006; Manca et al.,2020). De acordo com Salgado (2015), o PSD permite entender não apenas a distribuição da energia do sinal em diferentes frequências, mas também características específicas dessas frequências, como sua média, mediana e a largura do intervalo de frequências em que a energia do sinal está concentrada. As técnicas de análise espectral são comumente utilizadas para descrever as características das frequências do sinal EMG. Por exemplo, para sinais EMG de superfície, é observado que as frequências do espectro possuem uma média em torno de 120 Hz e uma mediana aproximadamente em 100 Hz. Essas informações são valiosas para entender a natureza do sinal EMG e podem fornecer argumento importantes sobre a atividade muscular subjacente. (Marchetti. et al,2006). Segundo Konrad (2006) a análise do sinal EMG é crucial na compreensão do comportamento dos músculos durante contrações e na identificação das alterações fisiológicas associadas ao desenvolvimento da fadiga, oferecendo um meio de analisar a atividade elétrica dos músculos durante exercícios dinâmicos e estáticos. Scano et al.,

(2020) esclarece que essa técnica permite a extração de alterações bioquímicas e fisiológicas no músculo e tem sido aplicada no monitoramento em tempo real da fadiga muscular. O sinal da EMG, apresenta mudanças ao longo do tempo antes da redução de força, o que possibilita o estudo da fadiga contrátil em condições isométricas, com potencial para prever seu início. Para análise da fadiga, estudos combinam a avaliação do domínio do tempo e do espectro de frequência da EMG. Métricas como valor absoluto médio (MAV) e raiz quadrada média (RMS) são comumente empregadas, embora as propriedades espectrais sejam consideradas superiores para a detecção da fadiga.

Tanto o valor médio quanto o valor mediano da frequência do sinal EMG oferecem vivacidade nesse contexto. Durante a fadiga, observa-se uma diminuição gradual desse valor, influenciada pela redução do impulso neural proveniente do sistema nervoso central, e por alterações nos próprios músculos, como a depleção de energia, o acúmulo de metabólitos e danos à estrutura contrátil, proveniente do sistema nervoso periférico (Salgado,2015). Miranda et al. (2014), analisaram a frequência mediana (Fmed) em seu estudo com terapia de LED antes do teste de esforço por resistência isométrica, demonstrando um declínio menor na Fmed pós-LEDT (pré: $96,02 \pm 2,20$ Hz; pós: $93,33 \pm 2,48$ Hz) em comparação ao grupo controle (placebo) (pré: $95,56 \pm 2,98$ Hz; pós: $89,73 \pm 2,58$ Hz), confirmando que diminuição de quatro pontos na Fmed é um indicativo da fadiga muscular, onde a LEDT parece ter um efeito protetor, minimizando a fadiga.

A redução no recrutamento de unidades motoras de alta potência, a despolarização incompleta das fibras musculares e as alterações na sincronização da ativação muscular são alguns dos mecanismos que contribuem para essa queda. Essa análise tem aplicações práticas, como monitoramento da fadiga durante exercícios físicos, avaliação da função muscular em distúrbios neuromusculares e estudo da biomecânica do movimento humano. Similarmente, o valor mediano do sinal EMG, que representa a amplitude que divide o sinal em duas metades de igual área, também diminui com o desenvolvimento da fadiga. Suas aplicações incluem a detecção precoce da fadiga, a análise em diferentes tipos de contrações musculares e o estudo da fadiga em grupos musculares específicos (Konrad, 2006).

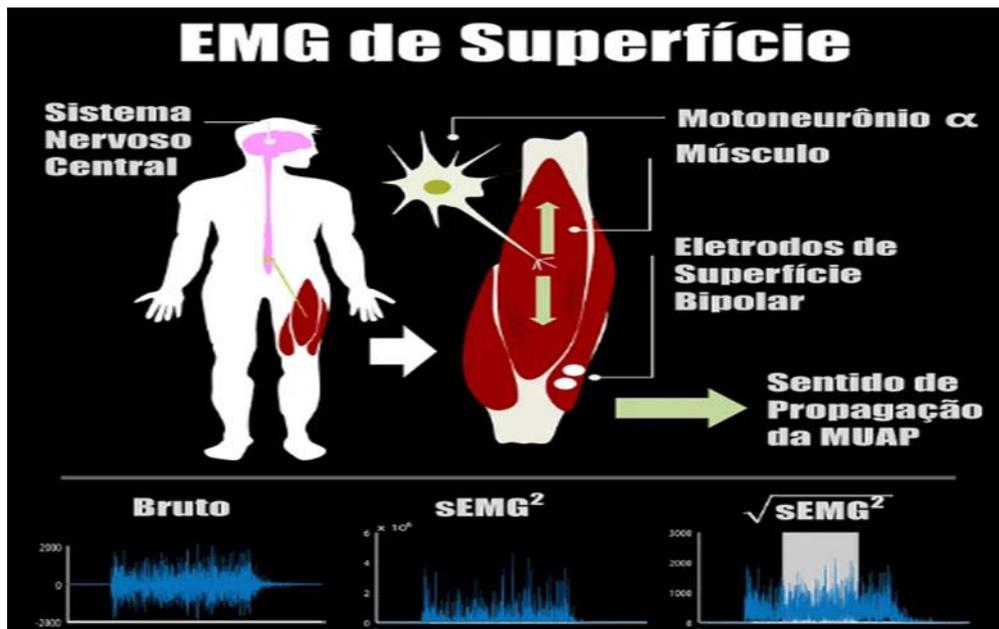


Figura 2 - EMG de superfície, descrever que o sinal originalmente coletado é bruto, apresentando espectros positivos e negativos, sendo depois tratados para melhor interpretação do sinal EMG, por isso se analisa pela raiz quadrada das médias dos quadrados.

Fonte: https://miro.medium.com/v2/resize:fit:720/format:webp/1*cSTU0I27C8kvrfh-Wb2uPg.jpeg

Durante a fadiga, ocorrem mudanças significativas nesses parâmetros, como o aumento da amplitude do sinal EMG (devido ao recrutamento de várias unidades motoras para compensar a perda de força) e a diminuição da frequência mediana do sinal (associada à redução da velocidade de condução das fibras musculares e ao acúmulo de metabólitos como o lactato e íons de hidrogênio) (De Luca e Carlo., 1997).

Em nossa revisão de estudos que utilizaram FBM e EMG (tabela1), Delacoste et al. (2018) observaram um aumento da atividade muscular nos músculos reto femoral e vasto medial, em exercício em cadeira isocinética com um dinamômetro, fazendo 50 repetições ou até a fadiga, uma vez que a contração muscular máxima foi estimulada. Os grupos relataram fadiga nas coxas e mostraram maior ativação muscular, sem diminuição da fadiga com TFBM com comprimento de onda de 850nm e energia total de 180J.

Toma et al. (2013), utilizando exercício de contrações isotônicas voluntárias de flexo-extensão de perna, em contração isométrica, sendo coletado a EMG em 3 estágios (0s a 3s de 15s a 18s e de 27s a 30s). A TFBM com 56 J de energia total aplicada no músculo quadríceps femoral não promoveu resultados positivos na diminuição da fadiga muscular ao usar os valores da frequência mediana da EMG, mas alcançaram valores maiores para o número de repetições do exercício. Toma et al. (2016) usaram a transformada rápida de Fourier para obter os valores da frequência mediana da EMG e

não observaram redução da fadiga nos grupos avaliados, porém tiveram respostas positivas no maior pico de torque e potência, aumentando a carga de 1RM usando FBM 808nm com um total de 56J.

Vassão et al. (2015) coletaram o sinal da EMG a partir de 60 repetições divididas em duas partes: as 20 primeiras repetições e as 20 últimas repetições, obtendo a frequência mediana para calcular a fadiga muscular. Com a TFBM irradiando 56 J de energia total, foi possível reduzir a fadiga muscular por um aumento significativo do índice de fadiga eletromiográfica e diminuição da concentração de lactato após 6 minutos, mas sem obter melhora do desempenho muscular analisado por meio do torque.

Das Neves et al. (2016), em exercício de CVM por 50 segundos, coletaram o sinal EMG para avaliar o índice de fadiga, coletando os 5 primeiros segundos e o 5 últimos segundo, no musculo reto femoral e vasto medial. Usando a TFBM com energia total de 120 J, observaram um aumento do tempo para o início da fadiga e aumento do pico de torque, mas não houve diferença na RMS (raiz quadrada das médias) da EMG, indicando que a FBM pode induzir um aumento do recrutamento das fibras musculares para aumentar o tempo do início da fadiga, diminuindo a dor muscular.

Tucci et al. (2019) coletaram o sinal da EMG através da CIVM em exercício de flexão e extensão total do joelho por 30 segundos, com protocolo EMG semelhante de Toma et al.,(2023) obtendo a frequência mediana para analisar a fadiga muscular. Com TFBM total de 112 J de energia empregada, foi possível contribuir para o aumento do recrutamento de fibras musculares, conseqüentemente melhorando o tempo de início da fadiga.

Já Miranda et al. (2014), utilizando CIVM, com eletrodos posicionados no músculo reto femoral e teste de resistência isométrica de 60% a 20% da carga isométrica voluntária máxima para análise da EMG, com a coleta EMG no Basal (primeiro segundo) e em 25%, 50%, 75%, e 100% do tempo alcançado. Foi utilizada a transformada de Fourier de curto prazo para achar a frequência mediana, sendo aplicada TFBM com energia total de 125,1 J, conquistando um tempo de resistência elevado, indicando que a FBM foi decisiva para esse resultado.

3 FOTOBIMODULAÇÃO

A Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação (LASER) foi teorizada por Einstein em 1917 e baseia-se na emissão de fótons organizados no espectro eletromagnético, permitindo a terapia por radiação não ionizante (Figura 3). O fóton, ao estimular um átomo excitado, gera outro fóton idêntico sem alterar o estado atômico das células, evitando riscos de carcinogênese (Ferraresi et al., 2014)

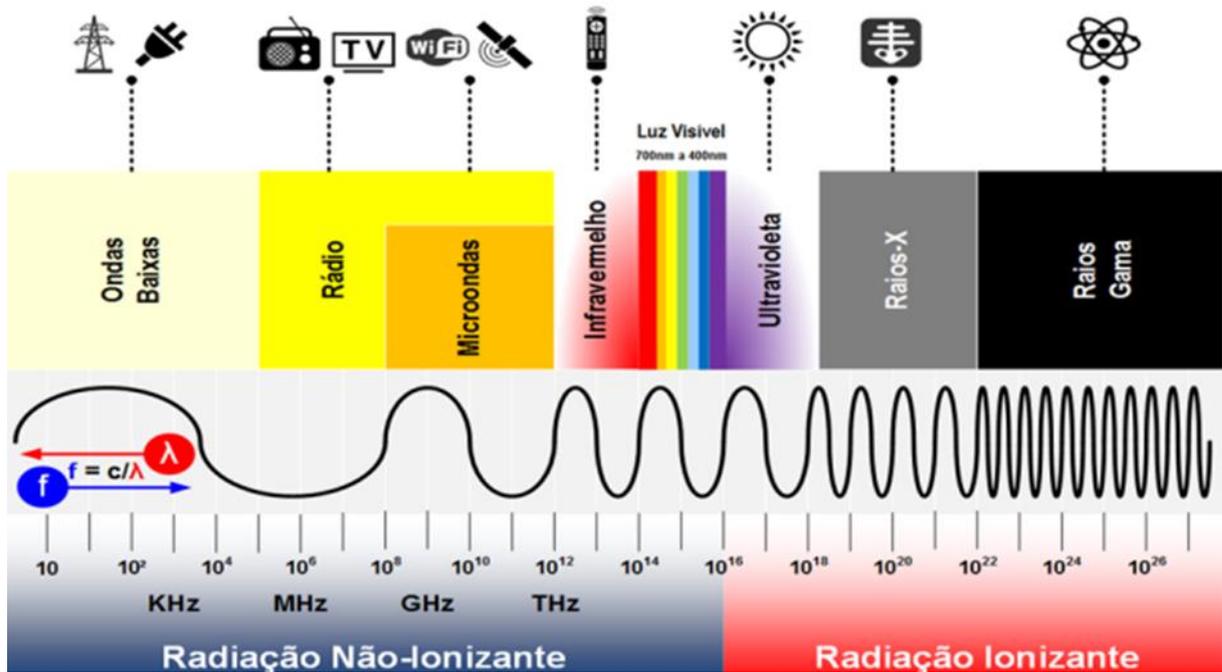


Figura 3 - Radiações Ionizantes e Não-Ionizantes

Fonte: <http://labcisico.blogspot.com>

A colimação e coerência (figura 4) desses fótons garantem propriedades ópticas únicas, sendo a energia diretamente proporcional à frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda (Antonio, 2018; Laurenti, 2023) (Figura 3).

Os sistemas de laser incluem quatro componentes essenciais: meio excitante, fonte de energia, cavidade óptica e sistema de entrega. A inversão da polarização é fundamental para a emissão estimulada, favorecendo a coerência e colimação do feixe (Pinheiros et al., 2017). A luz laser diferencia-se por ser monocromática, consistente e altamente colimada, permitindo aplicações precisas como a fotobiomodulação (Resende, 2016; Antônio, 2018). Além disso, os lasers podem ser contínuos ou pulsados, oferecendo variações na densidade de potência e na penetração tecidual (Pinheiros et al., 2017; Antônio, 2018).

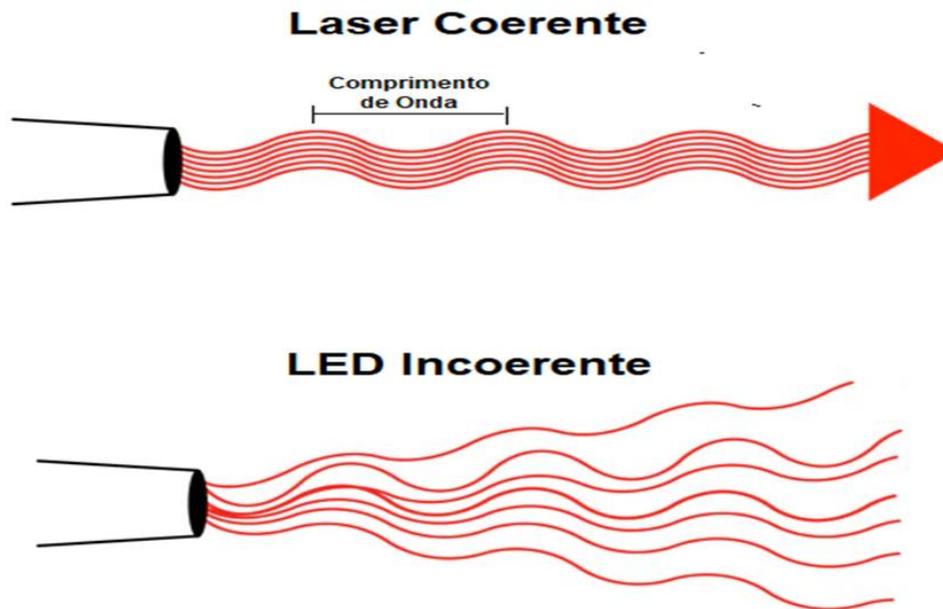


Figura 4- Propriedades Físicas da Luz Laser e LED

FONTE: <https://www.miridiatech.com/news/2014/02/laser-vs-led-whats-the-difference/>

Por outro lado, os LEDs (Light Emitir Diodes) apresentam um mecanismo de emissão distinto, não baseado na amplificação por emissão estimulada. Seu uso na TFBM ganhou destaque devido aos efeitos positivos no reparo tecidual (Corazza et al., 2006), recuperação muscular (Leal Junior et al., 2015), analgesia (Cotler et al., 2015) e melhoria do desempenho muscular (Lanferdini et al., 2023). Estudos sugerem que, quando usados com os mesmos parâmetros de comprimento de onda e intensidade, os efeitos biológicos fotocromicos do LED podem ser comparáveis aos do laser, devido à absorção pela citocromo-C-oxidase mitocondrial (Bagnato et al., 2014; Pinheiros et al., 2017).

Enquanto os LEDs possuem menor custo e irradiam áreas maiores, os lasers oferecem maior colimação e coerência (Figura 4), características essenciais para a formação do *speckle*, princípio físico que contribui para a fotobioestimulação (Antônio, 2018). A distribuição de energia dos LEDs ocorre em uma faixa espectral mais ampla, interagindo com diferentes fotorreceptores, enquanto os lasers possuem maior concentração de fluência em uma faixa específica do comprimento de onda (Corazza et al., 2006). Apesar dessas diferenças, ambos apresentam ação biomoduladora relevante em tecidos biológicos, visto que a coerência e colimação da luz são reduzidas ao passar pela pele humana (Bagnato et al., 2014).

3.1 PARÂMETROS FÍSICOS DA FOTOBIMODULAÇÃO DE BAIXA POTÊNCIA

A TFBM requer a manipulação de parâmetros fundamentais que influenciam diretamente sua eficácia terapêutica. Entre esses parâmetros, destacam-se a potência, energia, densidade de potência, densidade de energia, área de irradiação e comprimento de onda (Enwemeka, 2009). A potência, expressa em watts (W) ou joules por segundo (J/s), representa a quantidade de energia fornecida por unidade de tempo, sendo independente da duração do tratamento para uma determinada área. Nesse contexto, cada fóton pode ser entendido como um pacote de energia capaz de estimular células-alvo, de modo que dispositivos de maior potência fornecem a mesma energia em menor tempo (Laakso et al., 1993).

A energia irradiada, ou dose, é um dos principais parâmetros para a aplicação da fotobiomodulação nos tecidos corpóreos (Huang et al., 2011), sendo calculado por:

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

Já a densidade de energia, ou fluência, refere-se à energia total fornecida ao tecido por unidade de área e pode ser determinada pela expressão:

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

A área de irradiação é descrita como a área de secção transversa do spot, também chamada de área de irradiação efetiva (Enwemeka, 2009). Por fim, o comprimento de onda, que se refere à distância entre dois picos ou vales do feixe luminoso, é um parâmetro crucial na irradiação laser, pois a penetração nos tecidos (Figura 5) depende dessa propriedade (Enwemeka, 2009; Huang et al., 2011).

3.2 FOTOBIMODULAÇÃO NO RENDIMENTO FÍSICO.

Os princípios da terapia fotobiomoduladora no reparo dos tecidos corpóreos e na analgesia são estudados desde o desenvolvimento do primeiro laser a rubi, com estudos publicados há mais de 60 anos (Low e Reed, 2001). Em relação a fotobiomodulação para o rendimento físico a literatura reporta início em meados dos anos 2000. A partir dessas premissas houve uma pesquisa avançada de revisão da literatura aplicando a seguinte lógica booleana: “(Physical Exercise”) AND (“Photobiomodulation”) AND (“LASER”) AND (“LED”). A revisão da literatura foi na base de dados Scopus, Web of Science e PubMed, sem limite de data para a pesquisa. Os estudos foram divididos em 3 tabelas, sendo um título composto por atletas, adultos praticantes de atividade física e adultos sedentários - idosos. Para auxiliar na interpretação das respostas fotobiomoduladoras os

33 estudos científicos incluídos na revisão da literatura foram categorizados por tipo de luz e aplicador, método de aplicação, parâmetros técnicos (energia, potência e comprimento de onda) e resultados obtidos (tabela 1). A revisão da literatura é importante para definir os parâmetros físicos das tecnologias FBM, com o objetivo de selecionar as janelas terapêuticas ideais para otimizar o rendimento físico em idosos praticantes de exercício físico.

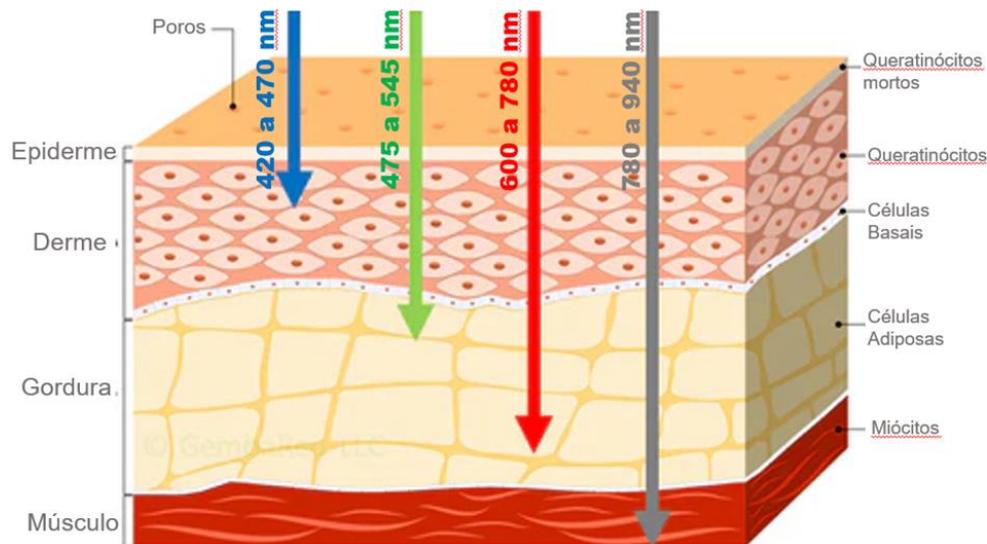


Figura 5- Profundidade de Penetração dos Comprimentos de Onda das Luzes Terapêuticas

FONTE: <https://gembarred.com/blogs/musings/how-deep-does-red-and-near-infrared-wavelengths-penetrate-into-the-body-marketing-vs-science>

A TFBM tem se consolidado como uma ferramenta ergogênica eficaz na otimização do desempenho muscular e na aceleração da recuperação pós-exercício (Vanin et al., 2018). Estudos demonstram que seus efeitos são mediados pela modulação de processos bioquímicos e fisiológicos, promovendo aumento da capacidade de produção de ATP mitocondrial, ressíntese de fosfocreatina e redução da fadiga muscular (De Almeida et al., 2012; Santos Maciel et al., 2014; Leal Junior, 2015; Miranda et al., 2014; Lanferdini et al., 2018).

A fadiga muscular central é atenuada devido a absorção da luz pelos cromóforos dos neurônios, contido nos axônios, com isso potencializa condução neuronal. A TFBM pode tornar os neurônios mais responsivos a estímulos, modificando a expressão e funcionalidade dos canais de sódio e potássio, tornando a despolarização axonal mais eficiente, com possibilidade de potencializar a comunicação entre os neurônios motores e as fibras musculares (Giannesini et al., 2003). Zhang et al. (2024) retrata que a TFBM

impacta os potenciais de ação dos neurônios por meio do aumento da função mitocondrial, regulação da atividade dos canais iônicos e neuroproteção, indicando que a TFBM modula canais como receptores de glutamato, receptor de Acetilcolina, canais de potássio, sódio; ajustando a dinâmica da membrana neuronal e modulando a propagação dos sinais elétricos influenciando a iniciação e propagação de potenciais de ação.

A fadiga muscular periférica, ocorre devido à diminuição da disponibilidade de fosfocreatina e glicogênio, aumento de metabólitos como ADP e lactato, e aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) (Allen et al., 2008; Westerblad et al., 2010). A absorção de fótons pela mitocôndria, especialmente pelo citocromo C oxidase, desencadeia a modulação da produção de ERO, aumento da síntese proteica e da taxa de produção de ATP (Silveira et al., 2009; Rola et al., 2014).

A literatura sugere que a TFBM melhora o desempenho em exercícios de curta duração e alta intensidade ao favorecer a ressíntese de fosfocreatina e aumentar a oxidação do lactato (Ferraresi et al., 2012; Vieira et al., 2012). Ademais, a biogênese mitocondrial estimulada pela TFBM promove uma maior capacidade oxidativa, favorecendo a adaptação ao treinamento aeróbio (Coffey et al., 2007). A eficiência da TFBM está diretamente relacionada à escolha adequada dos parâmetros físicos (Leal Junior et al., 2008).

Na presente revisão da literatura foi possível identificar que a aplicação pré-exercício é a mais eficaz, resultando em redução da fadiga e aumento da força e torque muscular (Rossato et al., 2018; Jówko et al., 2019). A recuperação muscular também é beneficiada pela TFBM, conforme evidenciado pela redução dos níveis de lactato e de creatina quinase (Ferraresi et al., 2016; Leal Junior et al., 2009). A aplicação da TFBM modula ainda a atividade da bomba de Na^+/K^+ , contribuindo para a regulação iônica intracelular e prevenindo o desequilíbrio eletrolítico relacionado à fadiga (Ferraresi et al., 2012).

Nas análises revisadas nesse estudo, as 28 pesquisas incluídas revelam padrões metodológicos consistentes na aplicação da fotobiomodulação (FBM) para desempenho físico e recuperação muscular (tabela 1). Os dados demonstram uma preferência pela aplicação de contato direto (81,5%, n=22), seguida pelo método pontual (74%, n=20), sendo que a técnica de varredura não foi registrada em nenhum dos estudos avaliados. Esta predominância sugere que a eficácia da FBM está intrinsecamente relacionada à proximidade física entre o emissor e o tecido-alvo, provavelmente devido à otimização

da transferência energética e ao aumento da absorção fotônica pelas estruturas celulares (Bagnato et al., 2014; Pinheiros et al., 2017).

Quanto à ordem de aplicação, a maioria dos estudos (66,7%; n=18) administraram a FBM antes do exercício, enquanto 33,3% (n=9) a aplicaram no período pós-exercício, e apenas 14,8% (n=4) avaliaram protocolos durante a atividade física (tabela1). Essa distribuição temporal sugere uma estratégia predominante de preparação tecidual prévia, visando à otimização do desempenho e ao retardo da fadiga muscular (Toma et al., 2013; Vassão et al., 2016).

A aplicação pré-exercício da FBM está associada à melhora da disponibilidade energética e à atenuação da fadiga, enquanto a aplicação pós-exercício favorece a recuperação tecidual e a redução de processos inflamatórios. Contudo, estudos como os de Ferraresi et al. (2016) e Leal Junior et al. (2008) demonstraram que a aplicação pós-exercício também pode promover benefícios significativos, particularmente na remoção acelerada de metabólitos e na redução de marcadores de dano muscular. Esses achados indicam que o momento de aplicação influencia mecanismos fisiológicos distintos

A análise dos dispositivos utilizados revela que os dispositivos de irradiação do tipo *Cluster* (conjunto / chuveiro de Laser e/ou LEDs) (48,1%, n=13) foram os mais prevalentes, seguidos pelas canetas laser (22,2%, n=6) e mantas/matrizes (18,5%, n=5) (tabela 1). Os Clusters demonstraram particular versatilidade, sendo empregados tanto em protocolos de contato direto quanto em aplicações sem contato, enquanto as canetas laser mostraram-se mais associadas a métodos pontuais de contato, com alta precisão. Já as Matrizes / Mantas destacaram-se em contextos que demandavam cobertura tecidual ampliada, como nos protocolos de longa duração durante o exercício Paolillo et al. (2013).

Estas diferenças parecem refletir distintos princípios de eficiência energética, os *Clusters* permitem irradiação simultânea em múltiplos pontos, as canetas oferecem precisão milimétrica (Resende, 2016; Antônio, 2018), e as mantas facilitam a aplicação em grandes áreas anatômicas.

Adicionalmente, os dados sugerem uma nítida correlação entre o tipo de aplicador e a população-alvo. Atletas foram predominantemente tratados com *Clusters* ou canetas laser, utilizando aplicações pré-exercício, como evidenciado nos trabalhos de Leal Junior et al. (2009) e Ferraresi et al. (2015). Em contrapartida, populações especiais, incluindo idosos e indivíduos com condições clínicas pós AVC, foram majoritariamente submetidos a protocolos utilizando matrizes/mantas, conforme demonstrado por Das Neves et al.

(2016), provavelmente devido à maior praticidade operacional e menor exigência técnica destes sistemas.

Em relação ao comprimento de onda utilizado na revisão de literatura do presente estudo, foi possível observar que a luz infravermelha (808–850 nm) foi a mais utilizada, presente em 55,6% dos estudos (15), seguida pela luz vermelha (630–660 nm) em 29,6% (8) e combinações de ambos em 14,8% (tabela1). Essa predominância do infravermelho reflete sua eficácia em atingir tecidos profundos, como o quadríceps femoral, que foi o músculo mais estudado (37% dos estudos), seguido por isquiotibiais (18,5%) e tibial anterior (11,1%). A luz infravermelha, foi a eleita especialmente nos estudos que buscaram modular a função muscular, reduzir o dano muscular, melhorar a microcirculação e acelerar a recuperação pós-exercício em grupos como atletas de alto rendimento ou idosos em programas de reabilitação Leal Junior et al, (2010).

A TFBM com luz vermelha é a mais indicada para tecidos superficiais, como epiderme e derme, ou para efeitos analgésicos e anti-inflamatórios localizados. A absorção da luz vermelha por cromóforos como o citocromo c oxidase é maior em regiões superficiais (Leal Junior et al, 2010).

Já os protocolos que utilizaram associações de *Clusters* ou Matrizes com luz vermelha e infravermelha foram empregados em 9 estudos (tabela1). Esta abordagem visa atingir múltiplas camadas teciduais simultaneamente, combinando os efeitos metabólicos e analgésicos superficiais da luz vermelha com os efeitos vasculares, neuromusculares e regenerativos. Tal estratégia foi especialmente comum em protocolos voltados para o desempenho físico e recuperação muscular em atletas, como nos estudos de Ferraresi et al. (2015; 2016), Leal Junior et al. (2009; 2010) e Miranda et al. (2014). Em estudos que empregaram aplicações combinadas, observou-se variabilidade na penetração da luz. Isso reflete a complexidade dos protocolos adotados e a busca contínua pela otimização dos efeitos terapêuticos. Estudos que utilizaram infravermelho (808–850 nm) reportaram efeitos mais pronunciados em músculos profundos, como o quadríceps, conforme observado em Leal Junior et al. (2009) e de Brito Vieira et al. (2014). Em contraste, a luz vermelha (630–660 nm) mostrou maior eficácia em músculos superficiais, como o tibial anterior, no estudo de Leal Junior et al. (2008). A combinação de comprimentos de onda apresentou efeitos sinérgicos, como no estudo de Ferraresi et al. (2015), onde a associação de 630 nm e 850 nm resultou em redução no lactato e melhora no desempenho, superando os resultados de estudos com comprimentos únicos.

Miranda et al. (2014), utilizando *cluster* com LEDs vermelhos (660 nm) e infravermelhos (850 nm) com 125,1 J, observaram aumento significativo do tempo de resistência muscular após a FBM. Esses achados sugerem que a fotobiomodulação pode ser uma estratégia complementar eficaz na otimização do desempenho muscular em diferentes populações.

Apesar dos resultados promissores de alguns estudos, há pesquisas que não encontraram efeitos significativos da FBM na melhora da força ou redução da fadiga muscular, como os de Muniz Medeiros et al. (2019) e De Paula Gomes et al. (2020). De Paula Gomes et al. (2020) aplicaram laser de 904 nm (6 J/cm² por ponto, total 48 J/cm²) em pacientes com osteoartrite de joelho e não encontraram implicações clínicas significativas. Esses achados indicam que o protocolo de aplicação ou as características da população estudada podem influenciar a eficácia da FBM.

Tucci et al. (2019) utilizaram diodos de 808 nm (4 J por ponto, total 112 J) em mulheres idosas sedentárias, mas não observaram melhora no desempenho do quadríceps, mesmo combinando FBM com treinamento resistido. Isso sugere que a resposta à FBM pode depender do nível de atividade física da participante ou das características da composição corporal, como elevada quantidade de gordura extra e intramuscular.

Delacoste et al. (2018) testaram laser infravermelho (850 nm, 200 mW, 180 J total) em pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e não identificaram redução da fadiga muscular ou alteração na ativação do quadríceps. Isso indica que a FBM pode ter limitações em populações com condições fisiopatológicas específicas.

A melhora no desempenho físico relatou aumento de força e torque muscular, especialmente em protocolos com luzes infravermelhas, nos trabalhos de Ferraresi et al. (2016), Cunha et al. (2020) e Paolillo et al. (2014). Essa análise criteriosa desses dados revela que os resultados da FBM são dependentes de múltiplos fatores inter-relacionados; a influência do comprimento de onda infravermelho (830-950 nm) demonstrou maior eficácia em tecidos mais profundos, enquanto o vermelho (650 nm) foi associado a efeitos mais superficiais, como melhora na circulação e cicatrização. Estudos como os de Leal Júnior et al. (2008) sugerem que combinações de comprimentos de onda podem potencializar os resultados.

Os dados analisados nesta revisão mostraram que a potência média variou entre 10 mW (Miranda et al., 2014) e 200 mW (Jówko et al., 2019) (tabela1), apresentando uma média geral de 98,5 mW. A potência é demonstrada como fator importante para

irradiação da energia (J) no tecido corporal, visto que potências elevadas podem otimizar o tempo de aplicação e garantir maior poder de penetração no tecido corpóreo (Simunovic, 2001).

A análise comparativa dos parâmetros energéticos revela uma variação significativa nas doses aplicadas (12 J a 1890 J) nos estudos revisados, com tendências distintas conforme a aplicação (tabela 1). Nos protocolos esportivos, observou-se uma tendência de utilização de doses entre 180 J e 510 J (Jówko et al., 2019; Pinto et al., 2016). Esta variabilidade reflete tanto a diversidade de objetivos terapêuticos quanto a ausência de consenso sobre a relação de dose-dependência, destacando a necessidade de futuros estudos de padronização.

Os mecanismos fisiológicos subjacentes parecem variar conforme o protocolo utilizado. Aplicações pré-exercício associaram-se principalmente à melhoria da performance, aumento na atividade EMG e redução do lactato pós-esforço (Vassão et al., 2016), enquanto protocolos pós-exercício mostraram maior impacto na recuperação e redução no tempo de normalização de marcadores inflamatórios (Leal Junior et al., 2010). Estas diferenças sugerem que a FBM atua em vias metabólicas distintas conforme o momento de aplicação.

Apesar dos avanços representados por estes 27 estudos (tabela 1), permanecem importantes lacunas metodológicas. A ausência completa de pesquisas utilizando sistemas de varredura mecânica representa uma oportunidade não explorada, particularmente para aplicações em grandes grupos musculares. Da mesma forma, a escassez de estudos avaliando protocolos intra-treino (apenas 14,8% da amostra) sugere uma área promissora para investigações futuras.

Em síntese, os dados analisados demonstram que a TFBM estabeleceu-se como intervenção eficaz quando aplicada através de sistemas de Cluster em contato direto, preferencialmente antes do exercício, para performance aguda (tabela 1). Contudo, a emergência de novas tecnologias demanda estudos comparativos rigorosos para definir protocolos específicos para diferentes tipos de fibras musculares, modalidades esportivas e comorbidades associadas. Esta evolução permitirá o desenvolvimento de abordagens personalizadas que maximizem os benefícios da fotobiomodulação tanto no esporte de alto rendimento quanto na prática clínica especializada.

Paolillo et al. (2013), com uma população de mulheres (50-60 anos), usou matriz de LED infravermelho 850 nm com dose de 108 J/cm² em cada membro inferior, irradiando membros inferiores, melhorando a potência do quadríceps e reduzindo a fadiga

periférica, além de promover melhorias na microcirculação. Semelhantemente, Toma et al. (2016), com mulheres idosas em treinamento de força usando laser infravermelho 808 nm e potência de 100 mW, totalizando 56 J no músculo quadríceps femoral, obteve a melhora no desempenho muscular, reforçando seu potencial como terapia adjuvante em programas de exercícios. Já Vassão et al. (2016), usando os mesmos parâmetros de Toma et al. (2016), com potência de 100 mW, irradiância de 35,7 W/cm², com 7 J por ponto, totalizando 56 J, no músculo quadríceps femoral, obteve a redução da fadiga muscular, aumentando o índice de fadiga eletromiográfica e diminuindo a concentração de lactato 6 minutos após o exercício, colaborando para a redução da fadiga muscular em idosos. Já em 2018, Vassão et al. (2018), usando treinamento de força associado à TFBM (laser infravermelho 808 nm, 100 mW e 56 J total), promoveram aumento significativo da força muscular, funcionalidade, estabilidade postural e redução do risco de quedas, reforçando o potencial da TFBM como terapia adjuvante em programas de reabilitação para idosos.

Por outro lado, quando Cunha et al. (2020), (36 J), Ferraresi et al. (2016) (75 J), e Leal Júnior et al. (2009) com 12 J e 83,4 J ao utilizar doses menores no músculo quadríceps femoral de atletas, obtiveram uma melhora no ganho de força, a redução de creatina-fosfato (CK) no sangue e o retardo da fadiga muscular

Os trabalhos de Toma et al. (2013, 2016) indicaram um aumento significativo na capacidade de repetição de exercícios de flexão-extensão do joelho após a aplicação do laser infravermelho (808 nm, 100 mW, 35,7 W/cm², 7 J por ponto, totalizando 56 J no músculo reto femoral. Esses resultados sugerem um impacto positivo da FBM quando associada ao treinamento de força, evidenciando uma melhora na performance muscular sem a presença de fadiga eletromiográfica tardia.

Os achados de Vassão et al. (2016, 2018) com energia total de 56 J corroboram essa tendência, demonstrando que a FBM foi capaz de reduzir significativamente a fadiga muscular (com redução do lactato e aumento do índice de fadiga eletromiográfica). Além disso, houve uma melhora da força muscular e da funcionalidade das participantes, contribuindo para maior estabilidade postural e redução do risco de quedas.

Das Neves et al. (2016), em pacientes com AVC (51-62 anos), usando laser de 808 nm com 100 mW de potência e 3,18 W/cm², totalizando 120 J, nos músculos extensores do joelho (retos femoral e vasto medial par éticos), obtiveram aumento do recrutamento de fibras musculares, retardaram o início da fadiga muscular espástica e reduziram a dor em pacientes com AVC. Isso sugere que a TFBM pode ser benéfica na reabilitação de pacientes neurológicos.

Delacoste et al. (2018), em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), usando laser infravermelho (850 nm, 200 mW, 30 J por ponto), com energia total de 180 J, no músculo quadríceps, não reduziram a fadiga muscular nem diminuíram a ativação do músculo em pacientes com DPOC. Já Miranda et al. (2014), com uma população semelhante à de Delacoste et al. (2018), obtiveram um tempo de resistência significativamente melhor após a exposição a LEDT no quadríceps femoral, mas com parâmetros de tipo de luz diferentes, usando LEDs vermelhos de 660 nm e infravermelhos de 850 nm, com potência de 10 mW (vermelho) e 30 mW (infravermelho), e total de energia de 125,1 J.

Por outro lado, estudos realizados com atletas praticantes de vôlei, utilizando doses elevadas de energia, demonstraram resultados promissores. Os trabalhos conduzidos com atletas de vôlei empregaram doses maiores de energia, como o estudo de Ferraresi et al. (2016), que aplicou energias de 105 J, 210 J e 315 J em cada grupo muscular (músculos quadríceps femoral, isquiotibiais e tríceps sural) de ambos os membros inferiores. Tucci et al. (2019) associaram FBM e treinamento resistido, usando cluster com LEDs vermelhos e infravermelhos (808 nm), dose total de energia de 112 J, em mulheres idosas sedentárias, sem indicação de prevenção da fadiga do músculo quadríceps femoral analisada pela frequência mediada do sinal eletromiográfico. Isso indica que a eficácia da TFBM pode depender também do tipo de aplicação, já que os parâmetros de aplicação com caneta laser eram de 56 J Toma et al. (2016), e obtiveram resposta positiva no aumento do número de repetições em exercício de extensão e flexão do joelho, embora sem melhora da fadiga pela EMG.

Leal Júnior et al. (2019), em seu estudo que busca otimizar o rendimento físico e a recuperação de atletas, utilizaram as diretrizes de revisão sistemática e meta-análise. Eles investigaram fontes de luz com energia total entre 60 e 480 J para grandes grupos musculares, como quadríceps e isquiotibiais. O estudo destacou que, dentro dessa janela terapêutica, as doses que apresentaram os melhores resultados foram entre 120 e 300 J para grandes grupos musculares, em comparação com doses de 405 J a 480 J.

Pinto et al. (2016), em seu trabalho com atletas de rugby, buscando investigar se a FBM melhora o desempenho desses atletas e sua recuperação, usou laser em 9 pontos no extensor do joelho, 6 pontos no flexor do joelho e 2 pontos na panturrilha, totalizando 17 pontos de 30 J cada, com um total de energia aplicada de 510 J. Verificou que a FBM pré-exercício melhora o desempenho e acelera a recuperação desses atletas.

O estudo de Paolillo et al. (2013) reforça esses achados ao utilizar LED infravermelho (850 nm, 100 mW, 108 J/cm²) e observar melhora da potência do quadríceps e redução da fadiga periférica, além do aumento da microcirculação nos membros inferiores, que potencializa o aporte de oxigênio e a remoção de lactato do músculo, o que pode estar relacionado à melhor capacidade de desempenho muscular.

Neves et al. (2016) investigaram os efeitos da FBM em pacientes pós-AVC sobre o músculo com espasticidade reto femoral e vasto medial, encontrando aumento do recrutamento de fibras musculares e redução do tempo de início da fadiga. Isso sugere que a aplicação do laser (808 nm, 100 mW, 127,39 J/cm²) pode ser benéfica para a reabilitação de pacientes neurológicos.

Os efeitos mais observados foram a redução da fadiga muscular, reportada por estudos como Rossato et al. (2018), Leal Júnior et al. (2008, 2009), Brito Vieira et al. (2014), Vassão et al. (2016) e Miranda et al. (2014). Aplicações pré-exercício mostraram-se mais eficazes em exercícios agudos. A recuperação muscular, pesquisada por Ferraresi et al. (2016) e Leal Júnior et al. (2009), destacou a redução do lactato e a melhora na remoção de marcadores de dano muscular. Em estudos longitudinais, com TFBM aplicada em exercícios realizados ao longo do tempo, é possível respostas de remoção de marcadores de dano muscular e estímulos a fatores de crescimento, estimulando o trofismo muscular (Corazza et al., 2013).

Os efeitos foram mais pronunciados em aplicações realizadas antes do exercício, sugerindo que a FBM pode atuar preventivamente na redução de danos oxidativos e inflamação muscular. A FBM apresenta efeitos robustos no desempenho muscular, sendo eficaz na redução da fadiga, prevenção de lesões e otimização da recuperação. No entanto, os resultados dependem diretamente da escolha adequada de parâmetros técnicos, tempo (antes/durante/depois) da aplicação e do tipo de luz utilizado.

Tabela 1: Revisão da Literatura sobre TFBM no Desempenho Físico

ATLETAS									
AUTOR/ ANO	Tipo de Luz Laser/LED	Método de Aplicação 1= pontual 2= varredura 3= contato 4= sem contato 5= antes do exercício 6= após exercício 7= durante	Potência (mW)	Irradiância (mW/cm ²)	Dose de Energia (J/cm ²)	Pontos irradiados no Músculo /Exercício	Energia por Ponto (J)	Energia Total (J)	Principais Conclusões
Ferraresi. et al. (2016)	Matriz com LED (630 nm e 850 nm) 50 LEDs	1,3,6 Matriz	100 mW Total 5000mW	8.1 mW/cm ² Total 500mW/cm ²	7,5 J/cm ²	Quadríceps Vasto lateral composto por exercícios de leg press e extensão de pernas com carga de 80% e 50% do teste de 1 repetição máxima, respectivamente	7.5J	75J	melhoria do desempenho e recuperação muscular de gêmeos atletas de futebol
Ferraresi et al. (2015)	Matriz de Led 850±20 nm (IR) e 630±10 nm (vermelho): 200 IR 100 Ver	1,3,6	130 mW (IR) e 80 mW (VERMEL HO) 4led 130mW IR	185,74 mW/cm2 (IR) e 114,28 mW/cm2 (VERMELHO)	20s = 3,71 J/cm2 (IR) e 2,28 J/cm2 (ver) 40s = 7,42 J/cm2 (IR)	as pernas, glúteos e músculos lombares antes das partidas(jogos) de vôlei	20s = 105 J (IR) 40 J (ver) 40s = 210J (IR) 80J (ver)	20s = 630J 40s = 1260J 60s = 1890J	evitou aumentos significativos na creatina de atletas de vôlei

			80mW vermelho		e 4,56 J/cm ² (ver) 60s = 11,13 J/cm ² (IR) e 6,84 J/cm ² (ver)		60s = 315J (IR) 120J (ver)		
Leal Junior. et al(2008)	Caneta de Laser 655 nm (vermelho)	1,3,5	50 mW 4pontos	5 W/cm ²	500 J/cm ²	músculo tibial anterior, utilizando dinamometria isocinética 30repetições de contração concêntrica isocinéticas de dorsiflexão de tornozelo	5 J/ponto	20 J	Pode atrasar o aparecimento percebido de fadiga e exaustão muscular dos 12 jogadores profissionais de voleibol
Leal Junior.et al,(2009)	Laser 830 nm (infravermelho)	1,3,5	100 mW	35,71 W/cm ²	0,0028 cm ² 1428,57J/c m ² Jog Vol 1071,43J/c m ² Jog Fut	músculo reto femoral: 5 pontos em cada músculo, totalizando 10 pontos teste de Wingate bicicleta por 30s	4J cada ponto 40s (jogadores de vôlei), 3J cada ponto 30s (jogadores de futebol)	40J (jogadores de vôlei), 30 J (jogadores de futebol)	Pode aumentar a remoção de lactato sanguíneo e pode reduzir o dano muscular, proporcionando aos atletas uma rápida recuperação muscular em 20 atletas adolescentes
Leal Junior. et al, (2009)	Sonda ou Caneta de Laser 830 nm (infravermelho)	1,3,5	100 mW	35,7 W/cm ²	1.785 J/cm ²	músculo bíceps 4pontos cadeira Scott 75% da carga máxima, tempo ate a fadiga	5 J cada ponto 50s	20J	Pode retardar o início da fadiga e exaustão muscular, redução do estresse oxidativo ou a diminuição da produção de espécies reativas de oxigênio

									em jogadores de vôlei profissionais
Leal Junior. et al, (2009) Laser x LED	Sonda ou Caneta de laser de 810 nm; comparada ao Cluster de 34 LEDs de 660 nm e 35 LEDs de 850 nm	1,3,5	200 mW 10mW vermelho 30mW vermelho e infravermelho	5,50Wcm ² 0,05Wcm ² (para vermelho) e 0,15Wcm ² (para infravermelho)	164,84 Jcm ² 1,5 Jcm ² em cada ponto (para vermelho) e 4,5 Jcm ² em cada ponto (para infravermelho)	longo do lado ventral do ventre do músculo reto femoral O teste de Wingate é definido como andar de bicicleta em velocidade máxima por 30 segundos	6J 41,7 J em cada ponto (0,3 J de cada LED vermelho e 0,9 J de cada LED infravermelho)	12J 83,4 J	LED diminuiu os níveis de CK LLLT ou LED não foram significativamente afetados níveis de lactato no sangue Em atletas de vôlei
Leal Junior.et al,(2011)	Led 660 nm 34 led vermelho 850nm 35 led infravermelho	1,3,6 cluster	10 mW (diodos vermelhos) e 30 mW (diodos infravermelhos)	0,05 W/cm ² (para diodos vermelhos) e 0,15 W/cm ² (para diodos infravermelhos)	LED: 0,2 cm ² (para diodos vermelhos e infravermelhos)	tríceps sural, reto femoral e isquiotibiais teste de Wingate pedalar o máximo por 30s	1,5 J/cm ² em cada ponto (vermelhos) 4,5 J/cm ² em cada ponto (infravermelhos) 41,7 J 30s em cada ponto, 5min tempo total	417 J	Apresentou uma diminuição significativa nos níveis de lactato sanguíneo e na atividade de CK e, atletas de futsal

Cunha. et al (2020)	Laser 850 nm (AsGaAl) (3 diodos)	1,3,5 cluster	50mW/diodo, totalizando 150 mW	0,038 W/cm ²	0,8 J/cm ² por ponto 2,4J/cm ²	Quadríceps femoral, cadeira extensora 10 rep de 10s isométrico, teste de salto e NMES	6 J 40s por aplicação	36 J	ganho de força muscular em 36 atletas de vôlei
Muniz Medeiro,(2019)	Cluster de Laser 850nm 5 diodo de 6J	1,3,6	100mW	3.44mWcm ²	206.9 Jcm ²	Ísquios tibial	3 pontos com 30J	90J	não otimiza a recuperação da flexibilidade ou força muscular e não acelera o retorno ao esporte em atletas amadores homes de18 a 40 anos
Pinto et al., 2016	Cluster de Laser com 12 diodos, sendo 4 diodo 905nm, 4 diodo 875nm, 4 diodo 640nm,	1,3,5	12,5 W	15 mW 17,5 mW 0,3125 mW	4,43J/cm ² 3.8J/cm ² 0,126J/cm ²	9pontos no extenso do joelho 6pontos no flexor do joelho 2pontos na pantirilha teste de sprint de Bangsbo BST	17pontos de 30J	510J	FBM pré-exercício melhora o desempenho e acelera a recuperação Em atleta de rugby

Adultos e Idosos

AUTOR/ ANO	Tipo de Luz Laser/LED	Método de Aplicação 1= pontual 2= varredura 3= contato 4= sem contato 5= antes do exercício 6= após exercício, a 7= durante	Potência (mW)	Irradiância (mW/cm ²)	Dose de Energia (J/cm ²)	Pontos irradiados no Músculo /Exercício	Energia por Ponto (J)	Energia Total (J)	Principais Conclusões
Paolillo.et al,(2013)	Led infravermelha 850 nm Matriz 2000 LEDs 850nm – 15nm com área de 1110 cm ²	1,4,7 matriz	100 mW	39 mW/cm ² ,	108 J/cm ² .	MMII Caminha em esteira 45min			melhorar a potência do quadríceps e reduzir a fadiga periférica em mulheres entre 50 a 60 anos
Paolillo. et al,(2013)	Led infravermelha 850 nm Matriz 2000 LEDs 850nm – 15nm com área de 1110 cm ²	1,4,7 matriz	100 mW	39mW/cm ² ,	108 J/cm ²	MMII Caminha em esteira45min	2.000 LEDs infravermelh os (850 nm) com área de 1.110 cm ² e 108 J/cm ² por 45mim		melhora da microcirculação em mulheres entre 50 a 60 anos
Delacoste et al., 2018	laser infravermelho 5 diodos 850 nm, cada um	1,3,5 cluster	200 mW	0,046 W/cm ²		músculo quadríceps	30J Em 6 ponto 6 J cada diodo	180 J	Não houve redução da fadiga muscular, não é capaz de diminuir a ativação do músculo, em

	com área de 0,06cm ²					cadeira isocinética ate a fadiga			pacientes com DPOC de 61 a 68 anos
Toma et al., 2013 Mulheres 60 a 70 anos ativas	Laser 808nm (infravermelho)	1,3,5, Caneta laser	100 mW	12,7 W/cm ²	892 J/cm ² cada ponto	músculo reto femoral	7J cada ponto em 8 pontos Por 70s	56 J	foi eficiente em aumentar o número médio de repetições durante o exercício de flexão-extensão do joelho, embora os resultados não tenham mostrado fadiga eletromiográfica tardia em mulheres de 60 a 70 anos
Vassão et al., 2016	laser infravermelho 808 nm	1,3,5 Laser caneta	100 mW,	35.7 W/cm ²	250 J/cm ²	músculo quadríceps femoral do membro dominante em cadeira isocinética dinamômetro isocinético 60 repetições	7J por ponto em 8 pontos 70s cada ponto	total de 56 J	FBM foi capaz de reduzir a fadiga muscular por um aumento significativo do índice de fadiga eletromiográfica(EFI) p = 0,047 e diminuindo significativamente a concentração de lactato 6min após a realização do protocolo de fadiga em mulheres idosas
Vassão et al., 2018	laser infravermelho 808 nm	1,3,6 Laser caneta	100 mW,	35.7 W/cm ²	250J/cm ²	músculo do quadríceps programa de treinamento de força dinâmico que consistiu em um exercício de flexão-extensão de joelho cadeira extensora	7 J por ponto, 8 pontos por 70s	energia total de 56 J	treinamento de força produziu um significativo aumento da força muscular e da funcionalidade e, quando combinado com a fotobiomodulação, foi significativo em promover estabilidade postural e diminuição do risco de queda.

Das Neves et al., 2016	Caneta laser de 808 nm	1,3,5	100 mW	3,18 W/cm ²	127,39J/cm ²	avaliação da atividade elétrica muscular e pico de torque dos extensores paréticos do joelho durante a CVM reto femoral e vasto medial	30 pontos por 40s	4J por pontos total de 120J	FBM pode contribuir para o aumento do recrutamento de fibras musculares e, portanto, para aumentar o tempo de início da fadiga muscular espástica, reduzindo a dor ntensidade em pacientes com AVC com espasticidade
Tucci et al., 2019	Cluster 7 diodos de 808 nm LEDs Vermelhos 7 diodos de 660nm IR	1,3,6	100 mW	2 W/cm ²	91 J/cm ²	quadríceps femoral (CIVM) por 30s, uma vez que uma contração isométrica voluntária muscular	4 J 4 aplicações para cobrir o músculo quadríceps femoral, totalizando 112 J em 120s 100mW/diodo	112 J	O desempenho do quadríceps femoral de mulheres mais velhas não foi melhorado quando a FBM foi associada ao treinamento resistido de quadríceps femoral proposto, quando comparado ao treinamento em mulheres idosas
Miranda et al., 2014	Cluster com 69 (34 LEDs vermelhos e 35 LEDs infravermelhos	1,3,5	10mW vermelho 30mW infravermelho	6,95 Wcm ²	41,7 J por 30s	muscular do reto femoral, vasto medial e vasto latera dinamômetro isocinético contração excêntrica consistiu em 20	69 (34 LEDs vermelhos e 35 LEDs infravermelhos)	125,1 J	O tempo de resistência aumentou significativamente após a exposição ao LEDT

						contrações isocinéticas excêntricas			
Toma et al., 2016	laser infravermelho 808 nm	1,3,6 Caneta laser	100 mW	35,7W/cm ²	250 J/cm ²	Músculo quadríceps femoral do membro dominante imediatamente após o término de cada sessão de treinamento de força Cadeira extensora	7 J por ponto em 8 pontos por 70s	total de 56 J.	FBM em combinação com o treinamento de força foi capaz de melhorar o desempenho muscular de mulheres idosas.
Costa et al. (2019)	cluster com 50 LED 850 nm	1,3,5 cluster	50 mW,	250mW/cm ²	3,75 J/cm ²	Quadríceps femoral do membro dominante e isquiotibiais do membro dominante; cadeira extensora de pernas em uma contração voluntária isométrica máxima (CIVMI)	2 pontos 35,7J	cluster com 50 LED total de 75J	Não houve diferenças momento da contração e no tempo de contração e na resposta à fadiga em pacientes asmático

Adultos praticantes de atividade física regular									
AUTOR/ ANO	Tipo de Luz Laser/LED	Método de Aplicação 1= pontual 2= varredura 3= contato 4= sem contato 5= antes do exercício 6= após exercício 7= durante	Potência (mW)	Irradiância (mW/cm²)	Dose de Energia (J/cm²)	Pontos irradiados no Músculo /Exercício	Energia por Ponto (J)	Energia Total (J)	Principais Conclusões
Rossato. et al., (2018)	Cluster com 5 Laser (880nm), 12 LED (670nm), 8 LED (880nm), e 8 LED (950nm)	1,3,5	Laser(880nm)(100mW), led(670nm)(10mW), (880nm)(25mW),(950nm)(15mW)	1666.6 mW/cm ² 1.92 mW/cm ² 1.28 mW/cm ² 1.28 mW/cm ²	3.2 J/cm ² 0.3 J/cm ² 0.5 J/cm ² 0.5 J/cm ²	Quadríceps Reto femoral Vasto lateral Vasto medial contração voluntária isométrica máxima(CIMI) e x de 5s	9 pontos 30J 32s	270J	reduzir a fadiga no extensor do joelho de homens fisicamente ativos entre 18 e 35 anos
Jówko et al.(2019)	lasers 830 nm	1,3,5	200 mW			Quadríceps Reto femoral Vasto lateral Vasto medial Eletroestimulação	6 pontos (2 pontos em cada ventre muscular) 30 J/ponto	180 J (seis pontos)	O caráter preventivo da LLLT nas enzimas antioxidantes, bem como seus efeitos benéficos contra a inflamação em homens saudáveis e ativos de 21 e 22 anos
Leal Junior. et al,(2010)	Sonda de Laser 655 nm (vermelho)	1,3,5	50 mW	5 W/cm ²	240 J/cm ²	músculos tibial anterior e tríceps sural do membro inferior teste de Wingate	5 pontos de 2,4 J	12 Joules	aumenta o torque muscular, melhorando assim o desempenho musculoesquelético, porém sem interferir no índice de fadiga em adultos saudáveis

						bicicleta ergométrica			
de Brito Vieira. et al.(2014)	Sonda de Laser 808 nm (infravermelho)	1,3,7, Durante os intervalos de descanso	100 mW	35,71W/cm ²	1428,57 J/cm ²	músculos vasto medial, vasto lateral e reto femoral Dinamômetro cadeira extensora	4Jx5=20J	60 J	Diminuição da fadiga muscular, possivelmente o resultado da prevenção do dano muscular e/ou recuperação muscular rápida promovida pela LLLT em homens saudáveis
Mezzaroba.et al,(2018) S	Cluster de LEDs 850 nm com 104 diodos (infravermelho)	1,3,5	30mW	150mW/cm ²	4,5 J cm ²	Músculos quadríceps (2 pontos), bíceps femoral (2 pontos), e gastrocnêmio (1 ponto), com (30 s por ponto, em ambos os membros inferiores Caminhada em esteira	0,9 J x 104 diodos por 30s cada ponto	93,6 J x 5 pontos Total de 468J em cada membro inferior, totalizando 936 J	Maior consumo máximo de oxigênio (VO2max), diminuição da FC, diminuição do lactato sanguíneo em homens ativos e saudáveis
Baroni. et al,(2010)	Cluster com 5 diodo de 810 nm IR,	1,3,5	200 mW			Quadríceps Dinamômetro discinético 3 contrações voluntárias máximas (CVM) de 5 segundos	6 pontos 30J	180 J	atenuou o aumento das proteínas musculares no sangue e a diminuição da força muscular, redução do dano muscular e na preservação da função muscular após exercícios intensos em homens saudáveis entre 19 a 35 anos
Rossato et. al, (2020)	28LEDs 5 lasers(850 nm),	1,3,5		5 lasers (1666,6 mW/cm ²),		Cadeira Extensora, quadríceps	9 pontos sobra a quadríceps direito	135,270 e 540J 270, 540 ou 1080 J	Foi eficaz na redução da fadiga muscular, mas não foi capaz de melhorar o desempenho durante um protocolo de força

	12LEDs (670 nm), 8LEDs (880 nm) e 8LEDs (950 nm)			8 LEDs (19,53 mW/cm ²), 8 LEDs (11,71 mW/ cm ²) 12 LEDs (5,20 mW/cm ²) 1703,1 mW/cm ²			135,270 e 540J		com múltiplas séries, em homens saudáveis
--	---	--	--	---	--	--	-------------------	--	--

4 OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi de investigar o efeito imediato da terapia de fotobiomodulação controlada por dose-dependência, com irradiação prévia ao teste de resistência isométrica (TRI) das energias de 125,1 J, 315 J e 500 J no desempenho físico e na fadiga do musculo quadríceps femoral (QF) de pessoas idosas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar qual a melhor energia da matriz de Lasers e LEDs (125.1 J, 315 J e 500J) aplicada antes do TRI no desempenho físico, por meio do percentual da variação do tempo ($\% \Delta t$) e força muscular (Newtons) entre o grupo FBM Ativo e Placebo, no QF de idosas;

Analisar a influência da Terapia de Fotobiomodulação na redução da fadiga física por meio da Frequência Mediana do sinal EMG do músculo reto femoral e da Força muscular do QF ao longo do tempo de análise do estudo (basal, 25%, 50%, 75% e 100% do tempo do TRI), com diferentes doses utilizadas no estudo.

Identificar se a inovação tecnológica da matriz de Laser e LED com comprimento de onda infravermelho desenvolvida para o presente estudo, promovem respostas terapêuticas suplementares no desempenho físico agudo em idosas.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 PARTICIPANTES

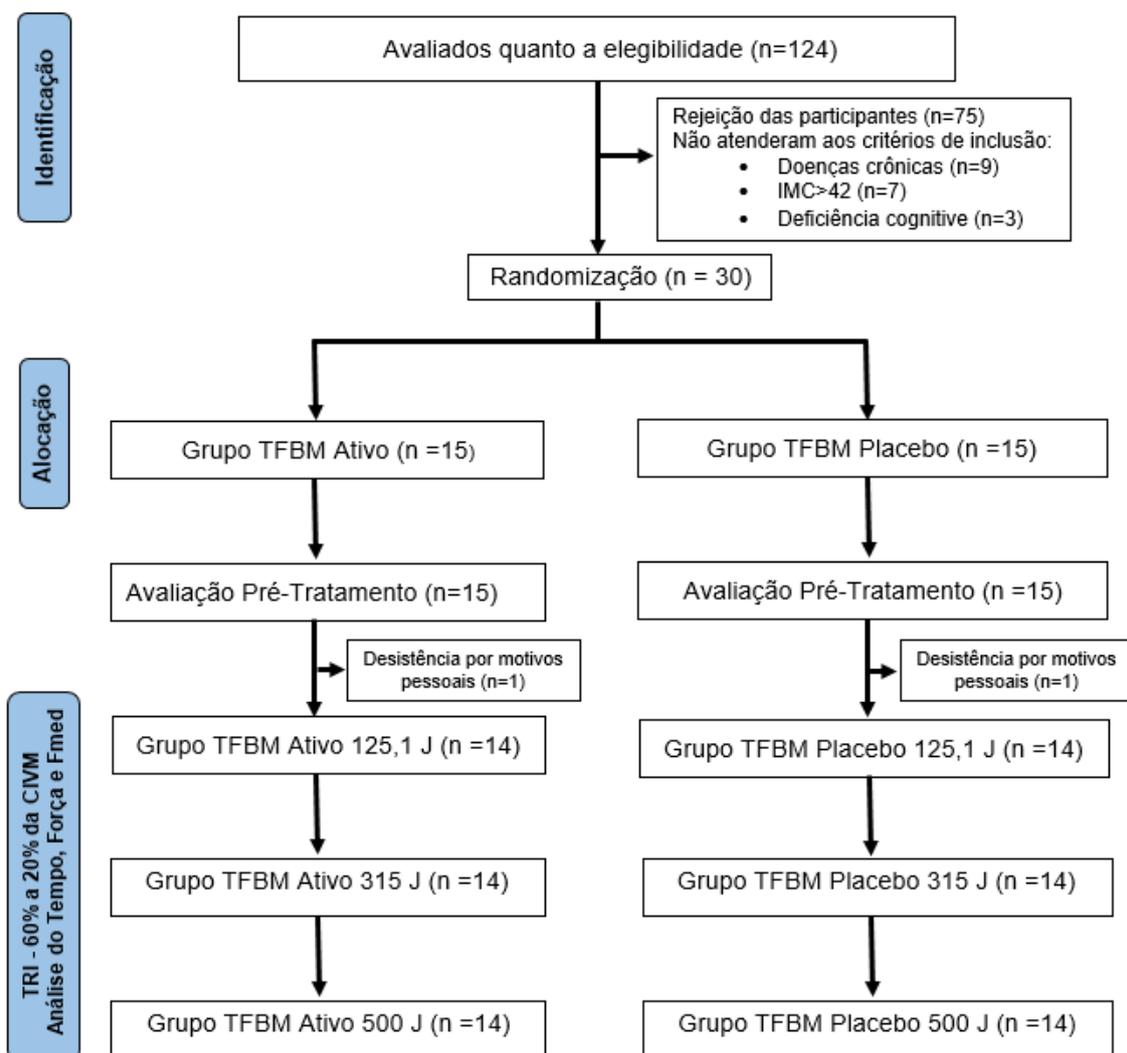
Para a realização deste estudo clínico randomizado, duplo-cego e controlado por placebo, mediante convite, 124 mulheres idosas atendidas no Serviço de Convivência e Fortalecimento de Vínculos (S.C.F.V) Tia Nega de Três Lagoas/MS, integraram voluntariamente a amostra total. Compareceram para avaliação física inicial 49 participantes, e a partir dos critérios de inclusão e exclusão foram incluídas 30 participantes para compor o estudo. As participantes foram distribuídas aleatoriamente em dois grupos, compondo o grupo TFBM Ativa (n=15) e o grupo TFBM Placebo (n=15). Ao longo do estudo, uma participante de cada grupo desistiu por motivos pessoais, restando 14 participantes em cada grupo (Figura 6). A amostra total foi composta por 28 mulheres, com as características individuais e corpóreas descritas na Tabela 2, mensuradas em um Analisador Multifrequência de Bioimpedância Octopolar (InBody® 120, Seoul, Korea) e Estadiômetro (Modelo Personal Caprice, Sanny®, São Paulo, Brasil).

Para o cálculo amostral foi utilizado o software G*Power, versão 3.1.9.2. Os dados de um ensaio anterior que explorou o efeito da terapia de fotobiomodulação associada ao treinamento resistido em idosos, foram os dados médios de dois grupos para a variação percentual do torque isométrico no músculo quadríceps (grupo placebo = 6,70; grupo fotobiomodulação aplicada = 6,22). O número de indivíduos foi determinado seguindo um poder estatístico de 0,80, nível de significância de 0,05 e tamanho do efeito (TE) baseado no risco relativo de aumento do pico de torque isométrico (IPT; 0,49) em favor do TFPBM (Fritsch et al., 2019) Consequentemente, um mínimo de 14 indivíduos foi determinado para detectar os efeitos do TFBM em comparação ao Placebo.

Os critérios de inclusão para o estudo foram que as participantes indicassem cognição normal e a presença da diminuição significativa da massa e força muscular, característica da idade, além de uma fase estável de saúde, sem alterações na terapêutica médica nas semanas ao estudo. Os critérios de exclusão são indivíduos do sexo masculino, idade inferior a 60 anos, com lesões musculoesqueléticas, déficit cognitivo, doenças crônicas como hipertensão - diabetes descontroladas, neoplasias e doenças renais. Este estudo possui respaldo ético obtido no Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (CAAE: 71042323.7.0000.0021) e todas as participantes

forneceram consentimento informado por escrito. O estudo encontra-se registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBEC): U1111-1311-0859.

Figura 6: Diagrama de Fluxo das Participantes do Estudo



IMC: Índice de Massa Corporal; TFBM: Terapia de Fotobiomodulação

Fonte: próprio autor

5.2 PROCEDIMENTOS DE RANDOMIZAÇÃO, CEGAMENTO E CONTROLE POR PLACEBO

A distribuição aleatória das 30 participantes foi realizada por meio de sorteio randomizado, que determinava se receberiam TFBM Ativo ou TFBM Placebo. O código de randomização foi entregue ao pesquisador-terapeuta, que configurou a unidade de controle para aplicar o TFBM Ativo ou o TFBM Placebo, conforme determinado. O pesquisador-terapeuta foi instruído a não informar o tipo de tratamento administrado às

participantes ou ao pesquisador-avaliador, garantindo o cegamento tanto das participantes quanto do avaliador. Inicialmente, foi determinada a Contração Isométrica Voluntária Máxima (CIVM) para estabelecer a carga utilizada no teste de resistência (60% até 20% da CIVM). As pacientes foram randomizadas para receber TFBM ou o TFBM Placebo, com intervalo de 48 horas entre as sessões. Imediatamente após cada aplicação, as pacientes realizaram o Teste de Resistência Isométrico (TRI).

Tabela 2 - Características antropométricas dos grupos - Percentual de Gordura Corpórea; IMC: Índice de Massa Corporal

Características Antropométricas	EENM + TFBM Ativa (n=14)	EENM + TFBM Placebo (n=14)
Idade (anos)	71,4 ± 5,2	71,1 ± 5,8
Massa Corporal (kg)	76,2 ± 11,3	75,4 ± 12,9
Estatura (cm)	156,1 ± 5,1	155,7 ± 5,3
Gordura Corporal (%)	42,9 ± 5,8	42,6 ± 6,0
Massa Muscular (kg)	23,4 ± 2,8	23,1 ± 3,0
IMC (kg/m ²)	31,2 ± 4,5	31,0 ± 4,7

Gordura (%): Percentual de Gordura Corpórea; IMC: Índice de Massa Corporal

Fonte: próprio autor

5.3 TESTE DE RESISTÊNCIA ISOMÉTRICO

A força de extensão isométrica do músculo quadríceps femoral (QF) foi medida na perna dominante utilizando a CIVM. As participantes foram posicionadas em uma cadeira extensora de pernas (Biodelta®, São Paulo, São Paulo, Brasil) com o joelho flexionado a 60°. Uma célula de carga tipo S de 200 Kgf (Simokit Tecnologia®, Paraná, Brasil) conectada a cadeira extensora, transmitia os dados ao software do Eletromiógrafo (Miotool 400, Miotec®, Porto Alegre, RS, Brasil) acoplado a um notebook (HP®, Barueri, São Paulo, Brasil) para registro da CIVM (Fig.7). Cada paciente realizou 3 repetições da CIVM dos extensores do joelho, mantendo cada contração por 5 segundos, com 1 minuto de descanso entre as repetições. O maior valor das 3 contrações, desde que apresentasse uma variabilidade inferior a 5% entre as tentativas, foi utilizado para análise. Após um descanso de 5 minutos, a resistência do QF foi avaliada pelo tempo de resistência isométrica a 60% da CIVM até o limite de tolerância. Um marcador visual

correspondente à carga de trabalho submáxima foi exibido em uma tela de computador para fornecer feedback visual às participantes. O teste de resistência isométrica foi encerrado quando ocorreu uma redução de 20% na força produzida (Fig. 8).

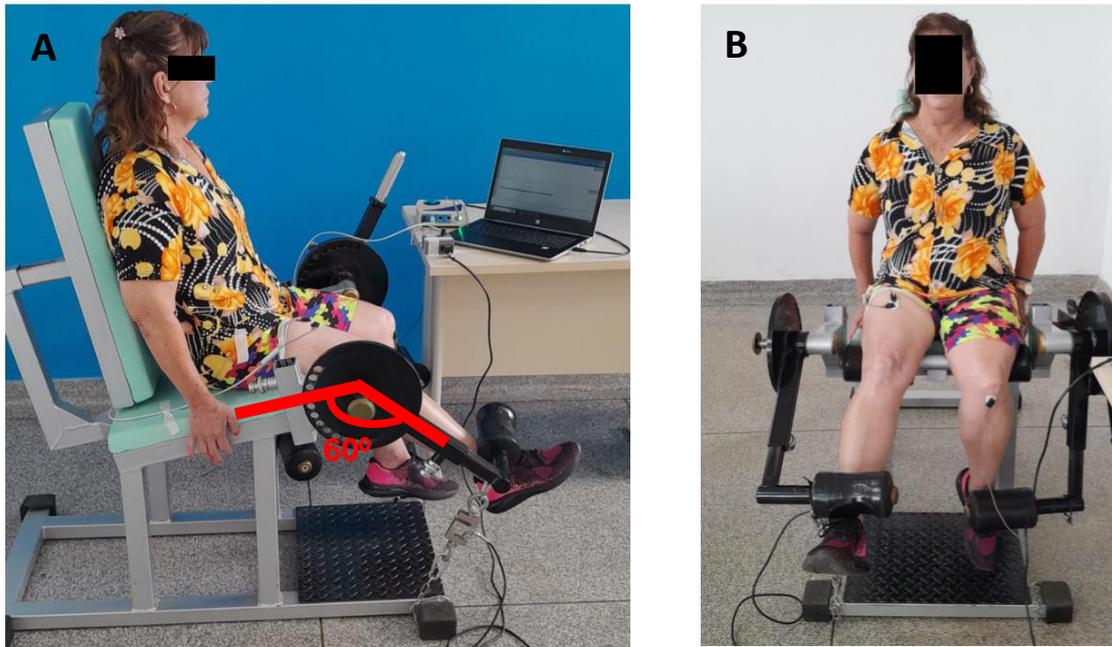


Figura 6- Teste de Resistência Isométrica (TRI) e coleta da EMG. A) Vista Lateral. B) Vista Frontal

Fonte: Imagem própria do autor

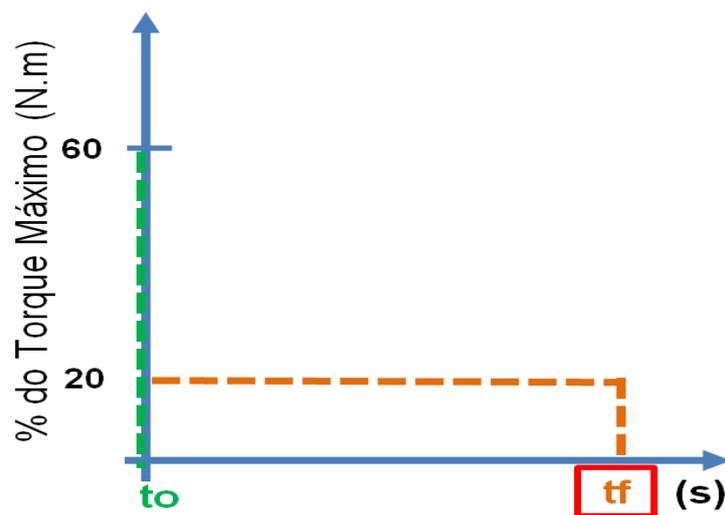


Figura 7 - Tempo de Fadiga do TRI. O registro temporal inicial (t_0) inicia a 60% do torque máximo e o tempo final

Fonte: Imagem do próprio autor

5.4 ANÁLISE DA ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE (EMGS), FORÇA MUSCULAR E TEMPO DE FADIGA

Inicialmente foi realizado a coleta do tempo inicial de fadiga muscular sem TFBM no TRI, e após 48 horas foram coletados o tempo de fadiga com TFBM Ativa ou Placebo (60% a 20% da CIVM) e registrado o sinal EMG de superfície (Fig.7). O Eletromiógrafo (Miotool 400, Miotec®, Porto Alegre, RS, Brasil) possui quatro canais conectados por sensores ativos diferenciais, com resolução de 16 bits, frequência de amostragem de 2Khz, filtro passa-baixo de 20Hz, filtro passa-alto de 500Hz, notch de 60Hz, e eletrodo de referência (terra). A pele das participantes foi preparada com tricotomia, lixamento da pele (lixa com gramatura 220) e limpeza com álcool. Para capturar o sinal elétrico, utilizamos o mesmo dispositivo com eletrodos duplos passivos diferenciais (Double Trace LH-ED4020, Miotec®, Porto Alegre, RS, Brasil), com dimensões de 44 mm de comprimento, 21 mm de largura e 20 mm de centro a centro, sendo posicionados ao longo do eixo longitudinal do músculo reto femoral, de acordo com o protocolo SENIAM (Hermens, et al., 2000). Os dados de EMG foram normalizados com base no pico da CIVM, e posteriormente para análise do tempo-frequência, os dados de EMG foram submetidos a uma transformada de Fourier de curto prazo, aplicada em períodos de um segundo. A frequência mediana do espectro (Fmed) foi calculada através do primeiro segundo (basal) e a 25, 50, 75, and 100 % do tempo registrado no TRI (Figura 10). Os dados da Fmed ao longo do tempo de coleta foram processados usando um programa personalizado escrito em MATLAB (MathWorks Inc, EUA).

A força muscular foi registrada em Newtons (N), no Basal, 25, 50, 75 e 100% do tempo registrado no TRI na cadeira extensora da perna (Figura 7), da mesma forma que foi registrada a Fmed.

O tempo de fadiga foi realizado pela análise da variação percentual no TRI com e sem TFBM (Ativa ou Placebo), sendo calculado por meio da diferença dos tempos do TRI com TFBM (Ativa ou Placebo) e sem TFBM (registrada no início do estudo) e dividido pelo tempo do TRI sem TFBM, sendo o resultado multiplicado por cem (100). A fórmula da análise é: $\Delta t (\%) = [(t_{TFBM} - t_{sTFBM}) / t_{sTFBM}] \times 100$.

Linha do Tempo do Estudo

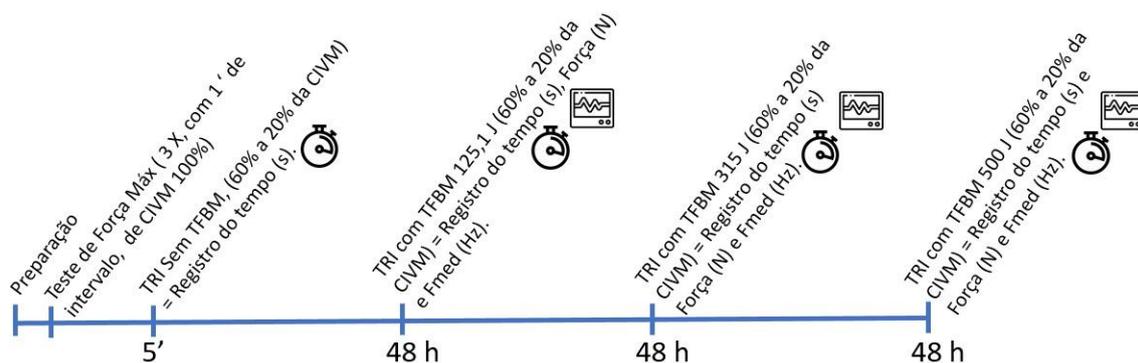


Figura 8- Linha do tempo do estudo

Fonte: Imagem própria do autor

▪ Frequência Mediana (Fmed) da EMG

Coleta da Fmed do Tempo Pós-FBM Ativa e Placebo

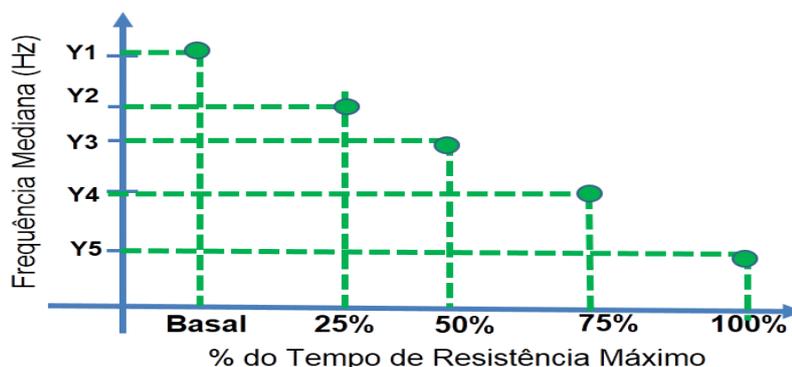


Figura 9- Coleta da Fmed

Fonte: Imagem própria do autor

5.5 ENERGIAS DA FBM

As energias aplicadas de 125.1, 315 e 500 Joules e respectivos tempos de tratamento de 53, 136 e 215 segundos foram aplicadas com uma Matriz de Laser e LED (Fig. 12) (tabela3) no músculo quadríceps femoral, sendo posicionado centralmente na coxa, a partir da distância média do músculo reto femoral (metade da distância entre a espinha ilíaca antero-inferior e polo superior da patela), ocupando uma área de 168 cm² na coxa da participante (Fig.12). A Matriz de Laser e LED para a TFBM é um protótipo de inovação tecnológica, desenvolvida para o presente estudo pelo Laboratório de Movimento e Tecnologias Médicas (LAMOTEM) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica (LIEB) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), cujos parâmetros estão especificados na

Tabela 3. A potência do equipamento foi mensurada por meio de um Medidor de Potencia e Energia Vega com Sensor PD300-3W3V (Ophir Optronics Solutions®, Israel), antes e após cada utilização no estudo.

A irradiação foi realizada em modo de contato direto, com uma Matriz TFBM mantido estacionário e aplicado com leve pressão em um ângulo de 90° em relação à pele nos pontos de tratamento. Os participantes do grupo TFBM Ativo foram mantidos a cada 48 horas nos mesmos grupos de energias (125.1, 315 e 500 J) e do mesmo modo o grupo de TFBM Placebo. Para o protocolo terapêutico placebo foi desenvolvido uma matriz sem diodos de Laser e LED na região de contato com a pele, mas na face oposta, existe um LED amarelo, promovendo uma alusão sinalizadora que a matriz fotobiomoduladora está em funcionamento (Fig. 12B). Durante as aplicações de TFBM e do tratamento simulado, as participantes utilizaram óculos (barreira do espectro eletromagnético infra-vermelho) para proteção da retina.

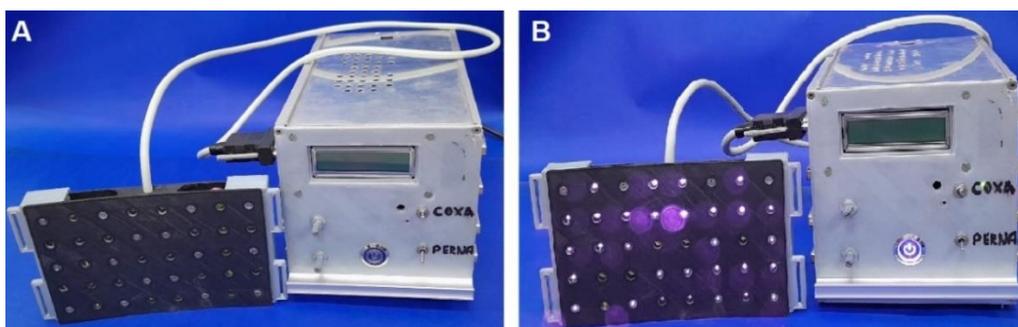


Figura 10- Matriz de Lasers (16 diodos-806 nm) e LEDs (24 diodos-850 nm). A) Desligado. B) Acionado

Fonte: Imagem própria do autor

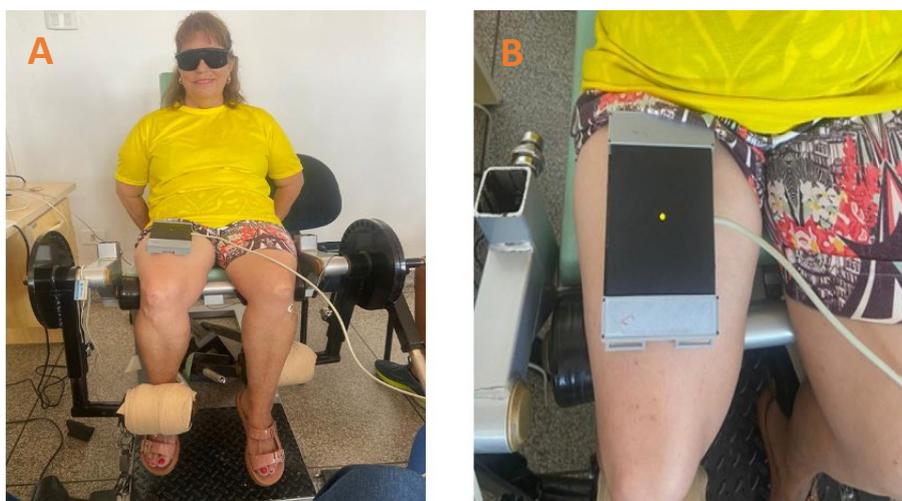


Figura 11: TFBM na coxa da participante. A) Vista Frontal. B) Vista Superior.

Fonte: Imagem própria do autor

Tabela 3 Parâmetro da Matriz de Laser e Led

Parâmetros da Matriz de Laser e LED	
Números de Diodos:	40 Diodos (24 LEDs e 16 Lasers)
Comprimento de Onda:	850 ± 20 nm (LED) e 808 ± 4 nm (Laser)
Frequência:	Modo contínuo
Potência de Saída Óptica:	100 mW (Laser) e 30 mW (LED), totalizando 2320 mW na matriz.
Área do LED:	0,2 cm ²
Área do Feixe de Luz Laser:	0,016 cm ²
Dimensões Externas da Matriz:	16 x 10,5 cm (Área de 168 cm ²)
Dimensões da Área Ativa da Matriz:	14,5 x 8,5 cm (Área de 123,25 cm ²)
Distâncias entre diodos	2 cm de centro a centro (hot point)
Densidade de Potência da Matriz:	103,6 W/cm ² (6,25 W/cm ² para cada Laser e 0,15 W/cm ² para cada LED).
Número de Irradiação local por grupo muscular:	1 ponto com a matriz posicionada centralmente, no ponto médio do músculo reto femoral.
Energia Aplicada no músculo:	125,1 J; 315 J; e 500 J
Tempo de Tratamento por local:	54 s (125,1 J); 136 s (315 J) e 215 s (500 J)
Densidade de Energia na matriz:	5,594,4 J/cm ² (337,5 J/cm ² para cada Laser e 8,1 J/cm ² para cada LED com tempo de 54 s) ; 14.089,6 J/cm ² (850 J/cm ² para cada Laser e 20,4 J/cm ² para cada LED em 136 s); 22.274 J/cm ² (1.343,75 J/cm ² para cada Laser e 32,25 J/cm ² para cada LED em 215 s)
Modo de aplicação:	Matriz mantido estacionário na pele com leve pressão em um ângulo de 90°.

6 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com o software estatístico IBM SPSS na versão 21 para Windows (IBM, New York, USA). A análise de normalidade dos dados foi realizada pelo teste Kolmogorov-Smirnov. Os dados paramétricos foram expressos por média e desvio padrão. Os dados não paramétricos foram expressos por mediana e intervalos interquartis. Na comparação da variação percentual do no TRI com e sem TFBM (Ativa ou Placebo), nas diferentes energias analisadas, foi realizado a comparação entre os grupos TFBM Ativo e TFBM Placebo utilizando o Teste t Student independente (dados paramétricos) e Teste de Mann-Whitney (dados não paramétricos). As alterações da Frequência Mediana (Fmed) ao longo do tempo, em cada grupo (TFBM Ativo e TFBM Placebo, com suas respectivas energias), foram analisadas por Análise de Medidas Repetidas. As alterações da Fmed entre os grupos TFBM Ativo e TFBM Placebo em cada energia foi realizada com Teste t independente. Todas as comparações estatísticas foram realizadas utilizando um nível de significância fixado em 5% ($p < 0,05$).

7 RESULTADOS

Os resultados apontam a otimização estatisticamente significativa da variação percentual do tempo (Δt (%)) no TRI da TFBM Ativa em relação ao TFBM Placebo diante da irradiação da energia de 500J ($U=50,000$; $p<0,027$). Nesta energia ocorreu um aumento médio da variação temporal no desempenho do TRI de 194,21% no grupo TFBM Ativo, comparado a 70,16% no grupo TFBM Placebo, representando uma diferença de 124,05%.

Na análise da variação percentual do tempo (Δt (%)) no TRI da TFBM Ativa em relação a FBM Placebo (Tabela 4) não houve diferença significativa com as energias de 125,1 J ($t(26)=1,135$, $p>0,05$) e 315 J ($t(26)=-0,043$, $p>0,05$).

Tabela 4: Análise do Tempo dos Grupos TFBM Ativo e Placebo com 125,1J, 315J e 500J.

Grupos de TFBM	Tempo Inicial (s)		Tempo Final (s)		Variação percentual do Tempo (Δt %)	
	\bar{x} (DP)	MED	\bar{x} (DP)	MED	\bar{x} (DP)	MED
TFBM Ativo 125,1 J	70,71 (21,82)	69,50	116,93 (53,57)	102,00	66,90 (61,83)	53,11
TFBM Placebo 125,1 J	69,43 (35,94)	62,00	91,00 (43,75)	74,50	41,84 (54,76)	24,57
<i>Comparação entre Ativo e Placebo</i>	$U=83,500$; $p>0,05$		$U=60,000$; $p>0,05$		$t(26)=1,135$, $p>0,05$	
TFBM Ativo 315 J	101,21 (40,96)	97,00	144,64 (62,76)	130,50	46,55 (43,57)	40,57
TFBM Placebo 315J	76,64 (25,67)	79,50	108,93 (36,02)	105,00	47,25 (42,68)	38,28
<i>Comparação entre Ativo e Placebo</i>	$t(26) = 1,902$; $p>0,05$		$t(26) = 1,847$; $p>0,05$		$t(26) = -0,043$, $p>0,05$	
TFBM Ativo 500 J	68,21 (24,19)	65,50	171,14 (58,02)*	167,00	194,21 (171,86)	179,43*
TFBM Placebo 500J	76,64 (25,67)	79,50	125,14 (44,70)	122,00	70,16 (58,40)	59,90
<i>Comparação entre Ativo e Placebo</i>	$t(26) = -0,894$; $p>0,05$		$t(26) = 2,350$; $p<0,05$		$U = 50,000$; $p<0,027$	

O tempo de resistência isométrico antes da aplicação da TFBM (tempo inicial) não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os grupos submetidos com a TFBM ativa e placebo, com as três energias aplicadas (125,1 J, 315 J e 500 J). Esses tempos iniciais demonstram uma homogeneidade da amostra a partir da distribuição aleatória das participantes do estudo entre os grupos ativos e placebos, sendo fidedigna a análise das respostas do Δt (%), força (N) e frequência mediana (Hz) das participantes do presente estudo. Por outro lado, uma melhora significativa no tempo de resistência isométrica após a TFBM (tempo final) foi observada com a dose de 500 J, enquanto não houve diferenças significantes entre os grupos submetidos com a energia de 125,1 J e 315 J.

A Terapia de TFBM Ativa com 500 J (tabela 5) otimizou a força do músculo quadríceps femoral em relação ao grupo FBM Placebo (500 J) nas fases iniciais do tempo no teste de resistência isométrico Basal ($196,15\pm 47,53$ N versus $144,94\pm 49,79$ N,

respectivamente $p < 0,01$) e 25% ($165,69 \pm 47,84$ N versus $129,46 \pm 32,03$ N, respectivamente, $p < 0,037$), além da fase intermediária de 75% ($115,68 \pm 36,51$ versus $80,27 \pm 27,09$ N, respectivamente, $p < 0,007$). O grupo FBM Ativo com 500 J conseguiu manter a força constante nos primeiros momentos do TRI (Basal e 25%), demonstrando fadiga em 50% e sequentemente com manutenção da força até 75% ($115,68 \pm 36,51$ N), diferindo do grupo TFBM Placebo, que apresentou fadiga em 75% ($80,27 \pm 27,09$ N) e depois em 100% ($58,48 \pm 18,26$ N) do TRI ($F = 32,645$, $p < 0,0001$) (tabela 5). As energias fotobiomoduladoras de 125,1 J e 315 J não apresentaram diferença significativa entre os grupos ativos e placebos entre os tempos no TRI (Tab. 5).

Tabela 5 – Análise da Força no Percentual (%) do tempo no Teste de Resistência Isométrico (TRI) com e sem FBM (Ativa ou Placebo), após aplicações imediatas das energias irradiadas (125,1 J, 315 J e 500J).

Grupos	Percentual do Tempo no Teste de Resistência Isométrico					Comparação entre os tempos	
	Basal	25	50	75	100		
Força (N) Média (dp)	FBM Ativo 125,1 J	187,70 (73,94) <u>aA</u>	153,37 (48,92) <u>aA</u>	129,18 (50,41) <u>aA</u>	97,25 (43,64) <u>bA</u>	75,12 (25,58) <u>bA</u>	$F(1,906; 24,774) = 22,281$; $p < 0,0001$ $F(2,530; 32,887) = 39,816$; $p < 0,0001$
	FBM Placebo 125,1 J	186,48 (40,50) <u>aA</u>	170,72 (41,44) <u>aA</u>	139,03 (41,79) <u>bA</u>	120,71 (38,20) <u>cA</u>	68,14 (40,55) <u>dA</u>	
Comparação entre Ativo e Placebo	$t(26) = 0,058$, $p > 0,05$	$t(26) = -0,9898$, $p > 0,05$	$t(26) = -0,563$, $p > 0,05$	$t(26) = -1,514$, $p > 0,05$	$U = 74,500$, $p > 0,280$		
Força (N) Média (dp)	FBM Ativo 315 J	202,25 (63,06) <u>aA</u>	159,18 (42,20) <u>bA</u>	145,27 (47,97) <u>bcA</u>	115,72 (32,26) <u>cA</u>	70,36 (18,48) <u>dA</u>	$F(4; 52) = 45,611$; $p < 0,0001$ $X^2(4) = 42,222$, $p < 0,0001$.
	FBM Placebo 315J	193,27 (63,09) <u>aA</u>	137,97 (43,67) <u>bA</u>	138,86 (46,22) <u>cA</u>	120,49 (42,76) <u>dA</u>	83,24 (41,36) <u>eA</u>	
Comparação entre Ativo e Placebo	$t(26) = 0,376$, $p > 0,05$.	$t(26) = 1,307$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,360$, $p > 0,05$.	$t(26) = -0,338$, $p > 0,05$	$U = 88,500$, $p > 0,662$		
Força (N) Média (dp)	FBM Ativo 500 J	196,15 (47,53) <u>aA</u>	165,69 (47,84) <u>aA</u>	127,46 (38,52) <u>bA</u>	115,68 (36,51) <u>bA</u>	61,27 (27,81) <u>cA</u>	$F(4; 52) = 48,083$; $p < 0,0001$ $F(2,083; 27,076) = 32,645$; $p < 0,0001$
	FBM Placebo 500J	144,94 (49,79) <u>aB</u>	129,46 (32,03) <u>aB</u>	110,23 (32,99) <u>bA</u>	80,27 (27,09) <u>cB</u>	58,48 (18,26) <u>dA</u>	
Comparação entre Ativo e Placebo	$t(26) = 2,784$, $p < 0,01$	$t(26) = 2,355$, $p < 0,037$	$t(26) = 1,271$, $p > 0,05$	$t(26) = 2,2914$, $p < 0,007$.	$t(26) = 0,314$, $p > 0,05$		

Letras minúsculas significa a comparação das Forças nos percentuais do Tempo (Basal, 25%, 50%, 75% e 100%) no Teste de Resistência Isométrico em único grupo (linha da tabela). Letras Maiúsculas significa comparação entre as Forças do grupo de FBM Ativo e Placebo e sua respectiva energia (coluna da tabela). Letras semelhantes não apresentam diferença estatisticamente significantes.

Na comparação da Fmed (tabela 6) nas porcentagens do tempo de resistência isométrico máximo, não houve diferença significativa da TFBM Ativo com energia de 125,1 J em relação ao TFBM Placebo em basal ($t = -0,418$, $P = 0,680$), 25% ($t = 0,066$, $P = 0,948$), 50% ($t = -0,237$, $P = 0,814$), 75% ($t = 0,419$, $P = 0,678$) e 100% ($t = 0,240$, $P = 0,813$). Com a energia de 315 J não houve diferença significativa da Fmed entre os grupos FBM

Ativo e Placebo no tempo de resistência isométrico em basal ($t=0,200$, $P=0,946$), 25% ($t=0,321$, $P=0,751$), 50% ($t=-0,760$, $P=0,454$), 75% ($t=0,098$, $P=0,923$) e 100% ($t=1,218$, $P=0,234$). Do mesmo modo, o comportamento das Fmed com a energia de 500 J não apresentaram diferença significativa entre os grupos FBM Ativo e Placebo no tempo de resistência isométrico em basal ($t=-0,251$, $P=0,804$), 25% ($t=0,938$, $P=0,357$), 50% ($t=0,231$, $P=0,819$), 75% ($t=-1,111$, $P=0,277$) e 100% ($t=-0,147$, $P=0,884$).

Na análise da Fmed, a TFBM Ativo com energia de 125,1 J, não mostrou diferença significativa ao longo do tempo da resistência isométrica ($F=4,301$, $P=0,0001$), por outro lado, no seu respectivo grupo Placebo a Fmed apresenta redução significativa do basal em relação ao tempo de 100% ($F= 6,395$, $P=0,0001$).

Tabela 6: Análise da Frequência Mediana (Hz) no Percentual Temporal do Teste de Resistência Isométrico com Terapia de Fotobiomodulação Ativa ou Placebo, após aplicações imediatas das energias irradiada de 125,1 J, 315 J e 500 J.

	Grupos	Percentual do Tempo no Teste de Resistência Isométrico					Comparação entre os tempos
		Basal	25	50	75	100	
Fmed (Hz) Média (dp)	FBM Ativo 125,1 J	101,35 (13,88) <u>aA</u>	96,61 (24,11) <u>aA</u>	92,20 (20,60) <u>aA</u>	91,71 (13,61) <u>bA</u>	88,72 (11,43) <u>aA</u>	$F(2,557; 33,241) = 4,301$; $p < 0,0001$ $F(4, 52) = 6,395$; $p < 0,0001$
	FBM Placebo 125,1 J	103,66(15,36) <u>aA</u>	96,19 (25,22) <u>aA</u>	94,07 (19,86) <u>aA</u>	89,57 (13,69) <u>bA</u>	87,72 (8,43) <u>bA</u>	
Comparação entre Ativo e Placebo		$t(26) = -0,418$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,066$, $p > 0,05$	$t(26) = -0,237$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,419$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,240$, $p > 0,05$	
Fmed (Hz) Média (dp)	FBM Ativo 315 J	96,45 (11,08) <u>aA</u>	94,34 (22,78) <u>bA</u>	82,73 (16,57) <u>bA</u>	82,97 (16,73) <u>bA</u>	85,96 (16,58) <u>bA</u>	$F(2,812; 36,556) = 7,396$; $p < 0,0001$ $F(2,381, 30,953) = 14,250$; $p < 0,0001$
	FBM Placebo 315J	99,45 (16,57) <u>aA</u>	92,36 (24,50) <u>aA</u>	86,96 (17,02) <u>bA</u>	82,38 (14,18) <u>bcA</u>	78,96 (14,01) <u>bcA</u>	
Comparação entre Ativo e Placebo		$t(26) = -0,564$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,321$, $p > 0,05$	$t(26) = -0,760$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,098$, $p > 0,05$	$t(26) = 1,218$, $p > 0,05$	
Fmed (Hz) Média (dp)	FBM Ativo 500 J	97,79 (14,56) <u>aA</u>	92,23 (21,72) <u>bA</u>	83,32(16,63) <u>bcA</u>	79,73 (12,29) <u>bcA</u>	80,43 (14,25) <u>bcA</u>	$F(2,381, 30,953) = 14,250$; $p < 0,0001$ $F(5, 452) = 12,853$; $p < 0,0001$
	FBM Placebo 500J	99,30 (17,06) <u>aA</u>	87,93 (19,13) <u>bA</u>	82,11 (14,91) <u>bA</u>	85,45 (14,25) <u>bA</u>	81,21 (14,52) <u>bA</u>	
Comparação entre Ativo e Placebo		$t(26) = -0,251$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,938$, $p > 0,05$	$t(26) = 0,231$, $p > 0,05$	$t(26) = -1,111$, $p > 0,05$	$t(26) = -1,147$, $p > 0,05$	

Letras minúsculas significam a comparação das Frequências Mediana (Fmed) nos percentuais do Tempo (Basal, 25%, 50%, 75% e 100%) no Teste de Resistência Isométrico em único grupo (linha da tabela). Letras Maiúsculas significam comparação entre as Forças do grupo Ativo e Placebo e sua respectiva energia da Fotobiomodulação (TFBM) (coluna da tabela). Letras semelhantes não apresentam diferença estatisticamente significantes.

No TFBM Ativo com energia de 315 J a Fmed apresenta redução significativa no tempo de resistência isométrico basal em relação aos tempos de 50, 75 e 100% ($F= 7,396$;

p=0,0001). Do mesmo modo, há efeito da fadiga ao longo do tempo, demonstrando que a Fmed no tempo Basal e a 25% não apresentam diferença significativa, mas diferem com menor Fmed em 50, 75 e 100% do tempo de resistência isométrica. (F=14,250, P=0,0001). Apesar de não existir diferença significativa entre os grupos com 315 J de energia ao longo do tempo, há maior declínio percentual da Fmed do FBM Placebo (19,56%) em relação ao FBM Ativo (9,51%) (Tabela 7).

Na irradiação com 500 J demonstrou que a média da Fmed no tempo Basal no grupo TFBM Ativo difere significativamente das demais frequências ao longo do tempo de contração isométrica (25%, 50%, 75% e 100%). A média da Fmed a 25% do tempo de contração apresentou diferença significativa ao longo do tempo de resistência isométrica em relação a 50%, 75% e 100%. As médias das Fmed não apresentaram diferença significativa nos tempos totais de contração isométricas a 50%, 75% e 100% (F=14,250, P=0,0001). A média da Fmed do tempo Basal no grupo TFBM Placebo difere significativamente das demais frequências ao longo do tempo de contração isométrica (25%, 50%, 75% e 100%), entretanto não ocorreu diferença significativa nos tempos totais de resistência isométricas em 25%, 50%, 75% e 100%. (F= 12,853, P=0,0001).

Tabela 7 Análise da Frequência Mediana (Fmed) no TRI Máximo entre Basal e 100% (em Hertz e porcentagem).

Diferença da Fmed entre Basal e 100% em Hertz (Hz)	Porcentagem (%) de declínio da Fmed entre Basal e 100%
125.1 J FBM= Fmed de 101,35Hz para 88,72Hz = 12,63Hz Placebo = Fmed de 103,66Hz para 87,72Hz = 15,95Hz	125.1 J FBM: Declínio médio de 10.07% Placebo: Declínio médio de 14.04% Diferença entre FBM e Placebo: 3.97 %
315 J FBM =Fmed de 96,45 Hz para 85,96Hz = 10,45Hz Placebo = Fmed de 99,45 Hz para 78,96Hz = 20,49Hz	315 J FBM: Declínio médio de 9.51% Placebo: Declínio médio de 19.56% Diferença entre FBM e Placebo: 10.05 %
500 J FBM= Fmed de 97,79Hz para 80,43Hz = 17,36Hz Placebo=Fmed de 99,30Hz para 81,21Hz = 18,09Hz	500 J FBM: Declínio médio de 16.50% Placebo: Declínio médio de 18.00 % Diferença entre FBM e Placebo: 1.5 %

8 DISCUSSÃO

A relação de dependência da dose na Terapia de Fotobiomodulação (TFBM) para otimizar o rendimento físico foi realizado em alguns estudos para encontrar a melhor resposta energética em atletas amadores (Rossato et al., 2020) e profissionais (Ferraresi et al., 2015). A partir de revisão da literatura, o presente estudo é o primeiro a investigar a melhor “janela terapêutica”, com as energias de 125,1 J, 315 J e 500 J por meio de uma matriz de Laser/LED, aplicadas antes do Teste de Resistência Isométrico (TRI) para a prevenção da fadiga muscular em pessoas idosas na cadeira extensora da perna. A energia de 500 J estabeleceu a melhor relação de dependência da dose, com otimização no tempo de rendimento da contração muscular isométrica e na sustentação da força muscular durante o TRI nas idosas.

O achado mais relevante ocorreu na irradiação com a energia de 500 J (tabela 4), demonstrando um desempenho na diferença percentual do tempo no TRI de 194,21% no grupo TFBM Ativo, comparado a 70,16% no grupo TFBM Placebo ($p < 0,05$). Este efeito ressalta o potencial ergogênico da TFBM, no prolongamento da capacidade de contração isométrica em energias elevadas. A resposta dose-dependente observada neste estudo é coerente com a literatura, que aponta a TFBM, aplicada em doses elevadas, maior impacto sobre os processos bioenergéticos celulares (Silveira et al., 2009; Ferraresi et al., 2012). Conforme relatado por Huang et al. (2011). A TFBM atua principalmente na cadeia de transporte de elétrons (CTE), aumentando a atividade do citocromo C oxidase e, conseqüentemente, a produção de ATP (Huang et al., 2011). Este mecanismo é essencial para melhorar a recuperação muscular e mitigar a fadiga periférica, especialmente durante atividades de alta intensidade, nas quais ocorre a depleção de fosfocreatina e o aumento do acúmulo de metabólitos como lactato e espécies reativas de oxigênio (Allen et al., 2008; Westerblad et al., 2010). A intervenção com TFBM favorece uma ressíntese de fosfocreatina, contribuindo para a manutenção do metabolismo energético e do desempenho físico (Silveira et al., 2009; Hamblin, 2016). Estudos também indicam que a TFBM pode estimular a biogênese mitocondrial, aumentando a quantidade e a eficiência das mitocôndrias nas fibras musculares, o que resulta em maior capacidade oxidativa e resistência muscular (Manteifel et al., 2005; Karu et al., 2010).

O expressivo aumento no tempo do TRI observado no grupo de 500 J pode ser explicado pelo potencial da TFBM promover vasodilatação e aumentar o fluxo sanguíneo local, como observado em análise com câmera termográfica por Paolillo et al. (2013), que

utilizaram a TFBM com uma matriz de LEDs (830 nm) em mulheres pós-menopausa em caminhada na esteira ergométrica com fluência de 108 J/cm² em cada membro. O aumento do fluxo sanguíneo e o maior aporte de oxigênio ao tecido muscular podem reduzir o acúmulo de lactato e melhorar a ressíntese de fosfocreatina (Ferraresi et al., 2012; Paolillo et al., 2013).

As doses de 125,1J e 315J (tabela 4) não demonstraram diferenças significantes com seus respectivos grupos Placebos, corroborando a hipótese de que doses menores e intermediárias são insuficientes para induzir efeitos significativos no rendimento muscular (Allen et al., 2008; Ferraresi et al., 2012). Por outro lado, Miranda et al. (2014) demonstraram aumento no tempo de resistência na contração muscular isométrica ao irradiar previamente ao TRI a energia de 125,1 J no músculo quadríceps femoral em participantes com 60 ± 8 anos, IMC médio de 27,4±5,1 Kg/m² e com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC). No enfisematoso, normalmente, há evidências de redução da massa adiposa e muscular, promovendo restrição na atividade funcional e na qualidade de vida (Shimada et al., 2023). No presente estudo, a TFBM com 125,1 J não suplementou a otimização do rendimento físico para sustentar maior tempo de resistência na contração isométrica, visto que a maior espessura do tecido adiposo (percentual de gordura corporal de 42,7±5,9% e IMC de 31,1±4,6) pode ter atenuado a penetração da energia da luz com 125,1 J na pele até o músculo QF. Estes resultados, apontam que a relação da energia para otimizar o rendimento físico é dose-depende nas condições corporais, sendo importante administrar dose elevada em praticantes de exercício com maior espessura de gordura na composição corporal. No presente estudo, a fotobiomodulação com dose de 500 J administrada no QF de idosas antes do TRI promoveu o aumento do tempo de resistência na fadiga periférica. Esses achados sugerem que a energia fotônica com 500 J, apresentou atenuação ao longo dos tecidos corpóreos das idosas deste estudo, principalmente pelo maior percentual de gordura analisado na bioimpedância, com possível janela terapêutica ideal para modular as repostas das células musculares (Turner, 2002), sendo a faixa terapêutica convencionalmente utilizada para efeitos ergogênicos entre 60 a 300 J para grupos musculares maiores (Leal-Junior et al., 2019).

A energia de 500 J (tabela 5) mostrou efeito significativo de preservação de força com diferença estatisticamente significativa entre os grupos Ativo e Placebo nos tempos basal, 25% e 75% do TRI, uma vez que as energias de 125,1 J e 315 J não apresentaram diferenças entre TFBM Ativa e Placebo. Esse efeito ergogênico se alinha aos achados de Larkin-Kaiser et al. (2016) em atividade isométrica de preensão digital, com energias de

240 J e 480 J prolongando o tempo até a falha e mitigando a fadiga. Do mesmo modo, os resultados de Rossato et al. (2020) com doses de 270 e 540 J de TFBM pré-teste reduziram a queda do torque isométrico e melhora da resistência à fadiga no músculo quadríceps femoral em atletas amadores praticantes de treinamento resistido. Por outro lado, Toma et al. (2018), com dose 129,6 J, relataram aumento de torque e redução no índice de fadiga em mulheres. Outros ensaios com jovens e dosagem entre 20 a 60 J por sítio ou 60 a 300 J em músculos grandes demonstram efeitos positivos na fadiga e resistência física, mas inconsistentes para força máxima (Vanin et al., 2018). Ensaios em idosos que associaram TFBM (240 J por membro aplicado antes do treinamento por 12 semanas) com treinamento resistido não apresentaram ganhos adicionais significativos na força isométrica ou dinâmica em relação ao placebo (Fritsch et al., 2019). Assim, doses superiores a 300 J tendem a apresentar efeitos ergogênicos mais consistentes em mitigar a força muscular durante a prática do exercício físico, corroborando a diferença observada apenas em 500 J no presente estudo. Isso sugere que os efeitos agudos da TFBM (como investigado no presente modelo) podem não se traduzir em adaptações a longo prazo, se não houver uma dose suficientemente elevada ou protocolo específico.

A redução da força muscular é uma das principais limitações funcionais em idosos e está associada à redução do número de unidades motoras funcionais, à instabilidade das junções neuromusculares e à menor eficiência na ativação neural (Hunter et al. 2016). As fibras musculares esqueléticas também sofrem atrofia, resultando em músculos menos eficientes na produção de força (McArdle et al., 2018). A TFBM tem impacto sobre o sistema nervoso, uma vez que os fótons também são absorvidos por cromóforos neuronais. Esse processo excita a membrana plasmática dos neurônios e potencializa a despolarização celular, tornando os neurônios motores mais responsivos, devido ao aumento da função mitocondrial, a regulação da atividade dos canais iônicos, o fornecimento de neuroproteção e maior plasticidade sináptica (Giannesini et al., 2003). Zhang et al. (2024) retratam que a TFBM modula canais como receptores de glutamato, receptor de acetilcolina, canais de potássio e sódio, além de canais de receptor de potencial transitório, com a otimização da propagação dos sinais elétricos, influenciando diretamente a propagação de potenciais de ação e mitigação da fadiga central.

Os resultados desta pesquisa no espectro da Frequência Mediana (tabela 6) analisada na eletromiografia demonstram que a TFBM Ativa com suas respectivas energias (125,1 J, 315 J e 500 J) ao longo do tempo de análise (basal, 25, 50, 75 e 100%) não podem influenciar positivamente na prevenção da fadiga eletromiográfica durante as

contrações isométricas prolongadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Toma et al. (2013) ao irradiar 8 pontos no músculo Reto Femoral de idosas, totalizando 56 J de fluência, demonstrando que a Laserterapia aumentou o número de repetições isotônicas em cadeira extensora, porém não demonstravam o retardo da fadiga muscular no grupo de Laserterapia em relação ao seu placebo. Por outro lado, Miranda et al. (2014) desenvolveu o teste de resistência isométrica a 60% da contração isométrica voluntária máxima (CIVM), até o limite de tolerância a 20% da CIVM, obtendo um limiar de fadiga suficiente em participantes com DPOC, demonstrando que a terapia a LED minimizou a fadiga muscular pela análise da Fmed e aumentou o tempo de resistência a fadiga. Neste estudo, foi utilizado protocolo de fadiga similar, porém em idosos saudáveis, demonstrando que possivelmente o limiar de 60% para o início do teste foi insuficiente para induzir um rápido estresse metabólico. Nesse sentido, seria interessante adotar um protocolo de início entre 75 a 80 % da CIVM para sobrecarregar o sistema muscular das idosas (Fleck e Kraemer, 2017). A literatura demonstra que quanto maior o déficit energético do paciente, maior será a resposta terapêutica por meio da fotobiomodulação (Tunér e Hode, 2002, Corazza et al. 2007; Corazza et al., 2013).

Diferentemente dos protocolos convencionais que utilizam canetas (aplicação pontual em múltiplos pontos) ou clusters (pequenos arranjos de diodos), empregou-se no presente estudo uma matriz híbrida de Laser e LED cobrindo uma área de 168 cm² com 40 diodos. Este tipo de aplicador oferece cobertura homogênea do músculo-alvo sem necessidade de múltiplas reposições ou varreduras, reduzindo variabilidade entre pontos e permitindo aplicação de doses mais altas em menor tempo (Paolillo et al., 2013; Leal-Junior et al., 2019). A literatura ainda é escassa sobre matrizes híbridas de grande área, mas evidências recentes apontam que combinações de LED e Laser de Baixa Potência podem potencializar efeitos terapêuticos, especialmente em protocolos de resistência muscular (Ferraresi et al., 2019; Huang et al., 2011).

Os comprimentos de onda utilizados na matriz híbrida (Laser 808 ± 4 nm e LED 850 ± 20 nm) estão dentro da faixa do **infravermelho próximo (NIR)**, considerada ideal para atingir tecidos musculares profundos devido à menor absorção pela água e maior penetração tecidual (de 2 a 5 cm) (Leal-Junior et al., 2019; de Almeida et al., 2023). Estudos prévios demonstraram que a aplicação de Lasers ou LEDs em torno de 808–850 nm promovem melhora do desempenho muscular, resistência e recuperação após exercício, principalmente em protocolos com idosos e mulheres pós-menopausa (Toma et al., 2013; Vassão et al., 2016). Em nosso estudo, observou-se que a energia de 500 J

foi capaz de otimizar significativamente a variação percentual do tempo no TRI em comparação ao placebo ($p < 0,027$), indicando que a combinação de comprimentos de onda utilizados foi efetiva para influenciar mecanismos celulares como aumento da síntese de ATP e redução de marcadores de fadiga (Leal-Junior et al., 2019).

A população idosa está desenvolvendo a consciência da importância da prática do exercício físico para a qualidade de vida, entretanto fatores como a dor muscular de início tardio, dores articulares e a fadiga muscular desestimulam a manutenção nos programas de treinamento físico (Justine et al., 2013). Em termos práticos, a aplicação da TFBM em populações idosas e com alto risco de redução da massa e força muscular (sarcopenia), sugere um grande potencial clínico. Programas de reabilitação muscular ou protocolos de treinamento para essa população poderiam incorporar a TFBM como um meio de melhorar a função muscular e retardar o surgimento da fadiga (Lanferdini et al., 2017; Coffey et al., 2007). Ademais, a dose de 500J foi eficaz na otimização do rendimento da contração muscular isométrica, o que pode beneficiar atividades funcionais diárias, favorecendo a independência física e a qualidade de vida em idosos. Em conjunto, esses achados indicam que a TFBM pode ser uma ferramenta valiosa no combate ao declínio da capacidade muscular decorrente do envelhecimento e no estímulo do idoso na prática contínua do exercício físico.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que a TFBM proporcionou uma melhora estatisticamente significativa no rendimento físico por meio do tempo de resistência isométrica e na fadiga da força muscular, sugerindo maior eficiência muscular. Esses achados estão alinhados com a literatura, que destaca o papel da TFBM na promoção de bioestimulação mitocondrial e aumento da síntese de ATP, resultando em maior resistência muscular.

Dessa forma, a TFBM com a Matriz Híbrida de Laser/LED surge como uma potencial estratégia terapêutica para a reabilitação e o treinamento de resistência em populações idosas, contribuindo para a manutenção da funcionalidade e da qualidade de vida. Além disso, a resposta dose-dependente observada neste estudo reforça a importância da escolha criteriosa das doses para se atingir o efeito ergogênico desejado, fornecendo uma base para estudos futuros que investiguem protocolos de aplicação otimizados da TFBM para diferentes contextos clínicos e de desempenho físico. Esses resultados abrem caminhos promissores para a incorporação da TFBM em programas de atividade física e reabilitação, visando a prevenção da redução da função muscular associada ao envelhecimento.

10 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a TFBM com dose de 500 J pode ser uma intervenção eficaz para melhorar a resistência muscular e retardar a fadiga física em mulheres idosas, analisadas a partir do tempo de execução e força muscular no teste de resistência isométrica.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AILIOAIE, LAURA MARINELA; LITSCHER, GERHARD. Probióticos, fotobiomodulação e gestão de doenças: Controvérsias e desafios. **International Journal of Molecular Sciences** , v. 22, n. 9, p. 4942, 2021.
2. ALLEN D.G, LAMB G.D, WESTERBLAD H. SKELETAL Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. *Physiol Rev.* 2008 Jan;88(1):287-332. doi: 10.1152/physrev.00015.2007. PMID: 18195089.
3. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (ACSM). (2018). American College of Sports Medicine's guidelines for exercise testing and prescription |Guidelines for exercise testing and prescription Description: Tenth edition. | Philadelphia, PA : Wolters Kluwer Health, [2018] | Includes bibliographical references and index. Identifiers: LCCN 2016042823 | ISBN 9781496339065
4. AMERICAN HEART ASSOCIATION (AHA). (2020). **Physical Activity and Heart Health**. Disponível em: <https://www.heart.org>
5. ANTONIO, CARLOS ROBERTO. 2018. **Laser: Princípios básicos e avançados**. Ipele: Livro Online, Set 2018
6. ASCENSÃO, ANTÓNIO; MAGALHÃES, JOSÉ; OLIVEIRA, JOSÉ; DUARTE, J. A.; SOARES, JOSÉ. Physiology of muscle fatigue. Conceptual delimitation, study models and mechanisms of fatigue of central and peripheral origin. **FADEUP - Article in National Scientific Journal**.(2003)<https://hdl.handle.net/10216/87236>
7. BAGNATO, VANDERLEI SALVADOR. PAOLILLO, FERNANDA ROSSI - New approaches to phototherapy for physical conditioning and rehabilitation. São Carlos: **Compacta Gráfica e Editora**, 2014. 198p. ISBN 978-85-88533-94-3
8. BARONI, BRUNO MANFREDINI et al. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. **European journal of applied physiology**, v. 110, p. 789-796, 2010..
9. BASMAJIAN J, DE LUCA CJ. Muscle Alive: **Their Functions Revealed by Electromyography**. Ed. Williams & Wilkins, 5ª ed, 1985.
10. BASMAJIAN, JOHN V. Their function revealed by Electromyography. **Muscle Alive**, v. 212, 1985.

11. BORSA, PAUL A.; LARKIN, KELLY A.; TRUE, JERRY M. Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. **Journal of Athletic Training**, v. 48, n. 1, p. 57-67, 2013.
12. BOTTINELLI, RYCR; REGGIANI, C. Fibras musculares esqueléticas humanas: diversidade molecular e funcional. Progress in biophysics and molecular biology , v. 73, n. 2-4, p. 195-262, 2000. doi:10.1016/s0079-6107(00)00006-7
13. BRASIL, V. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise em Saúde e Vigilância de Doenças Não Transmissíveis. **Vigitel Brasil 2021. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Análise em Saúde e Vigilância de Doenças não Transmissíveis**. Brasília, 2021 [em linha]. 2021.
14. CLARYS, JAN PIETER; CABRI, JAN. Electromyography and the study of sports movements: a review. **Journal of sports sciences**, v. 11, n. 5, p. 379-448, 1993. <https://doi.org/10.1080/02640419308730010>
15. CLIJSEN, RON et al. Effects of low-level laser therapy on pain in patients with musculoskeletal disorders: a systematic review and meta-analysis. **European Journal of physical and rehabilitation medicine**, v. 53, n. 4, p. 603-610, 2017. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04432-X. Epub 2017 Jan 30. PMID: 28145397.
16. COFFEY, VERNON G.; HAWLEY, JOHN A. The molecular bases of training adaptation. **Sports medicine**, v. 37, p. 737-763, 2007. doi: 10.2165/00007256-200737090-00001. PMID: 17722947.
17. CORAZZA, A.V.; JORGE, J.; KURACHI, C.; BAGNATO, V.S. Photobiomodulation on the angiogenesis of skin wounds in rats using different light sources. **Photomedicine and Laser Surgery**. v. 25, n.2, p.102-106, 2007. 10.1089/pho.2006.2011.
18. CORAZZA, ADALBERTO VIEIRA et al. Phototherapy and resistance training prevent sarcopenia in ovariectomized rats. **Lasers in medical science**, v. 28, p. 1467-1474, 2013.
19. COSTA, IVAN PERES et al. Acute Effects Using Light-Emitting Diode Therapy (LEDT) for Muscle Function during Isometric Exercise in Asthma Patients: A Pilot Study. **BioMed research international**, v. 2019, n. 1, p. 7501870, 2019.
20. COTLER, HOWARD B. et al. The use of low level laser therapy (LLL) for musculoskeletal pain. **MOJ orthopedics & rheumatology**, v. 2, n. 5, 2015. <https://doi.org/10.15406/mojor.2015.02.00068>

21. CRUZ-JENTOFT, ALFONSO J. et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. **Age and ageing**, v. 48, n. 1, p. 16-31, 2019.
22. CULLEN, MICHAEL-FLYNN L.; CASAZZA, GRETCHEN A.; DAVIS, BRIAN A. Passive recovery strategies after exercise: a narrative literature review of the current evidence. **Current sports medicine reports**, v. 20, n. 7, p. 351-358, 2021.doi:10.1249/JSR.0000000000000859
23. CUNHA, RONALDO ALVES et al. Photobiomodulation therapy and NMES improve muscle strength and jumping performance in young volleyball athletes: a randomized controlled trial study in Brazil. **Lasers in medical science**, v. 35, n. 3, p. 621-631, 2020.
24. DALMOLIN, EDUARDA BOSA et al. Photobiostimulation in patients with shoulder impact syndrome. Randomized clinical trial. **BrJP**, v. 4, n. 2, p. 113-118, 2021.Available from: <https://doi.org/10.5935/2595-0118.20210033>
25. DAO, TAM et al. Sarcopenia and muscle aging: a brief overview. *Endocrinology and metabolism*, v. 35, n. 4, p. 716-732, 2020.
26. DAS NEVES, MARCELE FLORÊNCIO et al. Effects of low-level laser therapy (LLLT 808 nm) on lower limb spastic muscle activity in chronic stroke patients. **Lasers in Medical Science**, v. 31, p. 1293-1300, 2016.
27. DE ALMEIDA, PATRÍCIA et al. Low-level laser therapy improves skeletal muscle performance, decreases skeletal muscle damage and modulates mRNA expression of COX-1 and COX-2 in a dose-dependent manner. **Photochemistry and Photobiology**, v. 87, n. 5, p. 1159-1163, 2011.
28. DE ALMEIDA, PATRÍCIA et al. Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better?. **Lasers in medical science**, v. 27, p. 453-458, 2012..
29. DE BRITO VIEIRA, Wouber Héricson et al. Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 32, n. 12, p. 678-685, 2014.
30. DE LUCA, CARLO J. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of applied biomechanics**, v. 13, n. 2, p. 135-163, 1997.
31. DE MARCHI, THIAGO 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**, v. 27, p. 231-236, 2012.

32. DE PAULA GOMES, CID ANDRÉ FIDELIS et al. Exercise program combined with electrophysical modalities in subjects with knee osteoarthritis: a randomised, placebo-controlled clinical trial. **BMC musculoskeletal disorders**, v. 21, n. 1, p. 258, 2020.
33. DE SOUZA, CLÉCIO GABRIEL et al. Low-level laser therapy reduces the fatigue index in the ankle plantar flexors of healthy subjects. **Lasers in medical science**, v. 31, n. 9, p. 1949-1955, 2016.
34. ENWEMEKA, CHUKUKA S. Intricacies of dose in laser phototherapy for tissue repair and pain relief. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 27, n. 3, p. 387-393, 2009..
35. FALCAI, MAURICIO JOSÉ et al. Biomechanical and histological analysis of the gastrocnemius in rats subjected to muscle injury and treatment with low-level laser therapy. **Revista Brasileira de Ortopedia** (English Edition), v. 45, n. 4, p. 444-448, 2010.
36. FERRARESI, CLEBER et al. Effects of light-emitting diode therapy on muscle hypertrophy, gene expression, performance, damage, and delayed-onset muscle soreness: case-control study with a pair of identical twins. **American journal of physical medicine & rehabilitation**, v. 95, n. 10, p. 746-757, 2016.559.
37. FERRARESI, CLEBER et al. Light-emitting diode therapy (LEDT) before matches prevents increase in creatine kinase with a light dose response in volleyball players. **Lasers in medical science**, v. 30, p. 1281-1287, 2015.
38. FERRARESI, CLEBER et al. Light-emitting diode therapy in exercise-trained mice increases muscle performance, cytochrome c oxidase activity, ATP and cell proliferation. **Journal of biophotonics**, v. 8, n. 9, p. 740-754, 2015.
39. FERRARESI, CLEBER; HAMBLIN, MICHAEL R.; PARIZOTTO, NIVALDO A. Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light: Low-Level-Laser (Licht)-Therapie an Muskelgewebe–Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und zur Behandlung von Muskelermüdung und Muskelverletzungen. **Photonics & lasers in medicine**, v. 1, n. 4, p. 267-286, 2012.
40. FERREIRA, Alice Teixeira. Fisiologia da contração muscular. **Revista Neurociências**, v. 13, p. 60-62, 2005..
41. FERREIRA, HEROS. Movimento repetitivo e fadiga muscular. **Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício**, v. 10, n. 2, p. 111-116, 2011.

42. FLECK, STEVEN J.; KRAEMER, WILLIAM J. Fundamentos do treinamento de força muscular. Artmed Editora, 2017.. Kraemer; tradução: Jerri Luis Ribeiro, Regina Machado Garcez; revisão técnica: Ronei Silveira Pinto, Matheus Daros Pin-to. - 4. ed. - Porto Alegre: **Artmed**, 2017. ISBN 978-85-8271-390-7
43. FRITSCH, CAROLINA G. et al. Effects of photobiomodulation therapy associated with resistance training in elderly men: a randomized double-blinded placebo-controlled trial. *European Journal of Applied Physiology*, v. 119, p. 279-289, 2019..
44. GIANNESINI, BENOÎT; COZZONE, PATRICK J.; BENDAHAN, DAVID. Non-invasive investigations of muscular fatigue: metabolic and electromyographic components. **Biochimie**, v. 85, n. 9, p. 873-883, 2003.
45. GREVENDONK, LOTTE et al. Impact of aging and exercise on skeletal muscle mitochondrial capacity, energy metabolism, and physical function. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p. 4773, 2021.
46. HAMBLIN, MICHAEL R. Mecanismos e aplicações dos efeitos anti-inflamatórios da fotobiomodulação. **AIMS biophysics** , v. 4, n. 3, p. 337, 2017.
47. HAMBLIN, MICHAEL R. Mitochondrial redox mechanisms and signaling in photobiomodulation. **Photochemistry and Photobiology** , v. 94, n. 2, p. 199-212, 2018.
48. HAMBLIN, MICHAEL R. Shining light on the head: Photobiomodulation for brain disorders. **BBA clinical**, v. 6, p. 113-124, 2016.
49. HENDLER, KETLYN GERMANN.; et.al. Complementary exams electronic resource: [revisão técnica: Thayne Woycinck, Diego Santos Fagundes] - Porto Alegre: **SAGAH**, 2019. ISBN 978-65-81492-30-4 1.
50. HERMENS, H. J.; FRERIKS, B.; DISSELHORST-KLUG, C.; RAU, G. Development of recommendations for semg sensors and sensor placement rocedures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 10, n.5, p. 361-74, 2000.
51. HERPICH, CATRIN et al. Age-related fatigue is associated with reduced mitochondrial function in peripheral blood mononuclear cells. **Experimental gerontology**, v. 144, p. 111177, 2021.
52. HUANG, YING-YING et al. Biphasic dose response in low level light therapy– an update. **Dose-response**, v. 9, n. 4, p. 11-009. Hamblin, 2011.

53. HUNTER, SANDRA K.; PEREIRA, HUGO M.; KEENAN, KEVIN G. The aging neuromuscular system and motor performance. **Journal of applied physiology**, 2016.
54. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saúde 2019: percepção do estado de saúde, estilos de vida, doenças crônicas e saúde bucal: Brasil e grandes regiões / **IBGE**, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Ministério da Saúde. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
55. INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION. GBD Compare. Seattle, WA: IHME; University of Washington, 2020. <https://www.healthdata.org/data-tools-practices/interactive-visuals/gbd-compare>
Acesso em: 20/11/2023
56. JANDOVA, TEREZA et al. Muscle hypertrophy and architectural changes in response to eight-week neuromuscular electrical stimulation training in healthy older people. **Life**, v. 10, n. 9, p. 184, 2020.
57. JÓWKO, EWA et al. The effect of low level laser irradiation on oxidative stress, muscle damage and function following neuromuscular electrical stimulation. A double blind, randomised, crossover trial. **BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation**, v. 11, p. 1-14, 2019.
58. JUSTINE, M.; AZIZAN, A.; HASSAN, V.; SALLEH, Z.; MANAF, H. Barriers to participation in physical activity and exercise among middle-aged and elderly individuals. **Singapore Medical Journal**. v. 54, n. 10, p. 581-586. 2013.
59. KALLENBERG, Laura AC et al. Myoelectric manifestations of fatigue at low contraction levels in subjects with and without chronic pain. **Journal of electromyography and kinesiology**, v. 17, n. 3, p. 264-274, 2007.
60. KARU, TIINA I. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. **IUBMB life**, v. 62, n. 8, p. 607-610, 2010.
61. KIRKENDALL, DONALD T. Mechanisms of peripheral fatigue. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 22, n. 4, p. 444-449, 1990.
62. KONRAD, Peter. The abc of emg. **A practical introduction to kinesiological electromyography**, v. 1, n. 2005, p. 30-5, 2005.
63. KRAEMER, WILLIAM J. FLECK, STEVEN J. DESCHENES, MICHAEL R. Fisiologia do exercício : teoria e prática / tradução Ana Cavalcanti Carvalho Botelho, Dilza Balteiro Pereira de Campos. - 2. ed. - Rio de Janeiro: **Guanabara**

- Koogan**, 2016.il.Tradução de: Exercise physiology: integrating theory and application ISBN 978-85-277-3033-4
64. LANFERDINI, FÁBIO J. et al. Improvement of performance and reduction of fatigue with low-level laser therapy in competitive cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 1, p. 14-22, 2018.
 65. LANFERDINI, FÁBIO JUNER et al. Effects of Photobiomodulation Therapy on Performance in Successive Time-to-Exhaustion Cycling Tests: A Randomized Double-Blinded Placebo-Controlled Trial. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology**, v. 8, n. 4, p. 144, 2023.
 66. LARKIN-KAISER, KELLY A. et al. Photobiomodulation delays the onset of skeletal muscle fatigue in a dose-dependent manner. **Lasers in Medical Science**, v. 31, n. 7, p. 1325-1332, 2016.
 67. LAURENTI, K. C. et al. Reabilitação com terapias combinadas: uma nova visão de otimização terapêutica. Recife: **Even3 Publicações**, 2023. DOI 10.29327/5156086.
 68. LEAL JUNIOR, ERNESTO CESAR 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**, v. 26, p. 493-501, 2011.
 69. LEAL JUNIOR, ERNESTO CESAR PINTO et al. Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLT) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. **Photomedicine and laser surgery**, v. 27, n. 4, p. 617-623, 2009..
 70. LEAL JUNIOR, ERNESTO CESAR PINTO et al. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. **Photomedicine and laser surgery**, v. 26, n. 5, p. 419-424, 2008..
 71. LEAL JUNIOR, Ernesto Cesar Pinto et al. Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. **Lasers in medical science**, v. 24, p. 857-863, 2009.
 72. LEAL JUNIOR, ERNESTO CESAR PINTO et al. Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. **Lasers in medical science**, v. 24, p. 425-431, 2009.

73. LEAL JUNIOR, ERNESTO CESAR PINTO et al. Low-level laser therapy enhances muscular performance as measured by isokinetic dynamometry in humans. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 17, p. 317-321, 2010.
74. LEAL, ERNESTO CESAR PINTO et al. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery. **journal of orthopaedic & sports physical therapy**, v. 40, n. 8, p. 524-532, 2010.
75. LEAL-JUNIOR, ERNESTO CESAR PINTO 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**, v. 30, p. 925-939, 2015.
76. LEAL-JUNIOR, ERNESTO CESAR PINTO; LOPES-MARTINS, RODRIGO ÁLVARO BRANDÃO; BJORDAL, JAN MAGNUS. 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**, v. 23, n. 1, p. 71-75, 2019.
77. LIEBER RL. Skeletal muscle structure function and plasticity: the physiological basis of rehabilitation. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott; 2002.
78. MANCA, ANDREA et al. A survey on the use and barriers of surface electromyography in neurorehabilitation. **Frontiers in Neurology**, v. 11, p. 573 - 616, 2020.
79. MANSOUR, NOURA REDA. Cinesiologia e fisiologia do exercício. Porto Alegre: **SAGA**, 2019. ISBN 978-85-9502-854-8
80. MANTEIFEL, V. M.; KARU, T. I. Structure of mitochondria and activity of their respiratory chain in successive generations of yeast cells exposed to He-Ne laser light. **Biology Bulletin**, v. 32, p. 556-566, 2005.
81. MARCHETTI, PAULO HENRIQUE; DUARTE, MARCOS. Instrumentação em eletromiografia. Laboratório de Biofísica, Escola de Educação Física e Esporte. São Paulo: **Universidade de São Paulo**, 2006..
82. MARCO, GAZZONI; ALBERTO, BOTTER; TAIAN, VIEIRA. Surface EMG and muscle fatigue: multichannel approaches to the study of myoelectric manifestations of muscle fatigue. **Physiological measurement** , v. 38, n. 5, p. R27, 2017.

83. MCARDLE, WILLIAM D. Fisiologia do exercício | Nutrição, energia e desempenho humano / William D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch; Revisão técnica Fábio C. Prosdócimi; Tradução Dilza Balteiro Pereira de Campos, Patricia Lydie Voeux. – 8. ed. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, 2018. il. Tradução de: Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance ISBN 978-85-277-3015-0
84. MEDEIROS, D. M Efeitos da Laserterapia de Baixa Potencia na Reabilitação de Lesão Muscular de Isquiotibiais: Um ensaio Controlado Randomizado. 2019 **Universidade Federal da Ciências da Saúde de Porto Alegre**, Programa de Pós-graduação em Ciências em Reabilitação, 2019 <https://repositorio.ufcspa.edu.br/handle/123456789/1012>
85. MERLETTI R, PARKER PA. *Electromyography: Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*. Ed; Wiley Interscience, 494 p, 2004.
86. MEZZAROBA, PAULO V. et al. LED session prior incremental step test enhance VO 2max in running. **Lasers in Medical Science**, v. 33, p. 1263-1270, 2018.
87. MIRANDA, Eduardo Foschini et al. Acute effects of light emitting diodes therapy (LEDT) in muscle function during isometric exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease: preliminary results of a randomized controlled trial. **Lasers in medical science**, v. 29, n. 1, p. 359-365, 2014.
88. MIRANDA, EDUARDO FOSCHINI et al. Using pre-exercise photobiomodulation therapy combining super-pulsed lasers and light-emitting diodes to improve performance in progressive cardiopulmonary exercise tests. **Journal of Athletic Training**, v. 51, n. 2, p. 129-135, 2016.
89. NOGUEIRA, GUSTAVO TRALLI et al. Effect of low-level laser therapy on proliferation, differentiation, and adhesion of steroid-treated osteoblasts. **Lasers in medical science**, v. 27, p. 1189-1193, 2012
90. O'CONNOR, DOMINIC; BRENNAN, LOUISE; CAULFIELD, BRIAN. The use of neuromuscular electrical stimulation (NMES) for managing the complications of ageing related to reduced exercise participation. **Maturitas**, v. 113, p. 13-20, 2018.
91. OCARINO, JULIANA DE MELO; DA SILVA, PAULA LANNA PEREIRA; VAZ, DANIELA VIRGÍNIA; DE AQUINO, CECÍLIA FERREIRA; BRÍCIO, RACHEL SOARES; DA FONSECA SÉRGIO TEIXEIRA. Electromyography:

- interpretation and applications in the rehabilitation sciences. **Fisioterapia Brasil** – v.6 – n. 4 - julho/agosto de 2005. DOI: <https://doi.org/10.33233/fb.v6i4.2012>
92. OLIVEIRA, ANA FLÁVIA SPADACCINI SILVA DE et al. Does photobiomodulation improve muscle performance and recovery? a systematic review. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 29, p. e2021_0412, 2022.
93. OMS. WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. Basic documents: forty-ninth. **World Health Organization**: Geneva, Switzerland, 2020.OMS.(2020). (including amendments adopted up to 31 May 2019) ISBN 978-92-4-000051-3 (electronic version) ISBN 978-92-4-000052-0 (print version)
94. OMS. WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. World Report on Ageing and Health. **World Health Organization**, 2015.
95. OMS. WORLD HEALTH ORGANIZATION Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behavior. Geneva: **World Health Organization**; 2020. <https://iris.who.int/handle/10665/336656> Acesso em: 20/11/2023
96. PAOLILLO FR, LINS EC, CORAZZA AV, KURACHI C, BAGNATO VS. Thermography applied during exercises with or without infrared light-emitting diode irradiation: individual and comparative analysis. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 31, n. 7, p. 349-355, 2013.
97. PAOLILLO, F. R. et al. Phototherapy during treadmill training improves quadriceps performance in postmenopausal women. **Climacteric**, v. 17, n. 3, p. 285-293, 2014..
98. PERNAMBUCO, LEANDRO DE ARAÚJO et al. A eletromiografia de superfície nos periódicos nacionais em fonoaudiologia. **Revista CEFAC**, v. 12, p. 685-692, 2010.
99. PETRELLA, JOHN K. et al. Age differences in knee extension power, contractile velocity, and fatigability. **Journal of applied physiology**, v. 98, n. 1, p. 211-220, 2005.
100. PINHEIRO, ANTÔNIO LB et al. Princípios fundamentais dos lasers e suas aplicações. In: **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria**-Vol. 4. p. 815-894. Blucher Open Access, 2017.
101. PINTO, HENRIQUE 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. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 30, n. 12, p. 3329-3338, 2016.

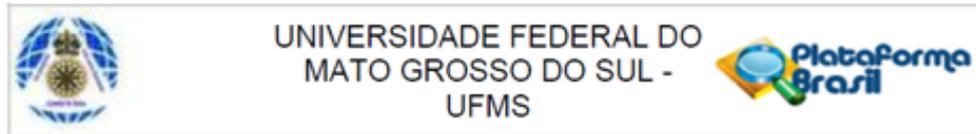
102. POWERS, SCOTT K. et al. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe?. **Journal of sport and health science**, v. 9, n. 5, p. 415-425, 2020.
103. PRIEGO-QUESADA, JOSE I. et al. How to work with electromyography decomposition in practical classes of exercise physiology and biomechanics. **Life**, v. 12, n. 4, p. 483, 2022.
104. RESENDE, RODRIGO RIBEIRO. Biotechnology applied to agro & industry: fundamentals and applications – vol. 4 (collection Biotechnology Applied to Health, vol. 4) 2016 **Editora Edgard Blücher Ltda.** 2016
105. ROBINSON, ANDREW J. - Eletrofisiologia clínica: eletroterapia e testes eletrofisiológicos / Andrew J. Robinson, Lynn Snyder-Mackler; tradução: Susan Schuler Blake, Maria da Graça Figueiró da Silva. - 3. ed. - Porto Alegre : **Artmed**, 2010. 560 p. ; 25 cm. ISBN 978-85-363-2341-1
106. ROLA, PIOTR; DOROSZKO, ADRIAN; DERKACZ, ARKADIUSZ. The use of low-level energy laser radiation in basic and clinical research. Advances in clinical and experimental medicine: **official organ Wroclaw Medical University**, v. 23, n. 5, p. 835-842, 2014.
107. ROSSATO, MATEUS et al. Dose–response effect of photobiomodulation therapy on muscle performance and fatigue during a multiple-set knee extension exercise: a randomized, crossover, double-blind placebo-controlled trial. **Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery**, v. 38, n. 12, p. 758-765, 2020.
108. ROSSATO, MATEUS et al. Time response of photobiomodulation therapy on muscular fatigue in humans. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 32, n. 11, p. 3285-3293, 2018.
109. SALGADO, AFONSO SHIGUEMI INOUE. **Eletrofisioterapia Manual Clínico** - São Paulo: Andreoli, 2015. ISBN:978-85-60416-29-5
110. SCANO, A. et al. Sustained fatigue assessment during isometric exercises with time-domain near infrared spectroscopy and surface electromyography signals. **Biomedical Optics Express**, v. 11, n. 12, p. 7357-7375, 2020.
111. SHIMADA, T., CHUBACHI, S., OTAKE S., SAKURAI K., SASAKI M., IJIMA H., TANABE N., TANIMURA K., SHIMIZU K., SHIRAHATA T., SUZUKI M., SATO S., NAKAMURA H., ASANO K., FUKUNAGA K. Differential impacts between fat mass index and fat-free mass index on patients with COPD. **Respiratory Medicine**, v.217, n.28, 2023.

112. SILVEIRA, PAULO CL et al. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in muscle healing by low-level laser therapy. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 95, n. 2, p. 89-92, 2009..
113. SIMUNOVIC, ZLATKO; IVANKOVICH, ANTHONY D.; DEPOLO, ARSEN. Wound healing of animal and human body sport and traffic accident injuries using low-level laser therapy treatment: a randomized clinical study of seventy-four patients with control group. **Journal of clinical laser medicine & surgery**, v. 18, n. 2, p. 67-73, 2000..
114. STEGEMAN, DICK; HERMENS, HERMIE. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). **Enschede: Roessingh Research and Development**, v. 10, p. 8-12, 2007..
115. SUN, JIAQI et al. Application of surface electromyography in exercise fatigue: a review. **Frontiers in Systems Neuroscience** , v. 16, p. 893275, 2022.
116. SUNDBERG, CHRISTOPHER W.; FITTS, ROBERT H. Bioenergetic basis of skeletal muscle fatigue. **Current opinion in physiology**, v. 10, p. 118-127, 2019.
117. TAYLOR, JANET L. et al. Neural contributions to muscle fatigue: from the brain to the muscle and back again. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 48, n. 11, p. 2294, 2016.
118. TAYLOR, JOSEPH A. et al. Multisystem physiological perspective of human frailty and its modulation by physical activity. **Physiological Reviews**, v. 103, n. 2, p. 1137-1191, 2023.
119. TOMA, R.L.; TUCCI, H.T.; ANTUNES, H.K.; PEDRONI, C.R.; DE OLIVEIRA, A.S.; BUCK, I.; FERREIRA, P.D.; VASSÃO, P.G.; RENNO, A.C. Effect of 808 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. **Lasers in Medical Science**. v. 28, n. 5, p.1375-1382, 2013.
120. TOMA, RENATA LURI et al. Effect of 808 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. **Lasers in medical science**, v. 28, n. 5, p. 1375-1382, 2013.
121. TOMA, RENATA LURI et al. Low level laser therapy associated with a strength training program on muscle performance in elderly women: a randomized double blind control study. **Lasers in medical science**, v. 31, p. 1219-1229, 2016.

122. TOMAZONI, SHAIANE SILVA et al. Effects of photobiomodulation therapy, pharmacological therapy, and physical exercise as single and/or combined treatment on the inflammatory response induced by experimental osteoarthritis. **Lasers in medical science**, v. 32, p. 101-108, 2017.
123. TUNÉR, J; HODE, L. (). Laser Therapy: Clinical Practise and Scientific Brackground. Estonia: Tallinn; **UP Print**. p. 571, 2002.
124. VANIN, ADRIANE AVER 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**, v. 33, p. 181-214, 2018.
125. VASSÃO, PATRICIA GABRIELLI et al. Effects of photobiomodulation on fatigue levels in elderly women: an assessment by isokinetic dynamometry. **Lasers in medical science** , v. 31, p. 275-282, 2016.
126. VASSÃO, PATRICIA GABRIELLI et al. Photobiomodulation and physical exercise on strength, balance and functionality of elderly women. **Fisioterapia em Movimento**, v. 31, p. e003109, 2018.
127. VIGITEL BRASIL 2006-2021: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de prática de atividade física nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal entre 2006 e 2021: prática de atividade física [recurso eletrônico] / **Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Análise Epidemiológica e Vigilância de Doenças Não Transmissíveis**. – Brasília: Ministério da Saúde, 2022.
128. WAN, JING-JING et al. Muscle fatigue: general understanding and treatment. **Experimental & molecular medicine**, v. 49, n. 10, p. e384-e384, 2017.
129. WEINECK, JURGEN. Treinamento Ideal - 9º edição, **Manole** (1999) ISBN: 9788520408728
130. WESTERBLAD, HÅKAN; BRUTON, JOSEPH D.; KATZ, ABRAM. Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. **Experimental cell research**, v. 316, n. 18, p. 3093-3099, 2010.
131. ZHANG, ZHIXIN et al. The Role of Photobiomodulation to Modulate Ion Channels in the Nervous System: A Systematic Review. **Cellular and Molecular Neurobiology**, v. 44, n. 1, p. 1-27, 2024.

12 ANEXOS I

Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (CEP/UFMS)



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ASSOCIAÇÃO DA ELETOESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR E FOTOBIMODULAÇÃO NA PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA SARCOPENIA

Pesquisador: Adalberto Vieira Corazza

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 71042323.7.0000.0021

Instituição Proponente: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.529.039

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPO GRANDE, 23 de Novembro de 2023

Assinado por:

Fernando César de Carvalho Moraes
(Coordenador(a))

DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

- DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ASSOCIAÇÃO DA ELETOESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR E FOTOBIMODULAÇÃO NA PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA SARCOPENIA

Pesquisador Responsável: Adalberto Vieira Corazza

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 71042323.7.0000.0021

Submetido em: 01/11/2023

Instituição Proponente: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

Situação da Versão do Projeto: Aprovado

Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção: PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_2159848

+ DOCUMENTOS DO PROJETO DE PESQUISA

- LISTA DE APRECIÇÕES DO PROJETO

Apreciação	Pesquisador Responsável	Versão	Submissão	Modificação	Situação	Exclusiva do Centro Coord.	Ações
PO	Adalberto Vieira Corazza	2	01/11/2023	24/11/2023	Aprovado	Não	

- HISTÓRICO DE TRÂMITES

Apreciação	Data/Hora	Tipo Trâmite	Versão	Perfil	Origem	Destino	Informações
------------	-----------	--------------	--------	--------	--------	---------	-------------

12.1 ANEXOS II

Histórico Recordatório

Ao longo da minha jornada pela Educação Física, formado pela UFMS no ano de 2000, minha vida profissional, sempre foi pautada na área da saúde atuando na reabilitação e condicionamento físico, onde tive um grande privilégio de trabalhar e ser o responsável técnico da NEOCOR- Centro de diagnóstico e reabilitação cardiovascular e atualmente a 15 anos trabalhando no SUS.

Com o privilégio de realizar essa pesquisa que reflete não apenas o meu comprometimento com a ciência, mas também minha paixão por contribuir para a saúde e o bem-estar de uma população muitas vezes negligenciada: as mulheres idosas. Sob a orientação do Prof. Dr. Adalberto Vieira Corazza, estou desenvolvendo uma pesquisa focada no estudo da fotobiomodulação (FBM) como uma ferramenta para otimizar o desempenho físico, promovendo uma melhora muscular e prevenindo a fadiga.

Atualmente, como mestrando em Ciências do Movimento pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, tenho tido a oportunidade de mergulhar profundamente em um tema que mescla tecnologia, fisiologia e inovação. Sou natural de Salvador BA, mas Campo Grande-MS, onde cresci desenvolvendo um grande interesse por saúde e qualidade de vida, o que mais tarde influenciou minhas escolhas acadêmicas. A escolha da fotobiomodulação como objeto central da minha dissertação não foi por acaso; esta terapia, que utiliza Lasers e LEDs de baixa intensidade, tem demonstrado um enorme potencial para otimizar a saúde muscular, especialmente em populações vulneráveis. O apoio do Prof. Dr. Adalberto, com sua vasta experiência e conhecimento, foi essencial para estruturar um estudo robusto, eticamente conduzido e cientificamente relevante.

A pesquisa convidou 75 mulheres idosas atendidas no Serviço de Convivência e Fortalecimento de Vínculos (S.C.F.V) Tia Nega de Três Lagoas, MS. Compareceram para avaliação física inicial 38 participantes, e a partir dos critérios de inclusão e exclusão foram incluídas 34 participantes para compor o estudo, na composição final do estudo existiu 30 participantes, com distribuição aleatória das participantes em dois grupos (n=15). Ao longo do estudo, 1 participante de cada grupo desistiu por motivos pessoais, restando 14 participantes em cada grupo. A amostra total foi composta por 28 mulheres, com as características individuais e corpóreas com idade média de 71 anos, submetidas a um estudo duplo-cego, randomizado e controlado por placebo. Durante 3 semanas as participantes tiveram que coletar a força de extensão isométrica do músculo quadríceps femoral (QF) foi medida na perna dominante utilizando a CIVM- Contração Isométrica Voluntária Máxima, elas foram posicionadas em uma cadeira extensora de pernas com o joelho flexionado a 60°. Uma célula de carga conectada a cadeira extensora, transmitia os dados ao software acoplado a um notebook para registro da CIVM. Cada paciente realizou 3 repetições da CIVM dos extensores do joelho, mantendo cada contração por 5 segundos, com 1 minuto de descanso entre as repetições. O maior valor das 3 contrações, desde que apresentasse uma variabilidade inferior a 5% entre as tentativas, foi utilizado para análise. Após um descanso de 5 minutos, a resistência do QF foi avaliada pelo tempo

de resistência isométrica a 60% da CIVM até o limite de tolerância. Um marcador visual correspondente à carga de trabalho submáxima foi exibido em uma tela de computador para fornecer feedback visual às participantes. O teste de resistência isométrica foi encerrado quando chegavam em 20% na força máxima produzida. A FBM foi aplicada em 3 dose de energias 125.1, 315 e 500 Joules e respectivos tempos de tratamento de 53, 136 e 215 segundos; no músculo quadríceps femoral, sendo posicionado centralmente na coxa, a partir da distância média do músculo reto femoral (metade da distância entre a espinha ilíaca antero-inferior e polo superior da patela), ocupando uma área de 168 cm² na coxa da participante.

Nosso objetivo era avaliar os efeitos da aplicação da TFBM no músculo quadríceps femoral, um dos principais grupos musculares envolvidos na locomoção e na manutenção da funcionalidade em idosas. Utilizamos uma matriz de Lasers e LEDs, que combinava diodos de 830 nm e 850 nm, aplicada antes de um teste de resistência isométrica (TRI). O protocolo incluiu registros eletromiográficos e monitoramento do tempo de resistência muscular.

Toda as pesquisa e avaliações foram feitas na UFMS no polo de Três Lagoas, os dados das pesquisas foram apresentados em congressos científico em formato de resumo, onde recebemos Menção Honrosa I Simpósio Internacional de Pesquisa e Inovação Científica no cuidado em saúde alcançando as 5 melhores notas do evento.

O Prof. Dr. Adalberto Vieira Corazza foi uma figura central nessa jornada. Sua trajetória acadêmica e profissional é impressionante: doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pós-doutorado em Fisiologia do Exercício com ênfase em intervenções terapêuticas não invasivas, e ampla experiência na orientação de pesquisas acadêmicas. Ele possui diversas publicações em periódicos de alto impacto, abordando temas como recuperação muscular, otimização do desempenho físico e fototerapia aplicada. Sob sua orientação, aprendi a valorizar não apenas a precisão científica, mas também a importância de uma abordagem humanizada e colaborativa na pesquisa.

Além disso, a pesquisa contou com a contribuição de uma equipe dedicada, incluindo acadêmicos de iniciação científica, o suporte estrutural e acadêmico da UFMS foi vital para o sucesso do projeto, que teve aprovação ética e seguiu os mais altos padrões de rigor metodológico.

É com imensa alegria que compartilho que nosso trabalho submetido à Revista Contemporânea, intitulado ‘Análises da capacidade funcional e da qualidade de vida com terapia de eletroestimulação neuromuscular nos músculos quadríceps femorais e gastrocnêmios de idosas com osteoartrose e tendinopatia: estudo de caso: terapia de EENM para otimizar a capacidade funcional e qualidade de vida de idosas’, foi aceito para publicação. Uma conquista muito especial, fruto também da orientação e parceria do Professor Dr. Adalberto Vieira Corazza.

Esta experiência tem contribuído significativamente para meu desenvolvimento como pesquisador, fortalecendo meu compromisso com a ciência e a saúde. Além disso, busco integrar meu aprendizado teórico e prático em projetos futuros, com o objetivo de

contribuir para o avanço das ciências do movimento e melhorar a qualidade de vida, especialmente idosos. Acredito que os resultados parciais obtidos até agora podem inspirar futuras pesquisas e aplicações clínicas da FBM, ampliando seus benefícios para outras populações e contextos. Mais do que uma pesquisa em andamento, este projeto representa um passo significativo na busca por soluções inovadoras para os desafios do envelhecimento.

13 APÊNDICE A

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidada a participar da pesquisa intitulada “Associação da eletroestimulação neuromuscular e fotobiomodulação na prevenção e tratamento da sarcopenia”. Você precisa decidir se quer participar ou não. Por favor, não se apresse em tomar a decisão. Leia cuidadosamente o que se segue e pergunte ao responsável pelo estudo qualquer dúvida que você tiver. Este estudo está sendo coordenado pelo pesquisador Adalberto Vieira Corazza.

A relação do aumento na população idosa é inversamente proporcional à sua qualidade de vida. Um dos fatores relacionados à deficiência da qualidade de vida é a diminuição da força e massa muscular, sendo denominada de sarcopenia.

A finalidade desse estudo será a análise da sua massa muscular, do seu rendimento físico e da qualidade de vida três dias antes da intervenção terapêutica e após três meses de aplicação da eletroterapia associada simultaneamente a fototerapia nas suas coxas e pernas. Essas análises serão realizadas para identificar se as duas tecnologias médicas podem ser utilizadas simultaneamente para aperfeiçoar a terapia preventiva e curativa da sarcopenia. A partir das avaliações realizadas neste estudo, você receberá informações sobre o seu estado geral de saúde e orientações sobre como evitar o avanço da sarcopenia. Você será notificado dos aspectos mais importantes do ensaio que você participou no grupo de eletroterapia ou da eletroterapia associada simultaneamente à fototerapia.

Os participantes selecionados neste estudo serão idosos do sexo feminino, acima de 60 anos e cognição normal. Não participarão deste estudo, participantes do sexo masculino, idade inferior a 60 anos, com lesões musculoesqueléticas, déficit cognitivo, doenças crônicas como hipertensão descontrolada, diabetes, neoplasias e doenças renais.

A senhora será submetida à avaliação da circunferência de ambas as coxas por meio de fita métrica, e também das medidas da massa corpórea e estatura. Para avaliar a mobilidade serão realizados testes de levantar e sentar de cadeira, de caminhada e análise da dinâmica de sustentação do corpo por meio de um baropodômetro. A força e fadiga muscular serão avaliadas em um aparelho de musculação para fortalecimento da coxa e célula de carga acoplada ao eletromiógrafo. A flexibilidade será por meio do teste de sentar-alcançar no banco de Wells. Sobre a sua Qualidade de Vida, há um questionário que será preenchido para analisar a sua pontuação. Todas as avaliações citadas anteriormente, serão realizadas no Laboratório de Movimento e Tecnologias Médicas (LAMOTEM) da UFMS, três dias antes de iniciar os tratamentos com as tecnologias médicas, com duração de 2 horas. A espessura muscular será analisada por meio da ultrassonografia por um médico especializado nos músculos das coxas direita e esquerda no Hospital Regional de Três Lagoas com duração de 15 minutos, sendo realizado cinco dias antes de iniciar o procedimento terapêutico. Todas as avaliações serão reavaliadas 24 horas após a eletrotermofototerapia no LAMOTEM e a ultrassonografia após 48 horas a eletrotermofototerapia no Hospital Regional, com as mesmas durações de tempo em relação a coleta inicial das informações.

Cada sessão terá duração de 20 minutos e constará da aplicação de terapia por Estimulação Elétrica Neuromuscular e Fototerapia sobre a coxa e perna direita e esquerda. A senhora realizará as sessões três vezes por semana no LAMOTEM, com intervalo de 48 horas entre cada sessão, durante 12 semanas, totalizando 36 sessões. Os horários serão agendados previamente em horário comercial e o seu transporte até o LAMOTEM da UFMS e Hospital Regional será fornecido por meio de veículo oficial da UFMS. Diante da ausência do veículo oficial, os pesquisadores utilizarão veículo particular para realizar o seu transporte.

Este tratamento por Estimulação Elétrica Neuromuscular promove a contração muscular involuntária, sem qualquer tipo de dor. Há um aparelho específico que gera uma corrente elétrica terapêutica sem prejuízos ao corpo humano. A corrente eletroterapêutica é conduzida aos músculos por meio de um fio de metal encapado com borracha e no término do fio haverá um eletrodo autoadesivo com gel que fixará na pele, para estimular os músculos a contrair. A literatura científica reconhece que a eletroestimulação neuromuscular promove aumento da massa muscular. Alguns estudos apontam que a fototerapia também favorece a manutenção da massa muscular no envelhecimento e otimiza o rendimento físico quando associada ao exercício físico. Por outro lado, não há estudos que descrevem se a associação simultânea da eletroterapia a fototerapia promova maior resposta terapêutica na sarcopenia. Esta pesquisa será realizada na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul no Laboratório do Movimento e Tecnologias Médicas (LAMOTEM) do Campus de Três Lagoas e no Projeto Tia Nega durante o período de 90 dias.

Este estudo será conduzido pelo pesquisador Adalberto Vieira Corazza e pelos graduandos Giovanna Geron dos Santos e Renato Pitol de Mello, e a mestrandia Mireuza da Silva de Oliveira.

Um grupo de 15 pessoas será tratado com Estimulação Elétrica Neuromuscular e os dois outros grupos com 15 pessoas em cada um, serão tratados simultaneamente a Estimulação Elétrica combinada a Fototerapia. Caso o grupo que receba tratamento combinado apresente maior resposta terapêutica, as participantes do grupo de Estimulação Elétrica receberão após o término do estudo o tratamento complementar de fototerapia associada a Estimulação Elétrica para obter os mesmos resultados.

Os riscos para a participação neste estudo são mínimos, sendo adotado toda as precauções para evitá-los. A entrevista pode acarretar desconforto ou situação embaraçosa, ou desconfortável com a situação. A participante poderá sofrer riscos de falseio na marcha durante os testes funcionais e possibilidade de queda. Durante os testes de força, a participante poderá sentir dores musculares ou articulares. Algum desconforto poderá ocorrer ao realizar o preparo no local de aplicação dos eletrodos de eletroestimulação, na pele da coxa e perna, sendo necessário retirar os pelos e lixar suavemente, mas será utilizado espuma de barbear e cremes hidratantes para evitar qualquer desconforto após o procedimento. Você poderá sentir dores musculares durante o aumento da intensidade da corrente elétrica no seu músculo, devido as contrações musculares involuntárias, mesmo sendo ajustada gradualmente, mas com a sua resposta de desconforto, rapidamente a corrente será ajustada dentro do seu limiar de conforto físico e emocional. Caso ocorra algum incidente durante as coletas de dados e nas intervenções

eletrofototerapêuticas, os pesquisadores se comprometerão a proporcionar assistência médico-hospitalar integral aos participantes até a sua recuperação funcional, através de encaminhamento a serviços especializados da rede municipal e demais custos relacionados. Também será promovida indenização em caso de danos ocasionais não previstos no estudo. A realização dos procedimentos seguirá as normas de biossegurança em saúde, segundo o Ministério da Saúde (2010).

Se você concordar em participar do estudo, seu nome e identidade serão mantidos em sigilo. A menos que requerido por lei, somente o pesquisador (seu médico ou outro profissional), a equipe do estudo e o Comitê de Ética independente terão acesso a suas informações para verificar as informações do estudo. O pesquisador responsável assume que os dados da pesquisa serão armazenados em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa.

Você será informado periodicamente de qualquer nova informação que possa modificar a sua vontade em continuar participando do estudo.

Para perguntas ou problemas referentes ao estudo ligue para o pesquisador Adalberto Vieira Corazza no telefone (67) 3509-3750 ou (19) 99208-4832, sendo o email adalberto.corazza@ufms.br, sendo possível contato presencial na UFMS, na Unidade 1 do Campus de Três Lagoas, na Avenida Capitão Olinto Mancini, 1662. Para perguntas sobre seus direitos como participante no estudo chame o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFMS, no telefone (067) 3345-7187 ou no email cepconep.propp@ufms.br, sendo possível contato presencial no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio das Pró-Reitorias 'Hércules Maymone' – 1º andar, CEP: 79070900, Campo Grande – MS, com atendimento ao público das 07:30h às 11:30h no período matutino e das 13:30h às 17:30h no período vespertino.

Sua participação no estudo é voluntária. Você pode escolher não fazer parte do estudo, ou pode desistir a qualquer momento. Você não perderá qualquer benefício ao qual você tem direito. Você não será proibido de participar de novos estudos. Você tem a garantia de plena liberdade ao participante da pesquisa, de recusar-se a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

Este documento foi elaborado em duas vias, sendo uma entregue ao participante e o outro será do pesquisador responsável.

Declaro que li e entendi este formulário de consentimento e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas, e que sou participante a tomar parte neste estudo.

Assinatura do Participante _____ data ____/____/____

Telefone de contato: _____

Adalberto Vieira Corazza (Pesquisador Responsável)
_____ data ____/____/____