

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

BIANCA LEFOSSE

**EFICÁCIA DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA TRANSCRANIANA ASSOCIADA A
EXERCÍCIOS FÍSICOS NOS PARÂMETROS DE DOR, NA VARIABILIDADE
CARDÍACA E NA ATIVIDADE ELÉTRICA MUSCULAR PARA LOMBALGIA
CRÔNICA INESPECÍFICA: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO**

ALFENAS/MG

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

BIANCA LEFOSSE

**EFICÁCIA DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA TRANSCRANIANA ASSOCIADA A
EXERCÍCIOS FÍSICOS NOS PARÂMETROS DE DOR, NA VARIABILIDADE
CARDÍACA E NA ATIVIDADE ELÉTRICA MUSCULAR PARA LOMBALGIA
CRÔNICA INESPECÍFICA: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Ciências da Reabilitação pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Processo de avaliação, prevenção e reabilitação nas disfunções musculoesqueléticas e do envelhecimento.

Orientadora: Dra. Andreia Maria Silva Vilela Terra.

Co-Orientadora: Dra. Adriana Teresa Silva Santos

ALFENAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Lefosse , Bianca .

Eficácia da estimulação elétrica transcraniana associada a exercícios físicos nos parâmetros de dor, na variabilidade cardíaca e na atividade elétrica muscular para lombalgia crônica inespecífica: ensaio clínico randomizado / Bianca Lefosse . - Alfenas, MG, 2025.

106 f. : il. -

Orientador(a): Andreia Maria Silva Vilela Terra..

Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Dor lombar. 2. Fisioterapia. 3. Estimulação transcraniana por corrente contínua. 4. Reabilitação. I. Terra., Andreia Maria Silva Vilela , orient. II. Título.

BIANCA LEFOSSE

EFICÁCIA DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA TRANSCRANIANA ASSOCIADA A EXERCÍCIOS FÍSICOS NOS PARÂMETROS DE DOR, NA VARIABILIDADE CARDÍACA E NA ATIVIDADE ELÉTRICA MUSCULAR PARA LOMBALGIA CRÔNICA INESPECÍFICA: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Avaliação e Intervenção em Ciências da Reabilitação.

Aprovada em: 29 de julho de 2025.

Profa. Dra. Andréia Maria Silva Vilela Terra

Presidente da Banca Examinadora

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL/MG

Prof. Dr. Wonder Passoni Higino

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS - MG

Prof. Dr. Sandro Remo Martins Neves Ramos Freitas

Instituição: Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa - Portugal.



Documento assinado eletronicamente por **Andreia Maria Silva Vilela Terra, Professor do Magistério Superior**, em 29/07/2025, às 12:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1560418** e o código CRC **83435EA7**.

Aos colegas Fisioterapeutas que se interessam por estudos e pesquisas sobre a lombalgia crônica inespecífica para melhoria de seus protocolos clínicos, dedico!

AGRADECIMENTOS

Aos meus guias e protetores espirituais, presentes em todos os momentos desta jornada, acalmando minhas angústias, orientando minhas escolhas, renovando minha coragem e sustentando minha fé.

À minha família, meu alicerce e um grande incentivo em meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional.

À Universidade Federal de Alfenas, pela oferta do programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação de qualidade, por proporcionar um ambiente acadêmico de excelência e por todo o apoio institucional concedido.

À minha orientadora, Dra. Andreia Maria Silva Vilela Terra, pela acolhida, dedicação e compromisso. Por compartilhar comigo ensinamentos que estão além dos conhecimentos acadêmicos e científicos. Pela compreensão das minhas dificuldades e pela motivação das minhas habilidades. Desde o primeiro contato, estabeleci uma profunda admiração pela sua inteligência e acima de tudo, o que a torna um ser humano ímpar, pelo comportamento ético e por sua humildade. Não tenho nenhuma dúvida que ela tornou essa jornada mais prazerosa.

À minha coorientadora, Dra. Adriana Teresa Silva Santos, agradeço pelo suporte técnico e científico e pela abordagem precisa sempre que necessário.

Aos colaboradores, Julia Ferreira de Oliveira Rodrigues, Giovana Rocha Barros Leite de Siqueira, João Paulo Barú e Carolina Lima Farias, pelo apoio e contribuição essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Aos participantes voluntários do estudo, pelo aceite em participar desta pesquisa e pelo cumprimento de todas as exigências inerentes para seu êxito.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Aos meus colegas de trabalho que deram todo suporte para que a minha clínica pudesse continuar funcionando nos dias em que precisei me ausentar, Jefferson, Patrícia, Tamyres e Lucas.

Neste longo percurso, nunca estive sozinha, e a todos sou grata!

“Todo mundo é capaz de dominar uma
dor, exceto quem a sente”
(William Shakespeare)

RESUMO

Contexto: A dor lombar crônica inespecífica é uma condição incapacitante que afeta globalmente milhões de pessoas e é a principal causa de incapacidade em diversos países. A relevância do estudo reside na necessidade de investigar intervenções eficazes no manejo da dor uma vez que as opções terapêuticas atuais ainda apresentam limitações. A combinação de estimulação elétrica transcraniana por corrente contínua (tDCS) com exercícios físicos vem com uma proposta de estratégia inovadora. **Objetivo:** Analisar a eficácia da tDCS associada a exercícios físicos na intensidade da dor, no desempenho funcional, na variabilidade da frequência cardíaca e na atividade elétrica muscular em pessoas com lombalgia crônica inespecífica. **Métodos:** O estudo caracteriza-se como um ensaio clínico randomizado duplo-cego, com uma amostra composta por 31 indivíduos com lombalgia crônica inespecífica. Os participantes foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos: grupo placebo (n=16) e grupo experimental (n=15). A intensidade da dor foi avaliada por meio da Escala de Dor Crônica Graduada (EDCG) e da Escala Visual Analógica (EVA). O desempenho funcional foi mensurado pelo Questionário Rolland Morris (RMDQ), e também foram analisadas a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) e a atividade elétrica muscular. O protocolo experimental consistiu em exercícios físicos combinados à tDCS, totalizando 20 atendimentos, sendo os 10 primeiros consecutivos e os 10 seguintes alternados. O grupo placebo recebeu a intervenção com o aparelho desligado. As coletas de dados foram realizadas nos momentos 0 (inicial), 1 (após a 10ª sessão) e 2 (após a 20ª sessão), com exceção da EVA, aplicada ao final de cada atendimento. **Resultados:** A maioria das questões do EDCG apresentou efeito significativo ao longo do tempo em ambos os grupos ($p < 0,05$), sem efeito de interação ou diferença entre grupos ($p > 0,05$). Para o desfecho EVA, observou-se redução da dor ao longo do tempo nos dois grupos ($p < 0,05$), sem diferença significativa entre grupos ($p = 0,75$) ou interação ($p = 0,67$). No RMDQ, houve um efeito significativo ao longo do tempo nos dois grupos, com redução expressiva ($p < 0,001$), e um efeito de interação significativo no momento 0 ($p = 0,03$). Para o desfecho VFC, a variável R-R apresentou aumento significativo ao longo do tempo no grupo experimental ($p = 0,02$), com diferença entre grupos, favorável ao grupo experimental ($p = 0,01$). A variável pNN50 demonstrou redução significativa ao longo do tempo no grupo experimental ($p = 0,03$), com efeito de interação também significativo ($p = 0,02$). A variável LF

apresentou redução significativa na interação ($p=0,02$), mais evidente no grupo experimental. A variável SD2 apresentou redução significativa ao longo do tempo em ambos os grupos ($p=0,02$). **Conclusão:** A tDCS associada a exercícios físicos não demonstrou eficácia na comparação intergrupos para a intensidade da dor e interferência da dor nas atividades (EDCG e EVA) nem para o desempenho funcional (RMDQ). No entanto, ambas as intervenções apresentaram efeitos positivos na redução da dor, melhora na interferência da dor nas atividades, no aumento do desempenho funcional (RMDQ) e em algumas variáveis da VFC ao longo do tempo (efeito intragrupos). Destaca-se que a variável R-R da VFC obteve eficácia na comparação intergrupos, apresentando aumento significativo no grupo experimental. A análise eletromiográfica demonstrou efeito em ambos os grupos, com melhora no tempo de contração muscular (maior resistência muscular) ao longo da intervenção. O grupo exercício associado à tDCS desencadeou efeito na taxa de fadiga, com redução nos valores para os músculos abdominais, indicando possível efeito adjuvante da neuromodulação. Por outro lado, as variáveis RMSn, frequência mediana e a taxa de fadiga dos extensores lombares mantiveram valores semelhantes. O grupo experimental apresentou vantagem no baseline para o músculo abdominal esquerdo.

Palavras chave: Dor lombar; *Fisioterapia; Estimulação transcraniana por corrente contínua; Reabilitação.*

ABSTRACT

Background: Nonspecific chronic low back pain is a debilitating condition affecting millions of people worldwide and stands as a leading cause of disability in many countries. The relevance of this study lies in the need to explore effective interventions for pain management, given the current limitations of conventional treatments. The combination of transcranial direct current stimulation (tDCS) with physical exercise has emerged as a promising and innovative strategy. **Objective:** To analyze the effects of tDCS combined with physical exercises on pain intensity, functional performance, heart rate variability (HRV), and muscle electrical activity in individuals with nonspecific chronic low back pain. **Methods:** This double-blind randomized clinical trial included 31 participants diagnosed with nonspecific chronic low back pain. They were randomly assigned to either a placebo group (n = 16) or an experimental group (n = 15). Pain intensity was assessed using the Graded Chronic Pain Scale (GCPS) and the Visual Analog Scale (VAS). Functional performance was measured with the Roland-Morris Disability Questionnaire (RMDQ), and HRV and electromyographic (EMG) activity were also evaluated. The intervention protocol included 20 sessions of physical exercise combined with tDCS—10 consecutive sessions followed by 10 alternating sessions. The placebo group received sham stimulation. Data collection occurred at baseline (T0), after the 10th session (T1), and after the 20th session (T2), except for VAS, which was applied after every session. **Results:** Most GCPS items showed significant time effects in both groups ($p < 0.05$), with no interaction or between-group differences ($p > 0.05$). VAS scores indicated pain reduction over time in both groups ($p < 0.05$), without significant differences between groups ($p = 0.75$) or interaction effects ($p = 0.67$). RMDQ scores decreased significantly over time in both groups ($p < 0.001$), with a significant interaction effect at baseline ($p = 0.03$). Regarding HRV, the R-R interval increased significantly over time in the experimental group ($p = 0.02$), with between-group differences favoring the experimental group ($p = 0.01$). The pNN50 showed a significant time effect ($p = 0.03$) and interaction effect ($p = 0.02$) in the experimental group. LF values decreased significantly in the interaction analysis ($p = 0.02$), particularly in the experimental group. SD2 decreased over time in both groups ($p = 0.02$). EMG analysis revealed improvements in muscle contraction time across both groups, indicating greater muscular endurance. Notably, the group receiving exercise combined with tDCS showed reduced fatigue rates in abdominal muscles,

suggesting a potential adjunct effect of neuromodulation. However, RMSn, median frequency, and fatigue rate of lumbar extensors remained stable. Baseline differences favored the experimental group for the left abdominal muscle. **Conclusion:** The combination of tDCS with physical exercise did not yield superior effects between groups in terms of pain intensity, pain interference (GCPS, VAS), or functional performance (RMDQ). Nonetheless, both interventions led to intragroup improvements in pain reduction, functional gains, and HRV parameters over time. The R-R interval showed significant intergroup effects in favor of the experimental group. Additionally, the intervention demonstrated potential in enhancing muscular endurance and reducing abdominal fatigue, supporting the role of neuromodulation as an adjunct to exercise in managing chronic low back pain.

Keywords: *nonspecific chronic low back pain; physiotherapeutic treatment; transcranial direct current stimulation; rehabilitation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Escala Visual Analógica	32
Figura 2 – Avaliação do músculo reto abdominal.....	52
Figura 3 – Posicionamento do indivíduo para realização da coleta.....	52
Figura 4 – Local de colocação dos elétrodos	53
Figura 5 –Posicionamento elétrodos do tDCS.....	55
Figura 6 – Fluxograma da composição da amostra	65
Figura 7 – Escala visual Analógica do grupo placebo e experimental nos tempos de avaliações. Teste Anova Two-Way segui de Post-hoc de Sidak	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de evidência	28
Quadro 2 – Graus de recomendação	28
Quadro 3 – Análises avaliadas no domínio do tempo HRV: medidas estatísticas	35
Quadro 4 – Análises avaliadas no domínio do tempo HRV: medidas geométricas ...	36
Quadro 5 – Orientações para aplicação do Teste de Biering-Sorensen de 1984.....	38
Quadro 6 – Etapas técnicas do processamento de dados mediante uso do aparelho sEMG System do Brasil.....	39
Quadro 7 – Setup Experimental.....	47
Quadro 8 – Protocolo de exercícios	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características antropométricas e clínica da amostra	67
Tabela 2 – Média, desvio padrão, intervalo de confiança e os p-valores do tempo, interação e grupos da Escala de Dor Crônica Graduada	69
Tabela 3 – Média, desvio padrão, intervalo de confiança, valor de p no tempo, interação e grupos do Questionário de Roland-Morris	72
Tabela 4 – Média, desvio padrão, intervalo de confiança, valor p tempos, interação e grupos da variabilidade da frequência cardíaca	75

LISTA DE SIGLAS

ACSM	American College of Sports Medicine
AMPQSP	Agência Americana de Pesquisa e Qualidade em Saúde Pública
BASELINE	Medida inicial de referência em ensaios clínicos
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CID	Classificação Internacional de Doenças
CONSORT	<i>Consolidated Standards of Reporting Trials</i>
CPLBP	<i>Chronic Primary Low Back Pain</i>
CPGS	<i>Chronic Pain Grade Scale</i>
CPGs	<i>Clinical Practice Guidelines</i>
CSEP	<i>Canadian Society for Exercise Physiology</i>
EMG	Eletromiografia
EVA	Escala Visual Analógica
FFT	Transformada Rápida de Fourier
FOLLOW-UP	Medida de acompanhamento em ensaios clínicos
GE	Grupo Experimental
GI	Grupo Intervenção
HF	Alta Frequência/ <i>High Frequency</i>
HRV	<i>Heart Rate Variability Analysis</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IASP	Associação Internacional para Estudos da Dor
IEMG	Integral do Sinal de Eletromiografia
JOSPT	<i>Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy</i>
LBP	<i>Low Back Pain/Dor Lombar Inespecífica</i>
LF	<i>Low Frequency/Baixa Frequência/</i>
MSK	<i>Musculoskeletal Conditions</i>
NICE	<i>National Institute for Health and Care Excellence</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROMs	<i>Patient-Reported Outcome Measures</i>
RMS	Root Mean Square
SAD	Sociedade Americana de Dor
sEMG	Eletromiografia de Superfície

SNA	Sistema Nervoso Autônomo
SNC	Sistema Nervoso Central
tDCS	Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua
RMDQ	<i>Roland Morris Disability Questionnaire</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
VAS	Escala Visual Analógica
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1	DOR LOMBAR CRÔNICA PRIMÁRIA	23
2.1.1	Definição e impacto global	23
2.1.2	Reconhecimento global e abordagens baseadas em evidências	25
2.1.3	Diretrizes da organização mundial da saúde.....	26
2.1.4	Recomendações clínicas atuais	26
2.1.5	Desafios no tratamento da dor lombar crônica	27
2.1.6	Abordagens baseadas em evidências.....	27
2.1.7	Abordagens inovadoras: estimulação transcraniana por corrente contínua	28
2.2	INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO DA DOR LOMBAR CRÔNICA	30
2.2.1	Chronic pain grade scale (CPGS)	31
2.2.2	Escala visual analógica (EVA).....	31
2.2.3	Questionário de incapacidade de Roland Morris/Roland Morris Disability Questionnaire (RMDQ).....	32
2.2.4	Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC)	33
2.2.5	Eletromiografia de superfície (sEMG)	37
	ARTIGO – EFICÁCIA DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA ASSOCIADA A EXERCÍCIOS FÍSICOS NOS PARÂMETROS DE DOR, NA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E NA ATIVIDADE ELÉTRICA MUSCULAR PARA LOMBALGIA CRÔNICA INESPECÍFICA: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO.....	42
	Resumo	42
1	INTRODUÇÃO	43
2	MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1	DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	45
2.2	RECRUTAMENTO E ADERÊNCIA	45
2.3	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	46
2.4	RANDOMIZAÇÃO E ALOCAÇÃO.....	46
2.5	CÁLCULO AMOSTRAL.....	46
2.6	INSTRUMENTOS PARA AVALIAÇÃO E COLETA DE DADOS.....	47
2.6.1	Desfecho primário – Variável dependente.....	47
2.6.2	Desfecho secundário – Variável dependente	49
2.7	PROTOCOLO DE INTERVENÇÃO tDCS E PROTOCOLO DE EXERCÍCIOS	55

2.7.1 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua – tDCS	55
2.7.2 Protocolo de exercício físico.....	56
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	63
2.9 ASPECTOS ÉTICOS DO ESTUDO.....	64
3 RESULTADOS.....	64
4 DISCUSSÃO	82
5 CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS DO ARTIGO.....	90
REFERÊNCIAS.....	92
APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) .	97
APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO DE INCAPACIDADE ROLAND-MORRIS (QIRM)	100
APÊNDICE III – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA DE PESQUISA	102

1 INTRODUÇÃO GERAL

A lombalgia inespecífica é uma das principais causas de dor crônica, afetando milhões de pessoas em todo o mundo. Caracteriza-se por dor e desconforto na região lombar, situada abaixo das costelas e acima da prega glútea. No contexto internacional, é referida como *low back pain* (LBP) e corresponde ao tipo mais comum de lombalgia, sendo definida como dor lombar não atribuída a uma patologia reconhecível ou específica, como comprometimento da raiz nervosa, fratura, câncer ou doenças inflamatórias da coluna. A forma crônica é caracterizada por episódios com duração igual ou superior a 12 semanas (Airaksinen *et al.*, 2006; Van Tulder *et al.*, 2006).

Pacientes com LBP apresentam uma taxa de melhora favorável nas primeiras seis semanas; no entanto, aproximadamente 40% dos pacientes desenvolverão dor lombar crônica (Costa *et al.*, 2012). Essa condição está entre as mais recorrentes no contexto musculoesquelético e representa um dos maiores desafios da saúde pública contemporânea. A dor crônica resulta de mecanismos neurofisiológicos complexos que envolvem sensibilização central e alterações nos processos moduladores da dor (Treede *et al.*, 2019). Essas alterações neuroplásticas não apenas perpetuam a percepção dolorosa, mas também contribuem para comorbidades psicoemocionais, como ansiedade e depressão, ampliando o impacto na qualidade de vida. A ausência de um diagnóstico específico torna a abordagem terapêutica particularmente desafiadora, exigindo estratégias multidisciplinares que transcendam modelos biomédicos tradicionais (Cohen *et al.*, 2021).

De acordo com a *Global Burden of Disease Study* (Vos *et al.*, 2023), epidemiologicamente a lombalgia inespecífica configura-se como a principal causa de incapacidade global, afetando aproximadamente 619 milhões de pessoas em 2020, com projeções de aumento para 843 milhões até 2050. A dor lombar crônica representa um dos principais motivos de afastamento do trabalho no Brasil, gerando impactos significativos na saúde pública e na produtividade. Dados recentes do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) revelam que, somente em 2024, foram concedidos mais de 205 mil auxílios-doença relacionados a doenças da coluna, tornando-se a principal causa de afastamento laboral no país. Esses números refletem não apenas a elevada prevalência da condição entre trabalhadores, mas também a necessidade de estratégias eficazes de prevenção, reabilitação e manejo clínico da

dor lombar crônica no contexto ocupacional.

A presença da LBP afeta diretamente a funcionalidade dos indivíduos, sendo comumente avaliada pelo instrumento validado, Questionário de Roland-Morris, que quantifica o impacto da dor sobre atividades cotidianas, desde caminhar até vestir-se, em uma escala de 0 a 24 pontos (Roland; Fairbank, 2000). Indivíduos com escores elevados no Questionário de Incapacidade de Roland-Morris (RMDQ), indicativos de maior limitação funcional associada à dor lombar, frequentemente apresentam redução na variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Essa redução sugere um predomínio da atividade simpática e uma menor capacidade adaptativa do sistema nervoso autônomo (SNA), fenômeno comumente observado em condições de dor crônica (Koenig *et al.*, 2016; Tracy *et al.*, 2016). A VFC, quantificada por meio da análise dos intervalos R-R em registros eletrocardiográficos, é um marcador não invasivo da modulação autonômica cardíaca e reflete a resiliência do organismo frente a estressores físicos e emocionais (Shaffer; Ginsberg, 2017).

Em contextos de dor persistente, como a lombalgia crônica inespecífica, o eixo de resposta ao estresse tende a permanecer ativado, resultando em um desbalanço autonômico caracterizado por maior atividade simpática e menor atividade parassimpática, refletido na redução da variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Evidências de estudos como os de Forte *et al.* (2022) e Koenig *et al.* (2016) indicam que esse comprometimento da VFC está relacionado não apenas à intensidade da dor, mas também ao grau de limitação funcional, mensurado por instrumentos como o RMDQ, sugerindo uma possível via neurofisiológica que conecta dor, função e regulação autonômica (Tracy *et al.*, 2016; Forte *et al.*, 2022).

Outra alteração comumente reportada na literatura está relacionada à indução da hiperatividade muscular em repouso e alterações nos padrões de recrutamento durante movimentos, mensuráveis por eletromiografia (EMG). Essas alterações estão associadas a fadiga muscular precoce e desequilíbrios posturais (Hodges; Tucker, 2011).

No que tange ao tratamento, a abordagem clínica e conservadora é amplamente recomendada, com destaque para a terapia baseada em exercícios físicos como primeira linha de tratamento. As diretrizes internacionais, como as publicadas pelo *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE, 2020), enfatizam que programas de exercício são essenciais na reabilitação da lombalgia, promovendo melhora da dor e da funcionalidade. Paralelamente, técnicas

neuromodulatórias, como a tDCS, ganham destaque por modular a excitabilidade cortical, atenuando a sensibilização central em regiões como o córtex motor primário e o córtex pré-frontal dorsolateral. (Woods *et al.*, 2016). Portanto as técnicas de tDCS emergem como uma alternativa terapêutica promissora para modulação da dor crônica na lombalgia.

Estudos sobre a LBP estão em constante desenvolvimento, para achados que contemplem a abolição ou o controle dos sintomas e, portanto, buscam empregos de diversas técnicas e, dentre elas, tem-se algumas em processo de validação (Oliveira *et al.*, 2023).

No estudo de Cavalcante *et al.* (2020), investigou-se o efeito tDCS associada a exercícios terapêuticos, aplicada em 12 sessões (3 vezes por semana durante 4 semanas), sobre a intensidade da dor, o desempenho funcional e a variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos com lombalgia crônica inespecífica. Os autores observaram que a combinação de tDCS com exercícios foi mais eficaz do que apenas exercícios terapêuticos na redução da dor e na melhora funcional, com efeitos mantidos até seis meses após a intervenção.

Com base nesses achados, o presente estudo propõe investigar se a aplicação de tDCS associada a exercícios físicos, mas utilizando um protocolo de dose diferente (número e distribuição das sessões), pode potencializar os efeitos observados anteriormente. Além disso, busca-se comparar se a aplicação consecutiva das sessões produz melhores resultados do que a aplicação intervalada, avaliando os impactos na intensidade da dor, desempenho funcional, variabilidade da frequência cardíaca e atividade elétrica muscular.

A relação entre dor e variabilidade da frequência cardíaca (VFC) tem sido amplamente investigada no contexto da lombalgia crônica inespecífica. Evidências apontam que indivíduos com dor persistente apresentam redução da VFC, indicando desregulação autonômica caracterizada por predomínio simpático e diminuição da atividade parassimpática (Koenig *et al.*, 2016; Tracy *et al.*, 2016). Tal redução decorre da ativação contínua do eixo de resposta ao estresse e de processos de sensibilização central, que perpetuam a percepção dolorosa e comprometem os mecanismos moduladores da dor (Treede *et al.*, 2019; Forte *et al.*, 2022). Além disso, estudos demonstram que valores mais baixos de VFC se associam a maior limitação funcional, mensurada por instrumentos como o *Roland-Morris Disability Questionnaire*, sugerindo uma via neurofisiológica que conecta dor, incapacidade e regulação

autônômica (Koenig *et al.*, 2016; Tracy *et al.*, 2016; Forte *et al.*, 2022). Nesse sentido, a VFC constitui não apenas um marcador não invasivo da modulação autonômica cardíaca (Shaffer; Ginsberg, 2017), mas também um biomarcador clínico relevante da carga fisiológica imposta pela dor crônica lombar.

A magnitude epidemiológica, a complexidade fisiopatológica e o impacto socioeconômico da lombalgia crônica inespecífica (LCI), configurando-a como um desafio prioritário para a saúde pública global. Ao evidenciar sua prevalência crescente e sua natureza multifatorial, envolvendo sensibilização central, desregulação autonômica (redução da VFC) e alterações neuromusculares (hiperatividade EMG), o estudo estabelece uma premissa incontestável: estratégias terapêuticas inovadoras e integrativas são urgentemente necessárias.

Enquanto as diretrizes internacionais (como o NICE) consolidam o exercício terapêutico como primeira linha de tratamento, este estudo avança ao investigar sinergias entre técnicas distintas. Propõe a associação da *tDCS* com seu potencial neuromodulatório sobre áreas corticais envolvidas na percepção da dor (córtex motor e pré-frontal) a protocolos de exercícios, visando superar os limites das terapias isoladas.

Esta pesquisa integra quatro eixos fundamentais: Intensidade da dor (subjetiva); Desempenho funcional (RMDQ); Modulação autonômica (VFC como marcador de estresse crônico) e Atividade muscular (EMG para avaliar fadiga e recrutamento).

Essa triangulação de dados permite decifrar relações causais entre neuroplasticidade, desequilíbrio autonômico e disfunção musculoesquelética, oferecendo uma visão ampla.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DOR LOMBAR CRÔNICA PRIMÁRIA

2.1.1 Definição e impacto global

Em consonância, tem-se para a Associação Internacional para Estudos da Dor (IASP) e para a Organização Mundial da Saúde (OMS), a seguinte definição de dor: experiência sensitiva, emocional e desagradável em associação a uma lesão tissular/real/potencial ou descrita (Raja *et al.*, 2020). Já a Agência Americana de Pesquisa e Qualidade em Saúde Pública (AMPQSP) e a Sociedade Americana de Dor (SAD) a compreendem como o quinto sinal vital, pois à mesma deva ser dada tamanha importância como à temperatura, pulsação, respiração e pressão arterial (Souza, 2019). E, neste sentido, a dor considera-se como um mecanismo de proteção para o organismo, e uma experiência genuinamente subjetiva e pessoal (Silva; Ribeiro-Filho, 2011).

Em relação à sua intensidade, a dor pode ser compreendida como aguda ou crônica. A dor aguda caracteriza-se por estar associada à existência de lesão tecidual, funcionando como um sinal de alerta imediato frente a agressões físicas, químicas ou térmicas, como ferimentos e traumas. Essa resposta dolorosa envolve a liberação de mediadores inflamatórios, os quais potencializam a sensibilidade nociceptiva e podem intensificar a percepção dolorosa, exacerbando sua intensidade e urgência. Essa forma de dor tem, portanto, uma função protetiva, ao anunciar a necessidade de preservação corporal (Vasconcelos; Araújo, 2018). Comumente, o paciente acometido por dor crônica tem dificuldades ou não consegue localizar seu sítio, dificultando seu tratamento (Dacorso; Dacorso, 2018). A IASP diferencia a dor pelo seu agravo e ocorrência, sendo crônica quando presente por mais de três meses e, para fins de pesquisa, normalmente são considerados mais de seis meses – ou seja, aquela presente por um longo período (Raja *et al.*, 2020).

Ela pode ser também caracterizada por causar impactos sociais em associação a outras doenças crônicas, promovendo prejuízos e complicações, como: imobilidade, redução de apetite, distúrbios do sono, depressão, susceptibilidade às doenças por baixa imunidade, dependência de medicação, ansiedade e medo, isolamento social, dentre outros (Oliveira *et al.*, 2023).

O fator psíquico é apontado pela IASP como uma das causas da condição

crônica da dor, colocando-se como um mecanismo de origem psíquica, mas que promove dor corporal (Dacorso; Dacorso, 2018). Portanto, a dor crônica vem sendo estudada como uma dor neuropática, decorrente de quando os nervos do sistema nervoso central (SNC) e periférico estejam, de alguma forma, lesionados (Oliveira *et al.*, 2023).

A repetição da dor (ou a sua cronicidade) é capaz de criar no SNC uma espécie de memória. Ou seja, impulsos dolorosos novos promovem recordações de outros anteriores semelhantes, resultando em uma potencialização destes. Portanto, considerando o conceito da dor crônica, mecanismos periféricos e centrais possam ser relevantes em relação à promoção da dor e à sua manutenção (Souza, 2019).

A dor crônica é mundialmente presente entre as sociedades, o que vem justificar um alto custo para os sistemas público e privado de saúde, com o dispêndio de profissionais qualificados para promoção de tratamentos adequados (Vasconcelos; Araújo, 2018). Pacientes com dor crônica usam os serviços de saúde cinco vezes mais do que o restante da população (Oliveira *et al.*, 2023).

Dentre as principais dores crônicas elencadas na literatura e apontadas em estudos e pesquisas, a dor lombar (ou lombalgia) é a mais relatada e frequente na população mundial, presente no contexto de países mais desenvolvidos da mesma forma dos menos desenvolvidos, sendo a segunda causa mais comum entre as dores musculoesqueléticas (Bottamedi *et al.*, 2016).

Assim, a dor lombar pode caracterizar-se como aguda ou crônica, nos critérios já definidos e, como de origem congênita, degenerativa, inflamatória, infecciosa, tumoral e mecânico-postural. Também como mecânica, não mecânica e psicogênica. Podendo ainda ser específica ou inespecífica – sendo esta última relevante para a presente pesquisa (O'Connell *et al.*, 2018).

A dor lombar crônica primária – do inglês *Chronic Primary Low Back Pain* (CPLBP) – é definida como uma experiência de dor persistente ou recorrente por mais de três meses, que não pode ser atribuída de forma confiável a uma doença subjacente, como por exemplo: condições inflamatórias autoimunes, como espondiloartrite axial, malignidade ou infecção; lesão estrutural, como fratura; ou deformidade (Raja *et al.*, 2020).

A experiência da dor está frequentemente associada a sofrimento emocional e/ou incapacidade funcional. A CPLBP está devidamente enquadrada pela *World*

Health Organization (WHO), na 11ª Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-11), mediante o código MG30.02 – Dor musculoesquelética crônica primária (World Health Organization, 2020). De acordo com Bäckryd *et al.* (2024), esta classificação reflete a natureza crônica e primária da dor; ou seja, que persiste sem associação a uma causa específica, doença subjacente ou lesão estrutural.

As condições musculoesqueléticas – do inglês *Musculoskeletal Conditions* (MSK) – são a principal causa de incapacidade em todo o mundo, com a dor lombar identificada como a condição individual responsável pela maior incapacidade na maioria dos países. Em países de alta renda, as MSK representam a maior parcela dos gastos do sistema de saúde. Além disso, a necessidade de reabilitação é maior para as condições MSK, especialmente para a dor lombar (Briggs *et al.*, 2021).

Quase todas as pessoas experimentarão dor lombar em algum momento da vida. Ela pode afetar indivíduos de qualquer idade, e sua prevalência está aumentando, constatando-se que incapacidade devido à dor lombar cresceu mais de 50% desde 1990 (The Lancet, 2018). Em 2020, aproximadamente 1 em cada 13 pessoas, o equivalente a 619 milhões de indivíduos, relatou dor lombar, um aumento de 60% em relação a 1990 (Briggs *et al.*, 2021). Segundo Bäckryd *et al.* (2024), as estatísticas que mostram aumento progressivo de indivíduos acometidos por dor lombar crônica são significativas, implicando em preocupação da saúde pública mundial, considerando o aumento da expectativa de vida da população. No Brasil, estima-se que mais de 30% da população adulta sofra de dor lombar crônica, sendo essa uma das principais causas de incapacidade e afastamentos laborais, com forte impacto sobre o Sistema Único de Saúde (SUS) e a Previdência Social (Batista; Silva; Macedo, 2024; Barros *et al.*, 2011).

2.1.2 Reconhecimento global e abordagens baseadas em evidências

The Lancet (2020) publicou três artigos sobre dor lombar, liderados pela professora Rachele Buchbinder, da Universidade Monash, Melbourne, Austrália, que abordam questões relacionadas ao distúrbio e defendem o reconhecimento global da incapacidade associada à dor lombar, bem como eliminação de práticas prejudiciais. Um dos artigos (Buchbinder *et al.*, 2018) é um chamado à ação, destacando que a persistência da incapacidade relacionada à dor lombar precisa ser reconhecida e que ela não pode ser dissociada de fatores sociais, econômicos, crenças pessoais e

culturais sobre a dor. Outros artigos relacionados, também evidenciam a necessidade de atenção (Hartvigsen *et al.*, 2018) e de prevenção e tratamento (Foster *et al.*, 2018).

A dor lombar sem causa conhecida é denominada LBP (Buchbinder *et al.*, 2018). Diretrizes clínicas recomendam o uso de um modelo biopsicossocial para orientar a avaliação e o manejo, considerando as associações entre fatores comportamentais, psicossociais e a persistência da dor e incapacidades futuras (Velde; Mierau 2000; Chou *et al.*, 2007).

2.1.3 Diretrizes da organização mundial da saúde

A World Health Organization (2023) publicou suas primeiras diretrizes para o manejo da LBP em contextos de atenção primária e comunitária, listando intervenções que os profissionais de saúde devem usar ou evitar durante o cuidado rotineiro. Dentre as condições de saúde que podem se beneficiar da reabilitação, a dor lombar é a que representa o maior número de indivíduos potencialmente beneficiados, destacando sua relevância como um problema global de saúde pública.

2.1.4 Recomendações clínicas atuais

As diretrizes clínicas mais recentes recomendam que os pacientes se mantenham fisicamente ativos, uma vez que inatividade contribui negativamente para a recuperação (Chou *et al.*, 2007; Stochkendahl *et al.*, 2018). Programas de fortalecimento geral, condicionamento físico e treinamento resistido para os músculos da coluna, incluindo exercícios aeróbicos, estão entre as melhores opções de tratamento para pacientes com LBP, demonstrando redução da dor e da incapacidade a curto e longo prazo (National Center for Biotechnology Information, 2020).

A falta de condicionamento físico e o desuso muscular são comuns nesses pacientes (Velde; Mierau 2000; Verbunt *et al.*, 2003). O exercício aeróbico estimula a liberação de endorfinas, que aliviam a dor ao inibir as vias da dor. Além disso, torna o paciente mais ativo, reduzindo o medo de movimentar-se (cinesiofobia) e aumentando autoconfiança (Wertli *et al.*, 2014). Por fim, esses exercícios aumentam o fluxo sanguíneo muscular e podem reduzir a rigidez comumente observada em pacientes com dor lombar (Hayden *et al.*, 2005).

Evidências observacionais de Gordon e Bloxham (2016) sugerem que

pacientes com dor lombar podem melhorar seus sintomas por meio de exercícios aeróbicos, como corrida, ciclismo ou caminhada.

2.1.5 Desafios no tratamento da dor lombar crônica

Embora alguns estudos tenham demonstrado benefícios clínicos dos exercícios terapêuticos na dor lombar crônica, seus tamanhos de efeito são geralmente pequenos a moderados, e as taxas de recorrência são altas, tornando a dor lombar crônica uma condição desafiadora de tratar (Machado *et al.*, 2009). Evidências recentes apontam que a eficácia do tratamento pode ser significativamente incrementada quando se promove a redução das crenças de medo-evitação, do pensamento catastrófico e a ampliação da autoeficácia fatores que mediarão a relação entre diminuição da dor e recuperação funcional (Ryum; Stiles, 2023). Ademais, crenças de medo-evitação associadas ao ambiente laboral elevaram de forma prospectiva a intensidade da dor e sua persistência em profissionais da saúde (Jakobsen *et al.*, 2024). Em âmbito populacional, essas crenças se mostram influenciadas por determinantes sociodemográficos como local de residência, ocupação e uso de medicação — entre adultos com dor lombar crônica (Yihunie *et al.*, 2023). Por fim, meta-análises recentes (Rogers *et al.*, 2022; Sisco-Taylor *et al.*, 2022) reiteram a importância das dimensões cognitivas relacionadas à dor como preditoras de incapacidade e perpetuação da dor lombar crônica.

2.1.6 Abordagens baseadas em evidências

Na publicação da *Journal of Orthopaedic e Sports Physical Therapy* (2021), são destacadas intervenções com alto nível de evidência científica para o manejo da dor lombar crônica. Dentre as terapias classificadas como Nível I, encontram-se os exercícios físicos supervisionados, em especial os programas de estabilização e exercícios com controle motor, respaldados por ensaios clínicos randomizados e revisões sistemáticas. A educação em neurociência da dor também é fortemente recomendada, frequentemente associada a intervenções físicas. Intervenções como terapia manual e reabilitação psicossocial se enquadram majoritariamente no Nível II, com evidência derivada de estudos controlados de menor rigor ou revisões sistemáticas com limitações metodológicas. Assim, essas abordagens são priorizadas

nas diretrizes clínicas por sua efetividade comprovada e pela capacidade de integrar aspectos físicos e cognitivos do tratamento (JOSPT, 2021).

Quadro 1 – Níveis de evidência

Nível	Evidência
I	Evidência obtida de estudos diagnósticos de alta qualidade, estudos prospectivos, ensaios controlados randomizados ou revisões sistemáticas
II	Evidência obtida de estudos diagnósticos de menor qualidade, estudos prospectivos, revisões sistemáticas ou ensaios controlados randomizados (por exemplo, critérios diagnósticos e padrões de referência mais fracos, randomização inadequada, ausência de cegamento, menos de 80% de acompanhamento)
III	Estudos de caso-controle ou estudos retrospectivos
IV	Séries de casos
V	Opinião de especialistas

Fonte: Journal of Orthopaedic e Sports Physical Therapy (2021, traduzido)

Quadro 2 – Graus de recomendação

Grau de Recomendação	Força de Evidência	Descrição
A	Forte	Evidência de nível I e/ou II Uma preponderância de estudos de nível I e/ou II apoia a recomendação. Isso deve incluir pelo menos 1 estudo de nível I.
B	Moderada	Evidência de nível II Um único ensaio controlado randomizado de alta qualidade ou uma preponderância de estudos de nível II apoia a recomendação. Isso inclui estudos com acompanhamento de curto prazo (por exemplo, 3 meses ou menos) e tamanhos de amostra menores (por exemplo, menos de 100 participantes).
C	Fraca	Evidência de nível II Um único estudo de nível II apoia a recomendação.
D	Conflitante	Evidência de nível I e/ou II Estudos de nível I e/ou II discordam em suas conclusões ou não fornecem evidências consistentes.

Fonte: Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy (2021, adaptado e traduzido)

2.1.7 Abordagens inovadoras: estimulação transcraniana por corrente contínua

Sendo a dor lombar crônica uma disfunção do sistema nervoso central (SNC),

entende-se que tratamentos específicos direcionados a esse sistema podem apresentar resultados positivos no alívio da dor (Lloyd *et al.*, 2020). O emprego de corrente elétrica em baixa intensidade tem sido apontado como alternativa útil para tratar dores crônicas e processos de reabilitação (Jales Júnior *et al.*, 2015).

Nesse contexto, destaca-se a tDCS, de baixo custo, segura, bem tolerada e utilizada com o objetivo de modular a excitabilidade neuronal. Seu uso tem sido proposto como abordagem complementar para o tratamento da dor lombar crônica inespecífica, com a finalidade de ampliar o escopo terapêutico disponível (Lloyd *et al.*, 2020; Hazime, 2015).

Evidências neurofisiológicas apontam que a dor lombar crônica está associada a alterações plásticas no SNC, com destaque para a sensibilização central. Esta é caracterizada por um aumento na resposta neuronal a estímulos dolorosos, resultando em hiperalgesia, disfunção da modulação inibitória descendente e hiperexcitabilidade cortical (Nitsche; Paulus, 2000; Nitsche *et al.*, 2003; Nitsche *et al.*, 2008). Tais alterações promovem atividade exacerbada em regiões cerebrais como o córtex motor, tálamo e córtex somatossensorial, contribuindo para a perpetuação da dor, mesmo na ausência de lesão periférica (Foster *et al.*, 2018; Hazime, 2015). A tDCS atua sobre essas estruturas, principalmente o córtex motor, com o objetivo de modular a excitabilidade cortical e restaurar o equilíbrio funcional dessas vias neurais, promovendo redução da dor (Mariano *et al.*, 2019).

Estudos com neuroimagem funcional atestam que a tDCS está associada à alteração do fluxo sanguíneo cerebral, sem provocar distúrbios da barreira hematoencefálica, o que reforça seu perfil de segurança (Jales Júnior *et al.*, 2015). Por essas razões, essa técnica tem sido amplamente estudada desde o início do século XXI como ferramenta de neuromodulação cerebral (Lefaucheur *et al.*, 2016), destacando-se por seu efeito potencial na modulação da sensibilização central e por oferecer vantagens em relação a tratamentos convencionais (Silva *et al.*, 2018).

A aplicação da tDCS pode ser realizada em diferentes áreas corticais, especialmente no córtex motor e no córtex pré-frontal, por meio da liberação de corrente contínua de baixa intensidade através de eletrodos posicionados no couro cabeludo. Essa estimulação favorece o aumento da atividade cortical, o que induz à maior liberação de neurotransmissores como serotonina e endorfina — substâncias associadas à sensação de bem-estar —, contribuindo também para a redução do estresse e da ansiedade, sintomas frequentemente relacionados à dor crônica

(Hazime, 2015; Silva *et al.*, 2018).

Além disso, a produção de dopamina e ocitocina também é favorecida, o que colabora para a melhoria de funções físicas, emocionais e cognitivas, promovendo a recuperação funcional dos pacientes (Hazime, 2015; Silva *et al.*, 2018). A duração e a frequência da aplicação devem ser individualizadas pelo profissional de fisioterapia, geralmente seguindo protocolos semanais, de forma prolongada, e ajustando-se à resposta clínica do paciente. Em muitos casos, o alívio da dor pode ser percebido ainda durante o tratamento, antes mesmo de sua conclusão (Hazime, 2015).

Nesse sentido, a tDCS é compreendida como uma técnica neurofisiológica segura, acessível e de fácil aplicação, com potencial de utilização em diversas condições neuropsiquiátricas e, particularmente, na lombalgia crônica, na qual tem se mostrado útil na redução da dor (Souza *et al.*, 2018).

Embora os efeitos da tDCS no tratamento da dor crônica tenham sido amplamente estudados, sua eficácia como monoterapia permanece inconclusiva. No entanto, evidências sugerem que, quando utilizada de forma combinada a outras estratégias terapêuticas, a tDCS pode potencializar os resultados clínicos obtidos por abordagens isoladas (Hazime, 2015).

2.2 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO DA DOR LOMBAR CRÔNICA

A avaliação da dor crônica, especialmente em condições como a lombalgia crônica inespecífica, requer instrumentos validados que capturem suas dimensões subjetivas, funcionais e fisiológicas. No contexto do estudo, os instrumentos utilizados; Escala Visual Analógica (EVA), Escala de Dor Crônica Graduada (EDCG), Questionário de Incapacidade Roland-Morris (RMDQ), Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) e Eletromiografia de Superfície (sEMG) são amplamente reconhecidos na literatura. A combinação desses instrumentos permite uma avaliação multidimensional da dor crônica, abordando suas facetas sensorial (EVA, EDCG), funcional (RMDQ) e fisiológica (VFC, sEMG). A EVA e a EDCG são complementares, com a primeira capturando a intensidade imediata e a segunda avaliando o impacto crônico. O RMDQ, por sua vez, traduz a dor em limitações práticas, sendo essencial para ensaios clínicos que visam melhorar a funcionalidade. A VFC e a sEMG adicionam uma perspectiva neurofisiológica, evidenciando alterações autonômicas e musculares que podem não ser captadas por escalas subjetivas. Abaixo,

correlacionamos esses instrumentos com a dor crônica, destacando sua relevância e embasando a discussão

2.2.1 Chronic pain grade scale (CPGS)

A *Chronic Pain Grade Scale Versão 2 (CPGS-2)* é uma escala multidimensional desenvolvida para avaliar a gravidade da dor crônica em duas dimensões principais: intensidade da dor e incapacidade relacionada à dor. É baseada na versão original da *Chronic Pain Grade Scale (CPGS)*, e foi revisada, aprimora em sua precisão na classificação da dor crônica em diferentes níveis de severidade, permitindo uma avaliação mais detalhada do impacto funcional da dor no dia a dia do paciente (Åström *et al.*, 2023).

A CPGS-2 é amplamente utilizada em ensaios clínicos e pesquisas sobre dor musculoesquelética, incluindo lombalgia crônica e possui perguntas graduadas de 0 a 10 para medir a dor e sua interferência nas atividades diárias (Åström *et al.*, 2023).

Além disso, estudos sugerem que a CPGS-2 seja combinada com outros instrumentos, como a Escala Visual Analógica (EVA), para oferecer uma avaliação mais abrangente da dor e de seu impacto na funcionalidade, levando em consideração atividades gerais, trabalho e vida social, proporcionando portanto um quadro mais completo da experiência dolorosa do paciente (Åström *et al.*, 2023). Estudos também indicam que a versão original da escala, utilizada como base para um sistema de classificação da severidade da dor lombar crônica, apresentou sensibilidade de 54,6 %, especificidade de 76,4 % e acurácia global de 69,7 % (Hochheim *et al.*, 2022).

2.2.2 Escala visual analógica (EVA)

Dentre os domínios avaliados em ensaios clínicos sobre lombalgia, a intensidade da dor é uma das mais frequentemente mensuradas. A Escala Visual Analógica (EVA) continua sendo um dos instrumentos mais utilizados para essa avaliação, sendo considerada um dos principais *Patient-Reported Outcome Measures* (PROMs). Os PROMs são ferramentas essenciais para mensurar a percepção do paciente sobre sua saúde e qualidade de vida, refletindo melhor a experiência subjetiva da dor (Goudman *et al.*, 2024).

A EVA consiste em uma linha horizontal ou vertical de 10 cm, ancorada por descritores verbais nos extremos, onde 0 representa a ausência de dor e 10 indica a pior dor imaginável (Dixon,1981) – conforme Figura 1, que segue.

Figura 1 – Escala Visual Analógica



Fonte: Dixon; Bird (1981)

Estudos recentes demonstram que a EVA possui alta validade e confiabilidade para mensurar a dor em MSK, incluindo a LBP (Von-Korff, 2020).

A escala permite a avaliação de variações na intensidade da dor ao longo do tempo e é utilizada em diversas intervenções terapêuticas para monitoramento da evolução do paciente. Um dos avanços recentes na utilização da EVA é sua integração com tecnologias digitais, como aplicativos móveis e dispositivos vestíveis, permitindo uma mensuração mais frequente e precisa da dor relatada pelos pacientes (Taub *et al.*, 2023).

2.2.3 Questionário de incapacidade de Roland Morris/Roland Morris Disability Questionnaire (RMDQ)

A avaliação objetiva das limitações funcionais impostas pela lombalgia é essencial para monitorar a evolução clínica e a eficácia das intervenções terapêuticas. Nesse contexto, Roland e Morris desenvolveram, em 1983, o *Roland Morris Disability Questionnaire* (RMDQ), um dos instrumentos mais amplamente utilizados para quantificar a incapacidade funcional em indivíduos com dor lombar. Sua relevância transcende fronteiras, estando validado em 17 países e amplamente empregado em pesquisas e práticas clínicas internacionais (Nusbaum *et al.*, 2001).

O questionário é composto por 24 itens, cuja administração é simples e pode ser concluída pelo paciente em poucos minutos. Cada item requer uma resposta dicotômica (sim ou não), resultando em uma pontuação que varia de 0 a 24, sendo que escores mais altos indicam maiores níveis de incapacidade funcional (Nusbaum *et al.*, 2001).

Estudos recentes destacam a confiabilidade e validade do RMDQ em

diferentes contextos clínicos, incluindo populações com dor lombar aguda e crônica, como é o caso de Monteiro *et al.* (2010), que confirmaram a adequação da versão traduzida para o português, assegurando sua aplicabilidade no Brasil. Segundo os autores, sua simplicidade e sensibilidade tornam-no um instrumento valioso tanto para a avaliação longitudinal dos pacientes quanto para a comparação entre distintas abordagens terapêuticas.

Ademais, recentes avanços na análise psicométrica do RMDQ sugerem a possibilidade de adaptações que considerem especificidades culturais e individuais, ampliando ainda mais seu potencial clínico, como nos trazem os últimos 2 estudos mais recentes sobre o tema – o estudo de Sohail *et al.* (2023) e de Arovah *et al.* (2024).

Sohail *et al.* (2023) validaram e adaptaram culturalmente a versão urdu do RMDQ para a população paquistanesa, obtendo excelente confiabilidade (ICC = 0,846) e consistência interna (Cronbach α = 0,860). O estudo destacou a forte correlação entre o RMDQ e a Escala Visual Analógica (EVA), reforçando sua validade convergente para avaliar dor lombar e incapacidade.

Arovah *et al.* (2024) conduziram uma pesquisa de adaptação e validação da versão indonésia do RMDQ para pacientes com dor lombar não específica. O estudo demonstrou boa consistência interna (Cronbach α = 0,80) e excelente confiabilidade teste-reteste (ICC = 0,90), sugerindo sua adequação para uso clínico na Indonésia. No entanto, alguns itens apresentaram baixas cargas fatoriais, indicando a necessidade de futuras investigações sobre a estrutura do instrumento.

2.2.4 Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC)

Segundo a Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996), a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é um fenômeno fisiológico que descreve as variações nos intervalos de tempo entre batimentos cardíacos consecutivos, refletindo a influência do sistema nervoso autônomo (SNA) sobre o coração. A VFC tem sido amplamente estudada nas últimas décadas, especialmente após a descoberta de sua relação com a mortalidade cardiovascular, incluindo a morte súbita cardíaca. A capacidade de medir e interpretar a VFC oferece uma janela única para a avaliação do tônus autonômico, permitindo insights sobre a regulação cardiovascular e o risco associado

a diversas condições clínicas.

A relevância clínica da VFC foi inicialmente reconhecida na década de 1960, quando observações em fetos mostraram que alterações nos intervalos entre batimentos cardíacos precediam sinais de sofrimento fetal. Desde então, avanços tecnológicos e metodológicos permitiram a análise quantitativa da VFC, tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência. Sua análise espectral, introduzida na década de 1980, trouxe uma compreensão mais profunda dos componentes de alta e baixa frequência, que refletem, respectivamente, a atividade parassimpática e simpática (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

A VFC é influenciada por uma complexa interação de fatores fisiológicos, incluindo a respiração, a pressão arterial e os reflexos barorreceptores. Além disso, é modulada por condições patológicas, como infarto do miocárdio, insuficiência cardíaca e neuropatia diabética, onde a redução da variabilidade está associada a um pior prognóstico (Michel-Chávez *et al.*, 2015).

A medição da VFC tornou-se uma ferramenta valiosa na estratificação de risco pós-infarto, permitindo identificar pacientes com maior probabilidade de eventos arrítmicos e morte súbita. No entanto, a sua interpretação requer cautela, pois diferentes métodos de análise podem levar a conclusões variadas. A padronização das técnicas de medição e interpretação é essencial para garantir a comparabilidade dos resultados entre estudos e a aplicabilidade clínica (Michel-Chávez *et al.*, 2015).

O dispositivo da Polar RS800CX utilizado no estudo, é amplamente validado na literatura científica por sua precisão na detecção dos intervalos RR, sendo comparáveis ao eletrocardiograma (ECG) em repouso e durante atividades físicas moderadas.

Eles oferecem:

- a) - Alta sensibilidade para captar intervalos RR precisos
 - b) - Integração com softwares como Kubios HRV e apps como Elite HRV, HRV Logger
 - c) - Portabilidade e praticidade para uso em campo e em laboratório.
- O uso do Polar para medir VFC é comumente correlacionado a:
- a) Níveis de estresse e fadiga
 - b) Capacidade de recuperação pós-exercício
 - c) Resposta ao treinamento físico

- d) Condições clínicas (como dor crônica, insônia, ansiedade, doenças cardíacas)
- e) Estimulação neuromodulatória (como tDCS ou TENS) (*Schaffarczyk et al. 2022*)

Reconhecida como um marcador de risco cardiovascular, a VFC desempenha um papel bem estabelecido na avaliação da saúde cardiovascular e da função autonômica, conforme destacado por Cyrankiewicz e Zareba (2013) e deve seguir os critérios elencados nos protocolos de coleta, processamento e análise dos dados. Os dados são processados através da análise do domínio do tempo, análise do domínio da frequência e análise não linear (Marães, 2010).

O componente LF reflete a atividade simpática e parassimpática, enquanto o HF representa predominantemente a atividade parassimpática. O balanço autonômico é determinado pela razão LF/HF, em que valores superiores a 1 indicam simpaticotonia, inferiores a 1 sugerem vagotonia, e igual a 1 denota equilíbrio simpático-vagal (Marães, 2010). Este protocolo assegura uma avaliação precisa e confiável da VFC, contribuindo para a compreensão da modulação autonômica e sua relação com a saúde cardiovascular (Cyrankiewicz; Zareba, 2013).

As análises avaliadas no domínio do tempo HRV podem ser explicadas a partir das medidas estatísticas (Quadro 4) e das medidas geométricas (Quadro 5), e representam uma forma de entender como o ritmo cardíaco muda com o tempo. De acordo com Cyrankiewicz e Zareba (2013), a HRV é importante porque pode fornecer informações sobre a saúde do SNA, que controla as funções corporais involuntárias, como frequência cardíaca e respiração.

Quadro 3 – Análises avaliadas no domínio do tempo HRV: medidas estatísticas

(Continua)

Medidas Estatísticas – são cálculos que ajudam a resumir os dados sobre os batimentos cardíacos		
Variação	Unidade	Descrição
SDNN (desvio padrão dos intervalos NN)	Milissegundos (ms)	Essa medida analisa a variação no tempo entre todos os batimentos cardíacos normais (intervalos NN). Um SDNN mais alto significa mais variabilidade, o que geralmente é um sinal de boa saúde cardíaca

Quadro 3 – Análises avaliadas no domínio do tempo HRV: medidas estatísticas (Conclusão)

SDANN (desvio padrão dos intervalos médios de NN)	Milissegundos (ms)	Calcula o desvio padrão dos intervalos médios de NN em segmentos de 5 minutos de toda a gravação. Isso ajuda a entender como a frequência cardíaca muda com o tempo
RMSSD (raiz quadrada média de diferenças sucessivas)	Milissegundos (ms)	Esta é uma medida das diferenças entre intervalos NN consecutivos. Ele se concentra em variações de curto prazo e é frequentemente usado para avaliar a atividade do sistema nervoso parassimpático
SDSD (desvio padrão de diferenças sucessivas)	Milissegundos (ms)	Semelhante ao RMSSD, essa medida analisa o desvio padrão das diferenças entre os intervalos NN adjacentes. Ele fornece informações sobre a VFC
Contagem NN50	Contagem	Isso conta quantas vezes os intervalos NN adjacentes diferem em mais de 50 milissegundos. Isso pode ajudar a indicar o quanto a frequência cardíaca está mudando
PNN50	Porcentagem (%)	Esta é a contagem de NN50 dividida pelo número total de intervalos NN. Ele fornece uma porcentagem que mostra com que frequência ocorrem mudanças significativas na frequência cardíaca.

Fonte: Organizado pela autora (2024), adaptado de Cyrankiewicz e Zareba (2013)

Quadro 4 – Análises avaliadas no domínio do tempo HRV: medidas geométricas (continua)

Medidas Geométricas – Essas medidas usam formas e distribuições para analisar dados de frequência cardíaca		
Variação	Unidade	Descrição
Índice triangular HRV	Nenhuma	Isso é calculado tomando o número total de intervalos NN e dividindo-o pela altura de um histograma (um tipo de gráfico) que mostra a distribuição desses intervalos. Ele fornece uma visão geral simples da HRV
TINN (interpolação triangular de intervalos NN)	Milissegundos (ms)	Mede a largura da linha de base do histograma dos intervalos NN. Isso ajuda a entender a distribuição geral dos dados da frequência cardíaca
Índice diferencial	Milissegundos (ms)	Mede a diferença nas larguras dos histogramas que mostram as diferenças entre os intervalos NN adjacentes. Isso ajuda a analisar a consistência das alterações da frequência cardíaca

Quadro 4 – Análises avaliadas no domínio do tempo HRV: medidas geométricas (conclusão)

Índice logarítmico	Nenhuma	Este é um coeficiente que representa o melhor ajuste de uma curva ao histograma de diferenças absolutas entre os intervalos NN adjacentes. Isso ajuda a entender o padrão geral da VFC
--------------------	---------	--

Fonte: Organizado pela autora (2024), adaptado de Cyrankiewicz e Zareba (2013)

As medidas estatísticas e geométricas fornecem maneiras diferentes de analisar a VFC, o que pode ser crucial para entender a saúde do coração e o funcionamento do SNA. Cada medida tem seu próprio foco, seja analisando mudanças de curto prazo, variabilidade geral ou distribuição das frequências cardíacas ao longo do tempo. Compreender essas medidas pode ajudar tanto em ambientes clínicos quanto em pesquisas para avaliar a saúde cardiovascular (Cyrankiewicz; Zareba, 2013).

2.2.5 Eletromiografia de superfície (sEMG)

A eletromiografia de superfície (sEMG) representa uma técnica que permite monitorar a atividade elétrica das membranas excitáveis, capturando os potenciais de ação do sarcolema em relação à voltagem ao longo do tempo. O sinal eletromiográfico constitui a combinação algébrica de todos os sinais detectados em uma determinada área, sendo influenciado por características musculares, anatômicas e fisiológicas, bem como pelo controle do sistema nervoso periférico e pelo equipamento utilizado para a captura dos sinais (Enoka; Fuglevand, 2000).

A sEMG tornou-se uma ferramenta valiosa na avaliação clínica e na pesquisa biomecânica, permitindo a análise não invasiva da atividade muscular durante diferentes tarefas funcionais. A técnica baseia-se na detecção de potenciais elétricos gerados pelas fibras musculares durante a contração, fornecendo informações sobre o recrutamento, a sincronização e a fadiga muscular. No contexto da dor lombar crônica, a sEMG tem sido amplamente utilizada para identificar alterações no padrão de ativação muscular, como a redução da atividade do multifídeo e o aumento da atividade dos músculos superficiais, como o eretor da espinha (Hodges *et al.*, 2015).

A baixa resistência neuromuscular da coluna lombar tem sido associada ao potencial desenvolvimento de dor lombar (Alaranta *et al.*, 1995; Biering-Sorensen, 1984; Davis e Schoorman, 1995; Hultman *et al.*, 1993; Nelson *et al.*, 1995; Smidt *et al.*, 1983).

Adicionalmente, a redução da força e resistência do tronco, associada a um padrão cíclico de descondicionamento decorrente de dor, evitação e inatividade, é apontada como uma característica definidora desse quadro (Biering-Sorensen, 1984; Mayer e Gatchel, 1988).

Existem inúmeros fatores de risco potenciais para o desenvolvimento de dor na coluna, incluindo a baixa resistência dos extensores lombares (Canadian Society for Exercise Physiology 2004). Neste contexto, a identificação de fatores de risco, como a reduzida resistência dos extensores lombares, pode ser de extrema relevância. De acordo com Moreau *et al.* (2001), o teste de fadiga mais amplamente reportado na literatura é o teste de Biering-Sorensen de 1984.

Neste teste, algumas orientações precisam ser seguidas, principalmente em relação ao necessário para a coleta de dados: ao preparo do participante; à preparação da pele; à aplicação dos eletrodos; à calibração e configuração do equipamento; e à coleta de dados (propriamente dita) – como detalhado no Quadro 6.

Quadro 5 – Orientações para aplicação do Teste de Biering-Sorensen de 1984

(continua)

Preparação do participante	<ul style="list-style-type: none"> -Explicação do procedimento ao participante para garantir o consentimento informado; -Solicitamos que o participante retire quaisquer joias ou objetos que possam interferir na aplicação dos eletrodos; -Identificação e marcação das regiões musculares de interesse com precisão, utilizando referências anatômicas.
Preparação da pele	<ul style="list-style-type: none"> -Limpeza da área da pele onde os eletrodos serão colocados com álcool ou um abrasivo leve para remover óleo, poeira e células mortas da pele; -Deixar a área secar completamente antes de aplicar os eletrodos.
Aplicação dos eletrodos	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar eletrodos de superfície adequados para a sEMG, como eletrodos bipolares ou eletrodos de matriz; -Aplicação dos eletrodos de acordo com as diretrizes do fabricante e as recomendações da literatura científica, garantindo que eles estejam alinhados com a direção das fibras musculares; -Verificação da impedância elétrica dos eletrodos para garantir uma boa condução do sinal.
Calibração e configuração do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> -Calibragem do equipamento de sEMG de acordo com as instruções do fabricante; -Configuração dos parâmetros de aquisição, como a frequência de amostragem e a banda passante, de acordo com as necessidades do estudo; -Sistema livre de ruídos externos, como interferências de linha elétrica ou dispositivos de comunicação.

Quadro 5 – Orientações para aplicação do Teste de Biering-Sorensen de 1984

(conclusão)

Coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> -Instrução ao participante sobre as tarefas a serem realizadas, como contrações musculares ou movimentos específicos; -Início da gravação dos sinais eletromiográficos antes de o participante começar a tarefa para capturar o baseline de atividade muscular; -Coleta dos dados durante a realização das tarefas, garantindo que o participante mantenha uma postura constante e um padrão de movimento consistente.
------------------------	--

Fonte: Elaborado pela autora (2024) a partir de Moreau *et al.* (2001)

Sobre o processamento dos dados no sEMG, registra-se que comumente o aparelho sEMG System do Brasil envolve uma série de etapas técnicas para transformar os sinais elétricos brutos captados pelos eletrodos em informações úteis e interpretáveis. Essas etapas incluem: a captação; a filtragem; a retificação; a integração e análise dos parâmetros; o cálculo da normalização dos dados; e a visualização e interpretação – como detalhado no Quadro 7.

Quadro 6 – Etapas técnicas do processamento de dados mediante uso do aparelho sEMG System do Brasil (continua)

Captação do Sinal Bruto	<ul style="list-style-type: none"> -Os sinais de sEMG são captados por meio de eletrodos de superfície ou intramusculares, dependendo do tipo de exame; -O sinal bruto é composto por potenciais de ação das unidades motoras, que são amplificados e digitalizados pelo sistema.
Filtragem do Sinal	<ul style="list-style-type: none"> -O sinal bruto contém ruídos e interferências que precisam ser removidos para garantir a qualidade dos dados. A filtragem é realizada em duas etapas principais: (1) Filtro passa-alta: Remove componentes de baixa frequência (como artefatos de movimento ou interferências da linha de base); (2) Filtro passa-baixa: Remove componentes de alta frequência (como ruídos eletromagnéticos ou interferências de equipamentos próximos); -A faixa de frequência típica para sinais de sEMG é de 10 a 500 Hz.
Retificação do sinal	<ul style="list-style-type: none"> -O sinal de sEMG é bipolar, ou seja, oscila entre valores positivos e negativos. A retificação converte todos os valores negativos em positivos, facilitando a análise da amplitude do sinal. -Pode ser feita uma retificação de onda completa (todos os valores são convertidos para positivos) ou retificação de meia onda (apenas os valores positivos são mantidos).
Integração do Sinal	<ul style="list-style-type: none"> -Após a retificação, o sinal é integrado para obter uma medida da atividade elétrica total do músculo ao longo do tempo. -A integração pode ser feita por meio de: (1) Média móvel: Calcula a média dos valores em uma janela de tempo específica; (2) Integral linear: Soma os valores absolutos do sinal em um intervalo de tempo; -Essa etapa fornece uma medida da atividade muscular total durante o período analisado.

Quadro 6 – Etapas técnicas do processamento de dados mediante uso do aparelho sEMG System do Brasil (conclusão)

Análise (quantitativa de Parâmetros Específicos)	<p>-Amplitude do Sinal (RMS - Root Mean Square): Mede a magnitude do sinal de sEMG, indicando a intensidade da ativação muscular;</p> <p>-Frequência Média ou Mediana: Reflete a composição das unidades motoras ativadas e pode indicar fadiga muscular;</p> <p>-Tempo de Ativação e Desativação: Avalia o tempo que o músculo leva para iniciar ou cessar a atividade;</p> <p>-Co-Ativação Muscular: Analisa a sincronização entre músculos agonistas e antagonistas.</p>
Normalização dos Dados/ Cálculo da Normalização	<p>-Os dados brutos de sEMG são normalizados utilizando a fórmula, pois permite que os dados sejam expressos em porcentagem da contração de referência, facilitando a comparação entre indivíduos ou condições.</p> $\text{EMG normalizado (\%)} = \left(\frac{\text{Valor de EMG obtido}}{\text{Valor de referência (CMV ou sub-máxima)}} \right) \times 100$
Visualização e Interpretação	<p>-Os dados processados são visualizados em gráficos ou tabelas, permitindo a interpretação dos resultados.</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2024) a partir de Moreau *et al.* (2001)

A análise dos sinais de sEMG é fundamental para extrair dados quantitativos e interpretáveis, sendo divididos em duas abordagens principais: análise no domínio do tempo e análise no domínio da frequência (De Luca, 1997).

A análise no domínio do tempo concentra-se na amplitude do sinal de sEMG ao longo do tempo, permitindo a avaliação da intensidade da ativação muscular. Um dos parâmetros mais utilizados é o valor da *Root Mean Square* (RMS), que representa a magnitude efetiva do sinal e está diretamente relacionado à força de contração muscular (Basmajian; De Luca, 1985). O RMS é calculado como a raiz quadrada da média dos quadrados dos valores do sinal.

Outro parâmetro relevante é a Integral do Sinal de Eletromiografia (IEMG), que soma os valores absolutos do sinal ao longo do tempo, fornecendo uma medida da atividade muscular total durante um período específico (Clancy; Morin; Merletti, 2002). Além disso, o tempo de ativação e desativação muscular é frequentemente analisado para estudar a coordenação e a sincronização entre músculos agonistas e antagonistas (Hodges; Bui, 1996).

A análise no domínio da frequência, por sua vez, foca nas características espectrais do sinal de sEMG, fornecendo informações sobre a composição das unidades motoras e a fadiga muscular. A FFT é o método mais comum para converter

o sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência, permitindo a identificação das frequências predominantes no sinal (Merletti; Parker, 2004). A fadiga muscular, por exemplo, causa um deslocamento do espectro de frequências para valores mais baixos, o que pode ser quantificado por meio da frequência média ou da frequência mediana (De Luca, 1984).

A frequência mediana, por sua vez, divide o espectro de frequências em duas partes de igual potência, sendo menos sensível a ruídos de alta frequência (Merletti; Knaflitz; De Luca, 1990).

A combinação das análises no domínio do tempo e da frequência permite uma avaliação abrangente da função muscular. No domínio do tempo, parâmetros como o RMS e o IEMG são utilizados para quantificar a intensidade da ativação muscular e estudar padrões de coordenação (Hug, 2011). Já no domínio da frequência, a FFT e as medidas de frequência média e mediana são essenciais para detectar fadiga muscular e alterações neuromusculares em condições patológicas (Cifrek *et al.*, 2009). Essas análises são amplamente aplicadas em contextos clínicos, como na reabilitação de pacientes com disfunções neuromusculares, e em pesquisas científicas, como no estudo do desempenho muscular durante tarefas funcionais (Farina; Merletti; Enoka, 2004)

ARTIGO – EFICÁCIA DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA ASSOCIADA A EXERCÍCIOS FÍSICOS NOS PARÂMETROS DE DOR, NA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E NA ATIVIDADE ELÉTRICA MUSCULAR PARA LOMBALGIA CRÔNICA INESPECÍFICA: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO

Bianca Lefosse, Júlia Ferreira de Oliveira Rodrigues, Giovana Rocha Barros Leite de Siqueira, João Paulo da Silva Teixeira Barú, Ana Paula Assunção Quirino, Caroline Lima Farias, Adriana Teresa Silva Santos, Andréia Maria Silva Vilela Terra.

Resumo

Contexto: A dor lombar crônica inespecífica é uma condição incapacitante que afeta milhões de pessoas e representa a principal causa global de incapacidade. A relevância deste estudo está na necessidade de investigar intervenções eficazes para o manejo da dor, dado que as terapias convencionais ainda apresentam limitações. A combinação da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (tDCS) com exercícios físicos é proposta como estratégia terapêutica inovadora. Objetivo: Analisar a eficácia da tDCS associada a exercícios físicos na intensidade da dor, no desempenho funcional, na variabilidade da frequência cardíaca e na atividade elétrica muscular em pessoas com lombalgia crônica inespecífica. Métodos: Ensaio clínico randomizado, duplo-cego, com 31 participantes. Os indivíduos foram alocados em grupo experimental (n=15), submetido à tDCS ativa associada a exercícios físicos, e grupo placebo (n=16), com tDCS simulada associada ao mesmo protocolo de exercícios. O protocolo consistiu em 20 sessões (10 consecutivas e 10 alternadas). A intensidade da dor foi avaliada pela Escala de Dor Crônica Graduada (EDCG) e pela Escala Visual Analógica (EVA), o desempenho funcional pelo Questionário Roland Morris (RMDQ), a VFC por meio de índices como R-R, pNN50, LF e SD2, e a atividade muscular por eletromiografia de superfície. Resultados: EDCG: efeito temporal significativo ($p < 0,05$) em ambos os grupos, sem diferença intergrupos. EVA: redução da dor ao longo do tempo ($p < 0,05$), sem diferença intergrupos ($p = 0,75$). RMDQ: melhora significativa ao longo do tempo ($p < 0,001$) e interação em T0 ($p = 0,03$). VFC: aumento do intervalo R-R no grupo experimental ($p = 0,02$), com diferença intergrupos ($p = 0,01$). Redução de pNN50 ($p = 0,03$) e LF ($p = 0,02$) com interação significativa. SD2 reduziu temporalmente ($p = 0,02$). EMG: ambos os grupos apresentaram melhora no tempo de contração muscular (resistência). O grupo experimental mostrou redução da taxa de fadiga dos músculos abdominais. Variáveis como RMSn, frequência mediana e fadiga dos extensores lombares não diferiram entre os grupos. Conclusão: A combinação de tDCS e exercícios físicos não demonstrou superioridade intergrupos para dor e funcionalidade. No entanto, ambos os grupos apresentaram melhoras ao longo do tempo (efeito intragrupos). O grupo experimental destacou-se na modulação autonômica, evidenciada pelo aumento do intervalo R-R da VFC, sugerindo efeito positivo da tDCS na regulação autonômica. A eletromiografia revelou ganho funcional nos dois grupos, com efeito adicional da tDCS na redução da fadiga abdominal.

1 INTRODUÇÃO

A lombalgia inespecífica é uma das principais causas de dor crônica, afetando milhões de pessoas em todo o mundo. Caracteriza-se por dor e desconforto na região lombar, situada abaixo das costelas e acima da prega glútea. No contexto internacional, é referida como *low back pain* (LBP) e corresponde ao tipo mais comum de lombalgia, sendo definida como dor lombar não atribuída a uma patologia reconhecível ou específica, como comprometimento da raiz nervosa, fratura, câncer ou doenças inflamatórias da coluna. A forma crônica é caracterizada por episódios com duração igual ou superior a 12 semanas (Airaksinen *et al.*, 2006; Van Tulder *et al.*, 2006).

Pacientes com LBP apresentam uma taxa de melhora favorável nas primeiras seis semanas; no entanto, aproximadamente 40% dos pacientes desenvolverão dor lombar crônica (Costa *et al.*, 2012). Essa condição está entre as mais recorrentes no contexto musculoesquelético e representa um dos maiores desafios da saúde pública contemporânea. A dor crônica resulta de mecanismos neurofisiológicos complexos que envolvem sensibilização central e alterações nos processos moduladores da dor (Treede *et al.*, 2019). Essas alterações neuroplásticas não apenas perpetuam a percepção dolorosa, mas também contribuem para comorbidades psicoemocionais, como ansiedade e depressão, ampliando o impacto na qualidade de vida. A ausência de um diagnóstico específico torna a abordagem terapêutica particularmente desafiadora, exigindo estratégias multidisciplinares que transcendam modelos biomédicos tradicionais (Cohen *et al.*, 2021).

De acordo com a *Global Burden of Disease Study* (Vos *et al.*, 2023), epidemiologicamente a lombalgia inespecífica configura-se como a principal causa de incapacidade global, afetando aproximadamente 619 milhões de pessoas em 2020, com projeções de aumento para 843 milhões até 2050. No contexto brasileiro, estudos transversais apontam prevalência de 18,4% na população adulta, sendo responsável por 25% dos afastamentos laborais e custos anuais superiores a R\$ 100 bilhões em despesas diretas e indiretas. O impacto econômico é expressivo devido a necessidade de tratamento contínuo e perdas de produtividade.

A presença da LBP afeta diretamente a funcionalidade dos indivíduos, sendo comumente avaliada pelo instrumento validado Questionário de Roland-Morris (RMDQ), que quantifica o impacto da dor sobre atividades cotidianas, desde caminhar

até vestir-se, em uma escala de 0 a 24 pontos (Roland; Fairbank, 2000). Indivíduos com pontuações elevadas nesse questionário apresentam maior comprometimento funcional.

Além das alterações funcionais, estudos indicam que pessoas com LBP frequentemente apresentam redução na variabilidade da frequência cardíaca (VFC), condição associada à hiperatividade simpática e menor resiliência autonômica. A VFC, medida pela análise do intervalo R-R, reflete a capacidade do sistema nervoso autônomo de adaptar-se a estímulos ambientais, sendo essa capacidade reduzida em quadros de dor persistente (Tracy *et al.*, 2016; Forte *et al.*, 2022).

Outra alteração comumente reportada na literatura está relacionada à indução da hiperatividade muscular em repouso e alterações nos padrões de recrutamento durante movimentos, mensuráveis por eletromiografia (EMG). Essas alterações estão associadas a fadiga muscular precoce e desequilíbrios posturais (Hodges; Tucker, 2011).

No que tange ao tratamento, a abordagem clínica e conservadora é amplamente recomendada, com destaque para a terapia baseada em exercícios físicos como primeira linha de tratamento. As diretrizes internacionais, como as publicadas pelo *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE, 2020), enfatizam que programas de exercício são essenciais na reabilitação da lombalgia, promovendo melhora da dor e da funcionalidade. Paralelamente, técnicas neuromodulatórias, como tDCS, ganham destaque por modular a excitabilidade cortical, atenuando a sensibilização central em regiões como o córtex motor primário e o córtex pré-frontal dorsolateral. (Woods *et al.*, 2016). Portanto as técnicas de tDCS emergem como uma alternativa terapêutica promissora para modulação da dor crônica na lombalgia.

Estudos sobre a LBP estão em constante desenvolvimento, para achados que contemplem a abolição ou o controle dos sintomas e, portanto, buscam empregos de diversas técnicas e, dentre elas, tem-se algumas em processo de validação (Oliveira *et al.*, 2023).

No estudo de Cavalcante *et al.* (2020), foi avaliado o efeito da tDCS associada a exercícios terapêuticos em indivíduos com lombalgia crônica inespecífica. O protocolo incluiu 12 sessões, realizadas três vezes por semana durante quatro semanas, com avaliações no início, após 4 semanas, 3 meses e 6 meses. Os resultados indicaram que a combinação de tDCS e exercícios foi mais eficaz do que

apenas exercícios terapêuticos para reduzir a intensidade da dor, melhorar o desempenho funcional e promover alterações na variabilidade da frequência cardíaca.

Com base nesses achados, o presente estudo propõe investigar se a aplicação da tDCS associada a exercícios físicos, mas utilizando um protocolo com dose diferente e comparando sessões consecutivas versus sessões intervaladas, pode potencializar os benefícios previamente observados, avaliando seus efeitos sobre dor, função, variabilidade cardíaca e atividade elétrica muscular.

Apesar da limitada evidência sobre a eficácia isolada da tDCS no manejo da lombalgia crônica, uma revisão sistemática com meta-análise (Cárdenas-Rojas *et al.*, 2020) identificou efeitos clinicamente relevantes na redução da dor quando a tDCS foi associada a exercícios físicos (efetividade moderada a forte). Esses resultados reforçam a necessidade de estudos controlados que explorem essa combinação terapêutica.

Sendo assim a hipótese foi a tDCS associada ao exercício físicos seria eficaz na melhora da intensidade da dor, redução na interferência da dor nas atividades, melhora no desempenho funcional, na modificação na variabilidade cardíaca e na atividade elétrica muscular de pessoas com lombalgia crônica inespecífica. Outra hipótese é que protocolo consecutivo teria melhor efeito do que protocolo intervalado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Este ensaio clínico randomizado, controlado e duplo-cego, foi conduzido em conformidade com as diretrizes do *Consolidated Standards of Reporting Trials* (CONSORT, 2010), um conjunto de recomendações para garantir a transparência, completude e qualidade na descrição de estudos clínicos. O uso do *checklist* CONSORT permite uma comunicação clara e rigorosa dos métodos e resultados, reduzindo vieses e facilitando a reprodutibilidade do estudo.

2.2 RECRUTAMENTO E ADERÊNCIA

O recrutamento foi feito por convite em mídias sociais e convite no grupo de WhatsApp locais do município mineiro de Alfenas. A pesquisadora entrou em contato com os voluntários por meio do WhatsApp enviando convite. À medida que

a autora da pesquisa recebia as mensagens de *feedback*, dava-se prosseguimento à conversa, já estabelecendo, através de perguntas programadas, os critérios de inclusão e exclusão, bem como agendamento.

Além disso, foram implementadas estratégias para otimizar a adesão à intervenção com tDCS e ao protocolo de exercícios, tais como: confirmação prévia de agendamentos, com reforço do compromisso com a participação contínua; explicação detalhada sobre a importância de não faltar ao tratamento; exemplificação do valor do tratamento, caso fosse feito por vias particulares e; flexibilização quanto aos horários.

2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

O avaliador cego analisou os critérios de inclusão que foram: idade entre 18 a 65 anos, lombalgia crônica inespecífica e capacidade de fornecer o consentimento informado. Também foi avaliado os critérios de exclusão: comprometimento da raiz nervosa, doenças graves da coluna, cirurgias na coluna, comprometimento cognitivo, contraindicação para tDCS (epilepsia, implantes no crânio), doenças cardiopulmonares, doenças renais e hepáticas graves e gestante, ferida aberta no local da aplicação, doenças neurológicas e EVA ≤ 3 .

Todos os pacientes que consentiram em participar assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido(TCLE).

2.4 RANDOMIZAÇÃO E ALOCAÇÃO

Esta distribuição em grupos ocorreu por meio da randomização da amostra, executada com o auxílio de *software*, garantindo o sigilo da alocação. Assim, as sequências de randomização foram geradas por meio da randomização em blocos pré-definidos, utilizando o site randomizer.org (www.randomizer.org), garantindo a distribuição imparcial entre os grupos e minimizando possíveis vieses de alocação. Assim os voluntários foram randomizados em dois grupos: (1) o grupo placebo (n=16) e; (2) o grupo de intervenção/tratamento (n=15).

2.5 CÁLCULO AMOSTRAL

O cálculo amostral foi realizado a partir de 10 voluntários da amostra total,

sendo 5 para o grupo placebo e 5 experimental. O desfecho adotado para o cálculo foi a EVA, tendo $\alpha = 0,05$ e poder (β) = 0,80 adotado. Os valores médios e desvio padrão foram: GP = $0,4 \pm 0,54$; GE = $1,2 \pm 1,6$, chegando a 35 participantes por grupo.

O quadro 7 apresenta o setup experimental da pesquisa nos momentos de avaliação.

Quadro 7 - Setup Experimental.

1º Dia	2º Dia	3º ao 9º Dia	10º Dia	11º ao 19º Dia	20º Dia
- EDCG - EVA - RMDQ - EMG	- 15 min: repouso - 5 min: VFC - 50 min: inter - EVA Final - 15 min: repouso - 5 min: VFC	- 50 min: inter - EVA Final	- 15 min - repouso - 5 min: VFC - 50 min: inter - EVA Final - 15 min: repouso - 5 min: VFC - EDCG - RMDQ - EMG	- 50 min: Inter - EVA final	- 15 min - repouso - 5 min: VFC - 50 min: inter - EVA Final - 15 min: repouso - 5 min: VFC - EDCG - RMDQ - EMG

2.6 INSTRUMENTOS PARA AVALIAÇÃO E COLETA DE DADOS

Dados clínicos da amostra: Foi coletado: idade, peso, altura, IMC, tempo diagnóstico, QGPA e sexo.

Questionário Global de atividade física (QGPA)

2.6.1 Desfecho primário – Variável dependente

1- Escala de Dor Crônica Graduada (EDCG) – Versão 2

A Escala de Dor Crônica Graduada (EDCG) é um instrumento multidimensional utilizado para avaliar dois domínios principais da dor crônica: intensidade da dor e interferência nas atividades diárias. Sua aplicação é indicada para diversas condições de dor crônica, incluindo dor musculoesquelética e lombar. É composta por oito perguntas graduadas de 0 a 10, onde 0 representa ausência de dor e 10 a máxima intensidade (Hawker *et al.*, 2011).

As questões de 1 a 3 avaliam a intensidade da dor (dor atual, pior dor e dor média

no período avaliado) e as questões de 4 a 8 mensuram a interferência da dor nas atividades diárias, como trabalho, vida social, lazer e atividades domésticas. A interferência é considerada um dos aspectos mais relevantes da dor crônica, pois prediz incapacidade funcional, relaciona-se com pior qualidade de vida, afeta o retorno ao trabalho e o engajamento social, além de estar associada a maior risco de cronicidade e impacto psicológico negativo (Von Korff *et al.*, 1992).

O cálculo da pontuação segue o modelo original: para intensidade, calcula-se a média das três questões correspondentes e multiplica-se por 10, resultando em um escore de 0 a 100. Para interferência, calcula-se a média das cinco questões específicas e multiplica-se por 10, obtendo-se igualmente um escore de 0 a 100. Quanto maior a pontuação, maior a gravidade da dor ou da incapacidade associada.

A coleta dos dados foi realizada presencialmente, com o avaliador aplicando o questionário e registrando as respostas diretamente no prontuário do participante. A escala foi aplicada em três momentos: baseline (tempo 0), após 10 atendimentos (tempo 1) e após 20 atendimentos (tempo 2).

2- Escala Visual Analógica

A escala visual analógica (EVA) é a medida de resultados relatados pelo paciente (PROMs) mais frequentemente usada para medir a intensidade da dor em ensaios de lombalgia. Os PROMs são considerados importantes porque fornecem uma avaliação da saúde a partir da visão do paciente e de sua percepção de qualidade de vida relacionada à saúde. É uma escala numérica variando de 0 a 10 (sendo 0 indicando ausência de dor, 5 representando dor moderada e 10 correspondendo à pior dor) para avaliar a intensidade da dor (Torres, 2006).

É uma escala de autorrelato composta por uma linha horizontal ou vertical, geralmente de 10 cm de comprimento (100 mm) ancorada nos extremos por 2 descritores verbais referentes ao estado de dor. Uma questão introdutória (com ou sem período recordatório de tempo) solicita ao paciente que marque com uma linha o ponto que melhor se refere à sua dor (Dixon; Bird, 1981).

A coleta dos dados ocorreu de forma direta e presencial, com o avaliador realizando a pergunta ao voluntário e registrando a resposta no prontuário do paciente. A escala foi aplicada no baseline (após a primeira sessão), após a 10ª sessão e após a 20ª sessão, permitindo acompanhar a evolução da intensidade da dor ao longo do

tratamento.

2.6.2 Desfecho secundário – Variável dependente

1- Questionário de Incapacidade de Roland Morris/*Roland Morris Disability Questionnaire* (RMDQ)

Roland e Morris desenvolveram em 1983 um questionário para avaliar a incapacidade funcional dos voluntários com lombalgia nas suas atividades – o RMDQ. O interesse a nível mundial pelo RMDQ tem sido muito grande, encontrando-se já validado em 17 países. O questionário é composto por 24 perguntas que podem ser preenchidas pelos pacientes em um período inferior a cinco minutos. Cada pergunta apresenta uma resposta de escolha única, permitindo aos pacientes optar entre "sim" ou "não". O resultado é obtido somando-se as respostas "sim". Esse resultado pode variar de 0 a 24, sendo que o valor 0 indica a ausência de queixas, enquanto o valor máximo corresponde a pacientes enfrentando limitações de extrema gravidade. A nota de corte é 14 pontos. Escore maior que 14 indica incapacidade significativa (Nusbaum *et al.*, 2001). Um ponto de corte comumente utilizado é 14 pontos, sendo escores iguais ou superiores indicativos de incapacidade funcional mais acentuada.

Monteiro *et al.* (2010), afirmam que o RMDQ foi devidamente adaptado e validado para aplicação na língua portuguesa e, portanto, confiável para avaliações de dor lombar crônica. Trata-se de uma ferramenta importante não só para a investigação como para o tratamento dos doentes com lombalgia. O questionário é de fácil aplicação, sendo preenchido pelo paciente. A sua cotação é simples, bastando somar um ponto por cada resposta afirmativa

A pesquisadora conduziu a aplicação de forma direta, lendo cada questão individualmente ao voluntário, assegurando o tempo necessário para a reflexão e formulação da resposta. As respostas foram registradas no prontuário do paciente e, posteriormente, procedeu-se ao cálculo da pontuação correspondente. A aplicação do questionário ocorreu no baseline, após a décima e vigésima sessão.

2- Variabilidade da Frequência Cardíaca

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) fornece informações indiretas

sobre o tônus do sistema nervoso autônomo e tem um papel bem estabelecido como marcador de risco cardiovascular (Cygankiewicz; Zareba, 2013).

Para os procedimentos de coleta, os voluntários foram orientados a evitar a ingestão de café, chá e refrigerantes, bem como a não praticar atividade física por 24 horas antes da avaliação. Além disso, foi recomendado um período de sono mínimo de 7 horas na noite anterior (Catai *et al.* 2020).

O registro do batimento cardíaco foi realizado com um cardiofrequencímetro (*Polar® VC800 Heart Rate Monitor* – Kempele, Finlândia). O pesquisador posicionava a cinta na região do tórax do voluntário, aplicando gel condutor para melhor captação do sinal. O voluntário permanecia em posição supina por 15 minutos em repouso e, em seguida, a coleta era realizada por 5 minutos. Durante esse período, o indivíduo deveria permanecer em silêncio e sem movimentos, conforme o protocolo estabelecido por Catai *et al.* (2020). Os dados eram armazenados diretamente no relógio do dispositivo.

Essa avaliação foi conduzida em três momentos: baseline (pré e pós intervenção), após 10 atendimentos (pré e pós intervenção) e após 20 atendimentos (pré e pós intervenção).

Quanto ao processamento dos dados, eles foram armazenados no relógio e transferidos para o computador por meio do software *Polar FlowSync*, ficando disponíveis na nuvem. O pesquisador então baixava os arquivos do site <https://flow.polar.com/> e exportava o sinal em formato de texto (.txt).

O processamento foi realizado no *software Kubios HRV Standard* (versão 3.5.0), utilizando o filtro *Threshold (very low)*. Os resultados foram salvos em formato PDF e posteriormente tabulados no programa Excel, sendo analisados nos domínios do tempo, da frequência e não linear.

As variáveis analisadas no estudo foram:

- Domínio do tempo: R-R, H-R, SDNN, RMSS, NN50, pNN50;
- Domínio da frequência: LF, HF, LF/HF;
- Análise não linear: SD1, SD2, SD1/SD2, α_1 , α_2 (Marães, 2010).

3- Eletromiografia de Superfície (EMGs)

A eletromiografia (EMG) é uma técnica que permite monitorar a atividade elétrica das membranas excitáveis, registrando os potenciais de ação do sarcolema em relação à voltagem ao longo do tempo. O sinal eletromiográfico resulta da combinação algébrica

de todos os sinais detectados em uma determinada região muscular, sendo influenciado por fatores musculares, anatômicos e fisiológicos, além do controle exercido pelo sistema nervoso periférico e pelas características do equipamento utilizado na captação dos sinais (Enoka; Fuglevand, 2000).

Neste estudo, utilizou-se um sistema de EMG - EMG System®, modelo com 4 canais e com fio, com frequência de amostragem de 2.000 Hz e filtros passa-alta e passa-baixa ajustados, respectivamente, para 20 Hz e 500 Hz, seguindo recomendações para análise de EMG de superfície.

A (EMG) é uma técnica amplamente utilizada na pesquisa e na prática clínica para avaliar a atividade elétrica dos músculos esqueléticos durante tarefas estáticas ou dinâmicas. No contexto da coluna lombar, a captação da atividade do músculo eretor da espinha fornece informações valiosas sobre o controle motor, a fadiga muscular e a função neuromuscular em indivíduos com ou sem dor lombar. Para garantir a confiabilidade e a reprodutibilidade dos sinais eletromiográficos, a colocação dos eletrodos seguiu as recomendações do projeto SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles*), conforme descrito por Hermens et al. (1999), que propõe diretrizes padronizadas para a aquisição de sinais EMG em diferentes grupos musculares.

Quanto aos procedimentos de coleta de dados, para garantir a qualidade do sinal, a pele foi devidamente preparada por meio de limpeza com algodão embebido em álcool a 70% e remoção dos pelos, quando necessário. Esse procedimento assegura uma melhor aderência dos eletrodos, contribuindo para a obtenção de dados eletromiográficos mais precisos e confiáveis.

Os músculos analisados foram o reto abdominal e o eretor da espinha (longuíssimo lombar):

- Coleta no músculo reto abdominal

Os eletrodos foram posicionados na musculatura do reto abdominal (2 a 3 cm lateral a cicatriz umbilical), respeitando uma distância de 20mm entre os eletrodos. A fixação foi realizada bilateralmente (Clark *et al.*, 2003).

Durante a coleta, o voluntário permaneceu em decúbito dorsal com 60° flexão de quadril e 120° flexão de joelhos, mãos cruzadas no ombro e pés apoiados na maca. O voluntário foi instruído a realizar flexão anterior do tronco em contração isométrica máxima (teste de McGill para flexores – McGill *et al.*, 1999) por 80 segundos (ou até a fadiga). A coleta foi realizada em triplicata, com intervalos de 1 minuto de repouso entre

cada tentativa. Para análise, considerou-se a média das três coletas, de forma a reduzir a variabilidade e aumentar a confiabilidade dos dados. Não foram observadas alterações relevantes no sinal eletromiográfico ao longo das tentativas. O tempo de execução da contração isométrica máxima para a população com lombalgia é entre 50 e 90 segundos, dependendo da gravidade e da funcionalidade (McGill *et al.*, 1999).

Figura 2 – Avaliação do músculo reto abdominal



Fonte: Autor

- Coleta no músculo eretor da espinha (longuíssimo lombar)

Para a avaliação do eretor da espinha, o voluntário permaneceu em decúbito ventral, com fixação do quadril, joelhos e tornozelos (Figura 2).

Os eletrodos monoplares ativos foram posicionados verticalmente, a uma distância de dois dedos laterais ao processo espinhoso de L1, tanto no lado direito quanto no lado esquerdo (Figura 3) (recomendações do projeto SENIAM - Hermens *et al.*, 1999). A distância entre os eletrodos foi de 20 mm. O eletrodo monopolar de referência foi posicionado no processo espinhoso de C7. A posição da contração seguiu-se o protocolo de Biering-Sørensen, 1984 (Martínez-Romero *et al.*, 2020). O voluntário foi instruído a manter a coluna em contração isométrica máxima por até 80 segundos (ou até a fadiga).

O teste Biering-Sørensen avalia a força isométrica da musculatura extensora do tronco por meio do tempo (em segundos) que o indivíduo consegue manter a contração

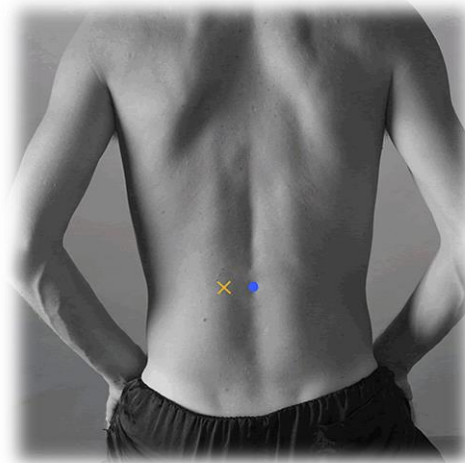
nessa posição. De acordo com Demoulin *et al.* (2006), os valores de referência variam conforme a condição clínica: indivíduos sem histórico de dor lombar sustentam a contração entre 116 e 198 segundos; antes do início de um episódio de dor lombar, entre 85 e 166 segundos; durante um episódio de dor lombar, entre 39 e 163 segundos. Além disso, um tempo de contração inferior a 58 segundos é considerado indicativo de um risco três vezes maior de desenvolvimento ou persistência de lombalgia.

Figura 3 – Posicionamento do indivíduo para realização da coleta



Fonte: Martínez-Romero *et al.* (2020) e Biering-Sørensen, 1984

Figura 4– Local de colocação dos eletrodos



Legenda: O X em amarelo é a colocação do eletrodo

Fonte: Hermens *et al.* (1999)

Processamento do sinal EMG

Os sinais de eletromiografia de superfície (EMG) foram adquiridos com uma

frequência de amostragem de 2000 Hz e processados em ambiente MATLAB (versão R2017a). O processamento envolveu etapas de pré-processamento, extração de características e análise da fadiga muscular, conforme descrito a seguir:

a) Pré-processamento:

Inicialmente, os sinais EMG foram filtrados com um filtro passa-banda de quarta ordem (20–450 Hz) para remoção de ruídos de baixa e alta frequência. Esse intervalo é amplamente aceito na literatura como ideal para preservar a atividade muscular relevante e atenuar artefatos de movimento e interferências de rede elétrica (Zhou *et al.*, 2022).

Posteriormente, os dados foram segmentados considerando apenas os 60 segundos centrais da contração isométrica sustentada até a fadiga, quando a duração do sinal permitia. Sinais com menos de 60 segundos foram mantidos com aviso registrado, garantindo transparência na análise.

b) Normalização

Para permitir a comparação entre os diferentes registros e indivíduos, foi realizada a normalização da amplitude do sinal EMG. O procedimento adotado consistiu em identificar, para cada arquivo de coleta individual, o maior valor de RMS (Root Mean Square) em janelas móveis de 1000 amostras (0,5 s), e utilizá-lo como valor de referência para a normalização do próprio sinal (Burden, 2010). Este método visa reduzir a variabilidade interindividual e intramuscular, sendo considerado apropriado quando não há uma coleta separada de contração voluntária máxima (CVM) de referência.

c) Extração de Características e Cálculo da Taxa de Fadiga

Após a normalização, foram extraídas as seguintes características em janelas móveis de 1000 amostras (0,5 s) com sobreposição de 50% por meio da análise do domínio do tempo: RMS (Root Mean Square): utilizado para avaliar a intensidade do sinal EMG ao longo do tempo; e análise do domínio da frequência: Frequência Mediana (MDF): calculada por transformada rápida de Fourier (FFT), indica a frequência que divide o espectro de potência em duas partes de igual energia.

d) Análise de fadiga muscular

Para análise de fadiga muscular, a frequência mediana foi modelada ao longo do tempo por regressão linear. A inclinação da reta ajustada (coeficiente angular) foi utilizada como indicador da taxa de fadiga muscular, conforme proposto por Hu *et al.* (2013). Valores negativos indicam declínio da frequência mediana ao longo da

contração, sugerindo progressão de fadiga. Mudanças neste coeficiente entre os momentos pré e pós-intervenção foram avaliadas como sinal de alteração no perfil de fadiga muscular.

2.7 PROTOCOLO DE INTERVENÇÃO tDCS E PROTOCOLO DE EXERCÍCIOS

2.7.1 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua – tDCS

A tDCS foi aplicada por um equipamento gerador que é alimentado por bateria de 9 volts. A corrente foi aplicada com 2 eletrodos (35 cm²; 5x7 cm) (Ibramed) coberto por uma esponja umedecida com soro fisiológico (solução salina 1%) e fixado na cabeça com elásticos. Os eletrodos foram colocados de acordo com as normas Internacionais Sistema 10–20% do eletroencefalograma. O eletrodo negativo (catódico - cabo preto) foi colocado na área de C3 ou C4 (contralateral ao lado da queixa dolorosa), às áreas do córtex motor primário dos hemisférios esquerdo e direito, respectivamente. Essas regiões estão situadas sobre o giro pré-central, ou área de Brodmann 4, e são responsáveis pelo controle motor do hemicorpo contralateral. A escolha desse posicionamento visa a modulação da excitabilidade cortical nas vias motoras relacionadas à dor crônica lombar, conforme proposto em estudos anteriores de neuromodulação cerebral em pacientes com lombalgia (Luedtke *et al.*, 2015; Lefaucheur *et al.*, 2017) e o eletrodo positivo (anódico - cabo vermelho) extra-corpóreo (na região da dor - coluna).

Figura 5- Posicionamento do eletrodo negativo em C3



Fonte: Autor

Para pacientes que sentem dor na região central da coluna lombar, o catódico (negativo - cabo preto) foi colocado no lado contralateral ao membro superior dominante do paciente, conforme descrito em estudos anteriores e o anódico (cabo

vermelho – positivo - em cima da região da dor - coluna). A intensidade foi ajustada corretamente, os eletrodos foram posicionados adequadamente, os voluntários foram monitorados durante o uso. Estudos destacam que a estimulação do córtex motor reduz a dor modulando as atividades das redes neurais relacionados à dor, como o tálamo, facilitando o mecanismo inibitórios descendentes da dor (Garcia-Larrea *et al.*, 1997; Garcia-Larrea *et al.*, 1999). A corrente aplicada foi constante de intensidade de 2 mA; rampa de subida e descida de 30 segundos. Os grupos realizaram 20 minutos de aquecimento em esteira ergométrica, a 5 km/h, com o equipamento de tDCS acoplado na cabeça. Durante a aplicação do tDCS, o monitor do aparelho foi coberto com fita crepe para impedir a visualização do painel. Para o grupo placebo, o equipamento estava desligado.


O protocolo foi conduzido em 20 atendimentos. Nos 10 primeiros (realizados nas duas primeiras semanas), os participantes realizaram exclusivamente exercícios isométricos. Nas semanas seguintes, foram acrescentados exercícios isotônicos, organizados da seguinte forma: três atendimentos com exercícios isotônicos sem resistência, seguidos por dois atendimentos com exercícios isotônicos utilizando resistência elástica. Cada sessão de exercícios teve duração de 40 minutos, com pausas de 1 minuto entre as séries.

2.7.2 Protocolo de exercício físico

Os grupos realizaram protocolo de exercício citado abaixo (quadro 8). Durante a execução do exercício o tDCS não estava acoplado na cabeça.





Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continua)

Exercício	Posição	Conjuntos/Duração
Primeira Semana		
1 Aquecimento	Caminhada na esteira	20 minutos de caminhada a 55% da frequência cardíaca máxima° 

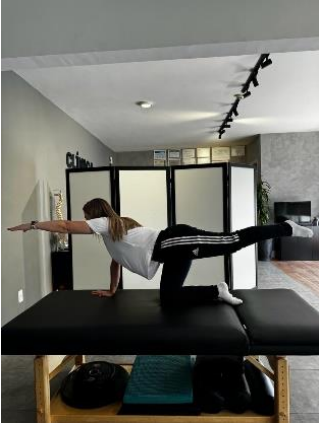
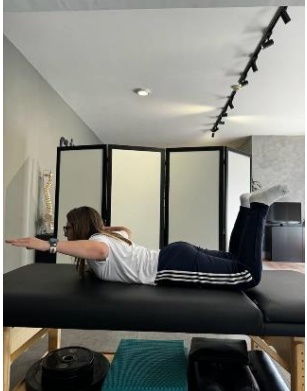

Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

2 Fortalecimento e controle motor	Contração isométrica do dos flexores de coluna	3 séries de 10 segundos 
	Flexor lateral tronco – Contração isométrica	3 séries de 10 segundos 
	Rotador de tronco – Contração isométrica	3 séries de 10 segundos 
	Elevação da pelve (ponte) com apoio bipodal - contração isométrica de cadeia posterior	3 séries de 10 segundos 

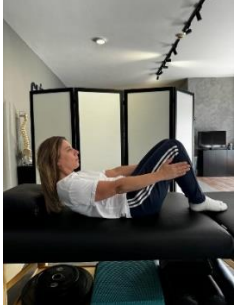



Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

	<p>Posição ajoelhada de 3 pontos – Contração isométrica de extensor coluna, quadril e ombros unilateral. Mudar a posição</p>	<p>2 séries de 10 segundos para cada perna</p> 
	<p>Extensão isométrica do tronco em decúbito ventral e membros superiores ao lado do tronco (braços alinhados com o tronco)</p>	<p>3 séries de 10 segundos</p> 
<p>4. Flexibilidade</p>	<p>Alongamento dos músculos isquiotibiais, tríceps sural e eretor da espinha em decúbito dorsal (Figura 1)</p>	<p>4 séries de 30 segundos cada</p> 

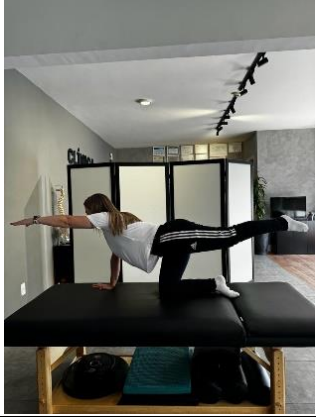


Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

Exercício	Posição	Conjuntos/Duração
Segunda Semana		
1. Aeróbico (igual ao da semana 1)		
2. Fortalecimento e controle motor	Contração isotônica do dos flexores de coluna	3 séries de 10 repetições 
	Flexor lateral tronco – Contração isotônica	3 séries de 10 repetições 
	Rotador de tronco – Contração isotônica	3 séries de 10 repetições 
	Elevação da pelve (ponte) com apoio bipodal - contração isotônica de cadeia posterior	3 séries de 10 repetições 





Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

	Posição ajoelhada de 3 pontos - Contração isotônica de extensor coluna, quadril e ombros unilateral. Mudar a posição	3 séries de 10 repetições cada 
	Extensão isotônica do tronco em decúbito ventral, MMSS em 90° abdução ombros e 90° flexão de cotovelo e MMII com flexão de joelhos a 90°	3 séries de 10 repetições 
3 Flexibilidade (igual ao da semana 1)		
Exercício	Posição	Conjuntos/Duração
Terceira e quarta Semana		
1. Aeróbico (igual ao da semana 1)		
2. Fortalecimento e controle motor	Contração isotônica do dos flexores de coluna com resistência de theraband	3 séries de 10 repetições 

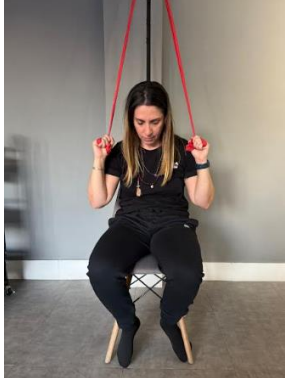


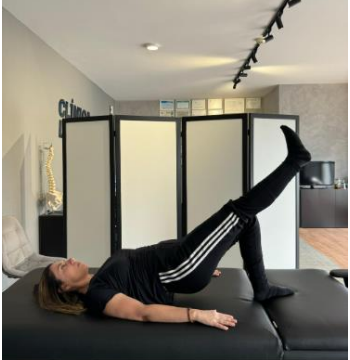
Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

	Flexor lateral tronco – Contração isotônica com resistência da theraband	3 séries de 10 repetições 
	Rotador de tronco – Contração isotônica com resistência da theraband	3 séries de 10 repetições 
	Elevação da pelve (ponte) com apoio bipodal - contração isotônica com resistência theraband	3 séries de 10 repetições 
	Extensão isotônica do tronco em decúbito ventral	3 séries de 10 repetições 
3. Flexibilidade (igual ao da semana 1)		



Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

Exercício	Posição	Conjuntos/Duração
Quinta e Sexta Semana		
1. Aeróbico (igual ao da semana 1)		
2. Fortalecimento e controle motor	Contração isotônica do dos flexores de coluna theraband (mais forte)	2 séries de 10 repetições 
	Flexor lateral tronco – Contração isotônica com resistência da theraband (mais forte)	2 séries de 10 repetições 
	Rotador de tronco – Contração isotônica com resistência da theraband (mais forte)	2 séries de 10 repetições 
	Elevação da pelve (ponte) com apoio unipodal - contração isotônica com resistência da theraband	2 séries de 10 repetições 

Quadro 8 – Protocolo de exercícios

(Continuação)

	Extensão isotônica do tronco em decúbito ventral com resistência da theraband	2 séries de 10 repetições cada 
	Extensão isotônica do tronco em decúbito ventral, membros superiores e inferiores em extensão	2 séries de 10 repetições 
3. Flexibilidade (igual ao da semana 1)		

60 segundos de descanso entre as séries. Frequência cardíaca máxima = 220 menos a idade.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram expressos em média, desvio padrão, intervalo de confiança e porcentagem. A normalidade dos dados foi testada com *Shapiro-Wilk*. Os dados de característica antropométricas e clínicas da amostra foram comparadas com o teste t independente. A variável sexo foi comparada com o teste quidradado. Os dados da escala de dor crônica graduada, escala visual analógica, Questionário Roland-Morris e variabilidade de frequência cardíaca foram comparados com o teste ANOVA Two-Way seguido de pos-hoc de sidak. O teste de Mauchly's foi utilizado para verificar a esfericidade e, nos casos de violação da esfericidade, aplicou-se a correção de Greenhouse-Geisser. Os dados foram tabulados no Microsoft Excel 365 e analisados com *software Statistical Package for the Social Sciences*, inc. (SPSS, version 20.0,

Chicago, USA). O nível de significância adotado foi 5% ($p > 0.05$). O tamanho da amostra foi calculado com o programa GPower 3.1, sendo o que foi adotado o $\alpha = 0,05$ e o poder (β)= 0,80.

2.9 ASPECTOS ÉTICOS DO ESTUDO

A pesquisa seguiu as normas de boas práticas em estudos clínicos envolvendo seres humanos, em obediência à Resolução n. 466/12 do Conselho Nacional de Saúde (Ministério da Saúde, 2012) e passou pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), tendo como a instituição procedente a Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL). Mediante Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) número 79102724.2.0000.5142, a pesquisa foi aprovada com o número do parecer 6.886.383. A pesquisa também foi registrado na plataforma REBEC sobre o número RBR-7y89mh3 (<https://ensaiosclinicos.gov.br/rg/RBR-7y89mh3>).

3 RESULTADOS

A amostra foi composta por 150 pessoas que estavam elegíveis para o estudo. Destas, 119 foram excluídas, sendo que 12 não atenderam o critério de inclusão e 107 excluídos por outras razões (não atenderam telefone, os horários não eram acessíveis). Destes, 31 foram randomizadas em dois grupos. O estudo foi dividido em 3 blocos.

No primeiro bloco foram chamados 30 voluntários. 20 iniciaram o tratamento e houve perda de 7. No grupo experimental, 2 voluntários receberam análise por intenção de tratar. Total = 13. No segundo bloco foram chamados 25 voluntários. 14 iniciaram o tratamento e houve perda de 5. No grupo experimental, 1 voluntário recebeu análise por intenção de tratar. Total = 9. No terceiro bloco foram chamados 20 voluntários. 11 iniciaram o tratamento e houve perda de 2. No grupo experimental, 2 voluntários receberam análise por intenção de tratar. Total = 9. No total 31 voluntários completaram o programa sendo 16 no grupo Placebo e 15 no grupo experimental.

O total geral de perdas nos 3 blocos foram 14 voluntários. As perdas (aproximadamente 31% dos que iniciaram o tratamento) sugerem desafios na retenção, possivelmente devido à duração do estudo. A maior perda ocorreu no primeiro bloco (7), o que pode indicar ajustes no protocolo ou maior rigor na seleção

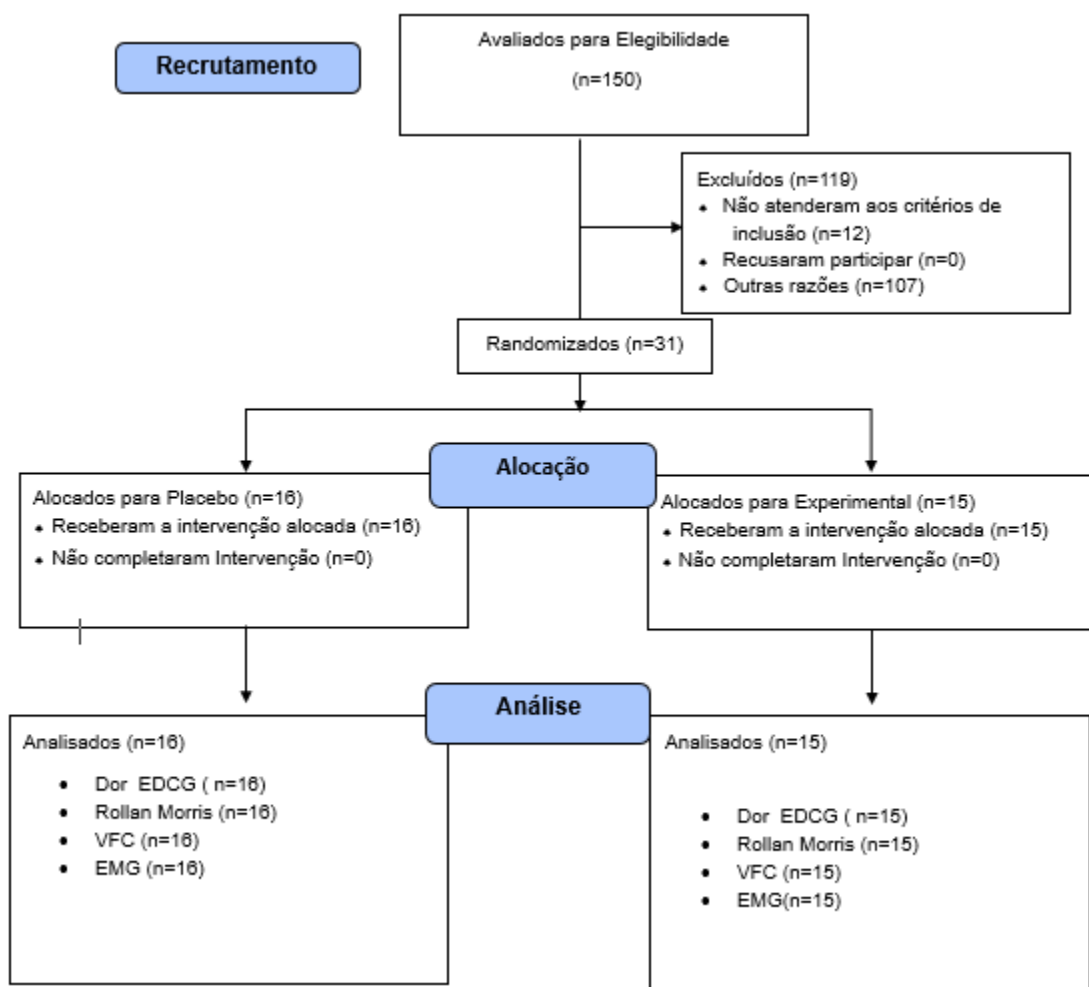
nos blocos seguintes.

A inclusão de 5 voluntários no grupo experimental para Análise por Intenção de Tratar sugere que o estudo buscou minimizar viés ao considerar todos os participantes randomizados, mesmo com perdas. Isso fortalece a validade estatística, mas a sua baixa proporção (5 de 31) indica que a maioria dos dados veio de participantes que completaram o protocolo.

A divisão quase equitativa entre placebo (16) e experimental (15) sugere um desenho balanceado, mas o tamanho amostral reduzido (31 completaram) pode limitar o poder estatístico para detectar diferenças significativas entre os grupos.

A alta taxa de exclusão e perdas pode comprometer a robustez dos resultados, aumentando o risco de viés de seleção e reduzindo a capacidade de detectar efeitos do tratamento. Futuros estudos poderiam melhorar o recrutamento com critérios de inclusão mais flexíveis, estratégias de retenção (como acompanhamento mais próximo ou incentivos) e maior tamanho amostral para compensar perdas.

Figura 6 – Fluxograma da composição da amostra



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de CONSORT 2010 Flow Diagram

Tabela 1 apresenta as características antropométricas e clínicas da amostra. Observa-se que dados são homogêneos. O teste independente mostrou ausência de diferença entre os grupos que para variável idade ($t_{(26)} = 1,89$; $p=0,06$), massa corporal ($t_{(26)} = 0,33$; $p=0,74$); altura ($t_{(26)} = -1,64$; $p=0,11$); índice de massa corporal ($t_{(26)} = 1,08$; $p=0,28$); tempo de diagnóstico ($t_{(26)} = -0,05$; $p=0,095$); QGPA ($t_{(26)} = 1,75$; $p=0,09$). O teste qui-quadrado mostrou que não houve diferença entre os sexos ($V_{(1)} = 2,05$; $p = 0,15$).

Tabela 1 – Características antropométricas e clínicas da amostra apresentados em média, desvio padrão, intervalo de confiança e porcentagem. (Conclusão)

Característica	Placebo (n = 16)	Experimental (n = 15)	p-valor
Participantes - média (DP) e IC 95%			
Idade (anos)	47,93 (14,94) 39,97 a 55,89	37,83 (12,48) 29,90 a 45,76	0,06
Massa corporal (Kg)	79,68 (18,30) 69,93 a 89,43	77,58 (14,19) 68,56 a 86,59	0,74
Altura (cm)	1,65 (0,092) 1,60 a 1,70	1,70 (0,07) 1,65 a 1,74	0,11
IMC (Kg/m ²)	29,13 (5,93) 27,97 a 32,29	26,97 (4,00) 24,43 a 29,51	0,28
Tempo de Diagnóstico	45,75 (71,89) 7,43 a 84,06	47,25 (78,94) -2,90 a 97,40	0,95
QGPA	6062,75(5367,06) 3202,84 a 8922,65	2801,66(4116,54) 186,14 a 5417,19	0,09
Sexo			
Masculino n (%)	5 (17,85)	7 (25)	0,15
Feminino n (%)	11 (3,92)	5 (17,85)	

Teste *t* independente; Teste qui-quadrado; $p < 0,05$; DP = desvio padrão; IC = Intervalo de confiança 95%. IMC = Índice de Massa Corporal; QGPA = Questionário Global de atividade física
Fonte: Dados da Pesquisa (2024)

A Tabela 2 apresenta os resultados da Escala de dor Crônica Graduada (EDCG).

Na primeira questão, o efeito tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F_{(2)} = 15,76$; $p < 0,001$, indicando uma redução significativa da dor ao longo do tempo. No entanto, a interação não foi significativa, $F_{(2)} = 0,99$; $p = 0,37$, sugerindo que a evolução da dor ao longo do tempo foi semelhante entre grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,31$; $p = 0,58$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

Na segunda questão, o efeito tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F_{(2)} = 36,26$; $p < 0,001$, mostrando que a dor diminuiu ao longo das

sessões. O efeito interação não foi significativa, $F_{(2)} = 3,04$; $p = 0,05$, indicando que a evolução da dor ao longo do tempo foi semelhante entre grupos e tempos. O efeito grupo não foi significativo, $F_{(1)} = 0,13$; $p = 0,72$, indicando que os grupos apresentaram valores médios semelhantes.

Na terceira questão, o efeito do tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F(1,41) = 37,94$; $p < 0,001$, indicando redução da dor ao longo das sessões. A interação não foi estatisticamente significativa, $F(1,41) = 3,33$; $p = 0,06$, sugerindo apenas uma tendência de diferença na evolução da dor ao longo do tempo entre grupos e tempos no baseline. Para o efeito grupo, também não houve significância, $F(1) = 0,41$; $p = 0,53$, indicando que a média geral dos grupos foi semelhante.

Na quarta questão, o efeito do tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F_{(2)} = 32,82$; $p < 0,001$, demonstrando uma diminuição da dor ao longo do tempo. A interação não foi significativa, $F_{(2)} = 2,56$; $p = 0,08$, indicando a evolução da dor ao longo do tempo foi semelhante entre grupos e tempos. O efeito do grupo também não foi significativo, $F_{(1)} = 2,95$; $p = 0,09$, indicando que os grupos são semelhantes.

Na quinta questão, o efeito do tempo não foi significativo, $F_{(1,32)} = 3,03$; $p = 0,08$, indicando semelhança nos tempos. A interação entre tempo e grupo não foi significativa, $F_{(1,32)} = 1,98$; $p = 0,16$, indicando que grupos e tempos são semelhantes. O efeito grupo também não foi significativo, $F_{(1)} = 1,65$; $p = 0,21$, mostrando que os grupos são semelhantes em suas médias.

Na sexta questão, o efeito do tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F_{(2)} = 28,48$; $p < 0,001$, indicando uma redução da dor dos tempos. No entanto, a interação não foi significativa, $F_{(2)} = 1,24$; $p = 0,29$, sugerindo que a redução da dor ao longo do tempo foi semelhante entre grupos e tempos. Da mesma forma, o efeito grupo não foi significativo, $F_{(1)} = 1,48$; $p = 0,23$, indicando que os grupos são semelhantes ente si.

Na sétima questão, o efeito do tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F_{(2)} = 20,68$; $p < 0,001$, demonstrando uma redução da dor ao longo dos tempos. No entanto, a interação não foi significativa, $F_{(2)} = 1,34$; $p = 0,27$, indicando os grupos e tempos são semelhante. O efeito grupo também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,37$; $p = 0,54$, indicando que, em média, os grupos apresentaram valores similares.

Na oitava questão, o efeito do tempo foi significativo tanto para o GP quanto para o GE, $F_{(2)} = 22,66$; $p < 0,001$, mostrando uma redução significativa da dor ao

longo dos tempos. A interação não foi significativa, $F_{(2)} = 1,45$; $p = 0,24$, indicando que grupos e tempos são semelhantes. O efeito grupo também não foi significativo, $F_{(1)} = 2,42$; $p = 0,13$, indicando os grupos são semelhantes.

O resultado geral aponta que o efeito do tempo foi significativo para todas as variáveis, indicando que a dor diminuiu ao longo dos tempos, exceto para a quinta questão. A interação foi significativa para a terceira questão no momento baseline. O efeito grupo não foi significativo, indicando que ambos os grupos melhoraram de maneira semelhantes.

Tabela 2 – A média, desvio padrão, intervalo de confiança e os p-valores do tempo, interação e grupos da Escala de Dor Crônica Graduada (EDCG)(Conclusão)

Variável	GP			GE			p-valor		
	Tempo			Tempo			Tempo	Interação	Grupos
	0	1	2	0	1	2			
1ª Questão	133,38 (56,95) 103,03 a 163,72	94,94 (60,71) 62,59 a 127,29	80,56 (46,59) 55,74 a 105,39	109,58 (63,19) 69,43 a 149,73	92,67 (66,12) 50,66 a 134,68	73,33 (53,53) 39,32 a 107,34	<0,001* GP - 0≠1; 0≠2 GE - 0≠1; 0≠2	0,329	0,584
2ª Questão	5,25 (2,44) 3,95 a 6,55	0,94 (1,73) 0,02 a 1,86	1,19 (2,23) 0,00 a 2,37	4,25 (1,71) 3,16 a 5,34	2,00 (2,04) 0,70 a 3,30	1,83 (2,72) 0,10 a 3,56	<0,001* GP - 0≠1; 0≠2 GE - 0≠1; 0≠2	0,056	0,721
3ª Questão	9,50 (0,89) 9,02 a 9,98	8,00 (1,75) 7,07 a 8,93	3,63 (3,38) 1,82 a 5,43	7,75 (1,54) 6,77 a 8,73	7,42 (1,62) 6,39 a 8,45	4,67 (3,89) 2,19 a 7,14	<0,001* GP - 0≠1; 0≠2; 1≠2 GE - 0≠2; 1≠2	0,039* GP≠GE - 0	0,527
4ª Questão	7,13 (1,67) 6,24 a 8,01	5,56 (2,22) 4,38 a 6,75	2,50 (1,90) 1,49 a 3,51	5,25 (1,48) 4,31 a 6,19	4,50 (1,51) 3,54 a 5,46	2,67 (2,74) 0,92 a 4,41	<0,001* GP - 0≠1; 0≠2; 1≠2 GE - 0≠2	0,053	0,098
5ª Questão	9,88 (11,92) 3,53 a 16,22	8,13 (12,37) 1,54 a 14,71	5,00 (10,49) -0,59 a 10,59	3,00 (8,58) -2,45 a 8,45	2,92 (8,59) -2,54 a 8,37	2,50 (8,66) -3,00 a 8,00	0,057	0,107	0,210
6ª Questão	7,56 (2,50) 6,23 a 8,90	4,56 (2,80) 3,07 a 6,06	1,75 (3,02) 0,14 a 3,36	5,58 (2,11) 4,24 a 6,92	4,33 (2,19) 2,94 a 5,72	1,58 (2,68) -0,12 a 3,29	<0,001* GP - 0≠1; 0≠2; 1≠2 GE - 0≠2; 1≠2	0,210	0,234
7ª Questão	6,06 (3,11) 4,41 a 7,72	3,94 (3,09) 2,29 a 5,58	1,38 (2,87) -0,16 a 2,91	4,42 (2,43) 2,87 a 5,96	4,17 (2,29) 2,71 a 5,62	1,33 (2,64) -0,34 a 3,01	<0,001* GP - 0≠2; 1≠2 GE - 0≠2; 1≠2	0,233	0,546
8ª Questão	7,06 (3,15) 5,38 a 8,74	4,13 (3,30) 2,36 a 5,89	1,81 (2,88) 0,28 a 3,35	4,67 (2,02) 3,39 a 5,95	3,17 (2,55) 1,54 a 4,79	1,50 (2,24) 0,08 a 2,92	<0,001* GP - 0≠1; 0≠2; 1≠2 GE - 0≠2	0,134	0,132

Teste ANOVA Two-way seguido de post-hoc Sidak; GP = Grupo Placebo; GE = Grupo Experimental; Tempo 0 = Baseline; Tempo 1 = 10ª sessão; Tempo 2 = 20ª sessão, *p<0,05.

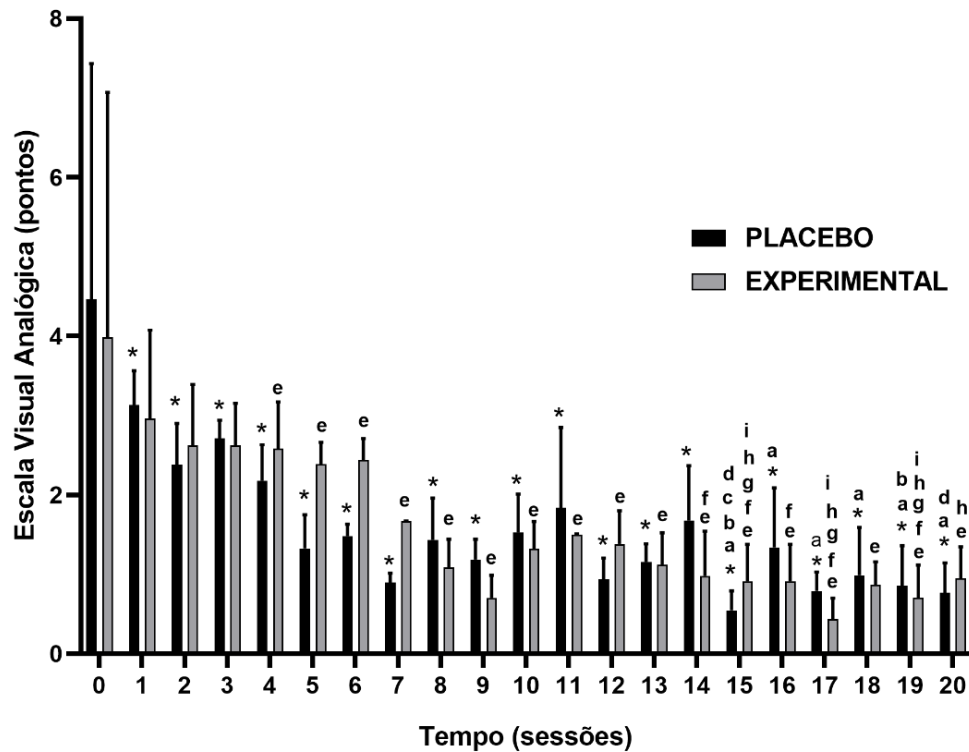
Fonte: Dados da Pesquisa (2024)

A Figura 7 apresenta graficamente os resultados da EVA. O efeito tempo foi estatisticamente significativo ($F(6,79) = 28,77$; $p < 0,000$), indicando que houve redução significativa na EVA ao longo das sessões. O efeito interação não foi significativo ($F(6,79) = 0,69$; $p = 0,67$), indicando que não houve interação entre grupos e tempos. O efeito grupos não foi significativo ($F(1) = 0,09$; $p = 0,75$), indicando que os grupos são semelhantes.

Nota-se que quando realizou tratamento consecutivo (1ª a 10ª sessão), a EVA teve maior redução na 7ª sessão para o grupo placebo e na 9ª sessão o grupo experimental quando comparado ao baseline. Quando realizou tratamento intervalado (11ª a 20ª), o grupo placebo obteve menores valores na 15ª sessão e o grupo experimental obteve menores valores na 17ª sessão em comparação ao baseline.

Esses achados reforçam o efeito do protocolo aplicado na atenuação da dor, independentemente do grupo, com respostas positivas cumulativas ao longo do tempo, o que evidencia o potencial do tratamento proposto para promover alívio sintomático em indivíduos com dor crônica.

Figura 7 – Escala visual Analógica do grupo placebo e experimental nos tempos de avaliações. Teste Anova Two-Way seguiu de ost-hoc de Sidak



$F_{6,79} = 28,77; p = 0,000$ (Tempos)
 $F_{6,79} = 0,69; p = 0,67$ (Interação)
 $F_1 = 0,09; p = 0,75$ (Grupos)

Placebo

*0 ≠1 ao 20
 a¹ ≠15 ao 20
 b² ≠15 e 2 ≠19
 c³ ≠15
 d⁴ ≠15 e 4 ≠20

Experimental

e⁰ ≠4 ao 20
 f¹ ≠14 ao 17 e 1 ≠19
 g² ≠15 e 2 ≠17 e 2 ≠19
 h⁴ ≠15 e 4 ≠17 e 4 ≠19 e 4 ≠20
 i⁵ ≠15 e 5 ≠17 e 5 ≠19

Fonte: Dados da Pesquisa (2024)

Tabela 3 apresenta dos resultados do questionário de Roland-Morris. Nota-se que o efeito no tempo teve diferença estatística ($F_{(1,54)} = 45,03; p = 0,000$) tanto para o GP quanto para o GE, indicando que há redução significativa nos valores do questionário. O efeito da interação mostrou que os grupos são diferentes no baseline ($F_{(1,54)} = 4,24; p = 0,03$). O efeito grupo mostrou ausência de diferença ($F_{(1)} = 1,28; p = 0,26$), indicando que os grupos são semelhantes.

Tabela 3 – Média, desvio padrão, intervalo de confiança, valor de p no tempo, interação e grupos do Questionário de Roland-Morris (Conclusão)

GP			GE			p-valor		
Tempo			Tempo			Tempo	Interação	Grupos
0	1	2	0	1	2			
15,50 (5,37)	5,56 (5,78)	4,25 (5,49)	10,25 (5,31)	5,66 (6,24)	3,66 (3,14)	0,000* GP - 0≠1;	0,03* GP≠GE - 0	0,06
12,63 a	2,48 a	1,32 a	6,87 a	1,70 a	1,66 a	0≠2		
18,36	8,64	7,17	13,62	9,63	5,66	GE - 0≠2		

Teste ANOVA Two-way seguido de post-hoc Sidak; GP = Grupo Placebo; GE = Grupo Experimental; Tempo 0 = Baseline; Tempo 1 = 10ª sessão; Tempo 2 = 20ª sessão, * $p < 0,05$.

Fonte: Dados da Pesquisa (2024)

Tabela 4 apresenta os resultados da variabilidade cardíaca. Nota-se que a variável R-R o efeito tempo foi estatisticamente significativo, $F_{(3,44)} = 3,19$; $p = 0,02$, indicando que houve aumento significativo no tempo final. No entanto, a interação não foi significativa, $F_{(3,44)} = 0,23$; $p = 0,89$, sugerindo que a variável R-R são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos foi significativo, $F_{(1)} = 6,39$; $p = 0,01$, demonstrando que o grupo experimental tem maiores valores.

A variável H-R o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(2,67)} = 2,45$; $p = 0,07$, indicando que os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(2,67)} = 0,11$; $p = 0,93$, sugerindo que a variável H-R são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 3,44$; $p = 0,07$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável SDNN o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(3,06)} = 2,70$; $p = 0,05$, indicando que os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(3,06)} = 2,33$; $p = 0,07$, sugerindo que a variável SDNN são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 1,95$; $p = 0,17$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável RMSSD o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(2,76)} = 2,18$; $p = 0,10$, indicando são semelhantes entre tempos. Na interação não foi significativa, $F_{(2,76)} = 1,89$; $p = 0,14$, sugerindo que a variável RMSSD são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,52$, $p = 0,47$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável NN₅₀ o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(3,57)} = 1,09$; $p = 0,36$, indicando que os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(3,57)} = 0,62$; $p = 0,62$, sugerindo que a variável NN₅₀ são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,32$; p

= 0,57, demonstrando os grupos são semelhantes.

A variável pNN₅₀ o efeito tempo foi estatisticamente significativo, $F_{(2,91)} = 3,18$; $p = 0,03$, indicando que houve aumento significativo no tempo final. No entanto, a interação não foi significativa, $F_{(2,91)} = 1,05$; $p = 0,37$, sugerindo que a variável pNN₅₀ são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 30,20$; $p = 0,08$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável LF o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(5)} = 0,80$; $p = 0,54$, indicando os tempos são semelhantes. Na interação foi significativa, $F_{(5)} = 2,62$; $p = 0,02$, sugerindo os valores GE é menor que GP no tempo 2 (20º atendimento). O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 1,11$; $p = 0,30$, demonstrando que os valores são semelhantes.

A variável HF o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(4)} = 0,66$; $p = 0,61$, indicando os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(4)} = 1,12$; $p = 0,34$, sugerindo que a variável HF são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,84$; $p = 0,36$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável LF/HF o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(2,65)} = 0,51$; $p = 0,65$, indicando que os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(2,65)} = 0,64$; $p = 0,56$, sugerindo que a variável LF/HF são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,28$; $p = 0,59$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável SD₁ o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(2,76)} = 2,18$; $p = 0,10$, indicando tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(2,76)} = 1,89$; $p = 0,14$, sugerindo que a variável SD₁ são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,53$; $p = 0,47$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável SD₂ o efeito tempo foi estatisticamente significativo, $F_{(2,90)} = 3,53$; $p = 0,02$, indicando que os valores reduziram ao longo do tempo. No entanto, a interação não foi significativa, $F_{(2,90)} = 1,40$; $p = 0,25$, sugerindo que a variável SD₂ são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 2,32$; $p = 0,13$, demonstrando os grupos são semelhantes.

A variável SD₁/SD₂ o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(2,04)} = 0,63$; $p = 0,53$, indicando semelhança entre os tempos. Na interação não foi significativa, $F_{(2,04)} = 1,31$; $p = 0,27$, sugerindo que a variável SD₁/SD₂ são

semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,65$; $p = 0,42$, demonstrando os grupos são semelhantes.

A variável α_1 o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(3,22)} = 1,78$; $p = 0,15$, indicando que os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(3,24)} = 1,12$; $p = 0,30$, sugerindo que a variável α_1 são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 0,47$; $p = 0,49$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

A variável α_2 o efeito tempo não foi estatisticamente significativo, $F_{(3,24)} = 1,59$; $p = 0,19$, indicando que os tempos são semelhantes. Na interação não foi significativa, $F_{(3,24)} = 1,12$; $p = 0,30$, sugerindo que a variável α_2 são semelhantes entre os grupos e tempos. O efeito grupos também não foi significativo, $F_{(1)} = 1,76$; $p = 0,19$, demonstrando que os grupos são semelhantes.

Tabela 4 – Média, desvio padrão, intervalo de confiança, valor p tempos, interação e grupos da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (Continua)

Variável	GP						GE						p-valor		
	Tempo						Tempo								
	0		1		2		0		1		2		Tempo	Interação	Grupos
pré	pós	Pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós				
Média (DP) IC 95%															
R-R	761,9 3 (178,5 7) 666,7 8 a 857,0 9	828,9 3 (159,1 8) 744,1 1 a 913,7 6	769,8 7 (190,0 2) 668,6 1 a 871,1 3	782,3 7 (204,7 7) 673,2 5 a 891,4 9	838,18 (95,63) 787,22 a 889,14	852,2 5 (106,5 2) 795,4 8 a 909,0 1	836,5 (155,6 3) 737,6 1 a 935,3 8	933,5 8 (198,0 7) 807,7 3 a 1059, 43	896,4 1 (193,6 7) 773,3 5 a 1019, 47	923,3 3 (157,6 3) 823,1 7 a 1023, 49	952,09 (121,4) 874,90 a 1029,2 8	963,25 (91,67) 905,00 a 1021,49	0,02* 0 pré ≠ 2 pós	0,89	0,01* Grupos Pré ≠ 2
H-R	85,75 (26,95) 71,38 a 100,1 1	77,62 (24,1) 64,73 a 90,51	83,25 (23,4) 70,75 a 95,74	84,87 (28,6) 69,59 a 100,1 5	72,43 (8,51) 67,89 a 76,97	71,43 7 (8,82) 66,73 a 76,13	74,25 (15,3) 64,47 a 84,02	69,66 (24,8) 53,90 a 85,42	75,75 (34,6) 53,73 a 97,76	71,08 (28,5) 52,94 a 89,21	64,09 (8,86) 58,46 a 69,72	62,91 (6,20) 58,97 a 66,85	0,07	0,93	0,07
SDNN	40,40 (34,39) 22,07 a 58,73	35,58 (24,87) 22,32 a 48,83	60,66 (49,35) 34,36 a 86,97	52,20 (39,95) 30,91 a 73,49	33,78 (21,67) 22,23 a 45,33	28,08 (13,55) 20,86 a 35,31	70,4 (54,80) 35,57 a 67,26	60,48 (35,12) 38,16 a 82,80	58,04 (35,35) 35,57 a 80,50	38,68 (20,26) 25,81 a 51,55	43,25 (22,18) 29,16 a57,35	45,61 (18,55) 33,82 a 57,40	0,05	0,07	0,17

(continuação)

RMSSD	47,41 (42,21)) 24,91 a 69,90	36,61 (27,9)) 21,73 a 51,49	75,11 (66,7)) 39,56 a 110,6 7	67,29 (62,6)) 33,93 a 100,6 5	38,52 (26,59)) 24,34 a 52,69	30,95 (18,3)) 21,19 a 40,71	70,24 (56,2)) 34,48 a 106	60,49 (30,7)) 40,91 a 80,06	65,04 (52,1)) 31,89 a 98,18	40,75 (28,09)) 22,9 a 58,61)	48,31 (27,93)) 30,56 a 66,06	49,25 (24,41)) 33,73 a 64,76	0,10	0,14	0,47
(NN ₅₀)	112,5 6 (103,5 7)) 57,36 a 167,7 5	100,3 1 (120,3 6)) 36,17 a 164,4 4	110,7 5 (120,4 0)) 46,58 a 174,9 1	129,8 1 (143,3 2)) 53,43 a 206,1 8	76,81 (87,95)) 29,94 a 123,67	102,5 6 (104,4)) 46,93 a 158,1 9	113,5 (104,8 7)) 46,86 a 180,1 3	74,66 (63,21)) 34,50 a 114,8 2	101,9 1 (89,66)) 44,94 a 158,8 8	93,33 (86,78)) 38,18 a 148,4 7	90,66 (59,47)) 52,87 a 128,45	60,41 (45,7)) 31,37 a 89,45	0,36	0,62	0,57
pNN ₅₀	17,69 (18,11)) 8,03 a 27,34	12,68 (15,63)) 4,35 a 21,01	27,28 (26,15)) 13,34 a 41,21	23,56 (27,30)) 9,00 a 38,10	8,28 (9,26)) 3,34 a 13,22	6,34 (8,27)) 1,93 a 10,75	28,9 (26,16)) 12,27 a 45,52	24,03 (19,23)) 11,81 a 36,25	30,45 (23,53)) 15,50 a 45,41	23,68 (24,32)) 8,22 a 39,13	25,24 (23,00)) 10,62 a 39,85	20,27 (15,91)) 10,15 a 30,38	0,03* GP - 1 pré ≠ 2 pós	0,37	0,08
LF	0,09 (0,03)) 0,08 a 0,11	0,09 (0,02)) 0,07 a 0,10	0,10 (0,03)) 0,08 a 0,12	0,09 (0,03)) 0,08 a 0,11	0,08 (0,02)) 0,06 a 0,09	0,08 (0,02)) 0,06 a 0,09	0,09 (0,03)) 0,07 a 0,09	0,08 (0,03)) 0,06 a 0,10	0,10 (0,02)) 0,08 a 0,11	0,09 (0,02)) 0,07 a 0,11	0,10 (0,02)) 0,09 a 0,12	0,10 (0,02)) 0,09 a 0,12	0,56	0,02* 2 ≠ Grupos - pré e pós	0,30
HF	0,20 (0,08)) 0,15 a 0,24	0,21 (0,09)) 0,16 a 0,26	0,25 (0,09)) 0,20 a 0,30	0,24 (0,09)) 0,19 a 0,29	0,27 (0,08)) 0,22 a 0,32	0,25 (0,08)) 0,20 a 0,30	0,23 (0,08)) 0,18 a 0,28	0,22 (0,09)) 0,16 a 0,28	0,22 (0,08)) 0,17 a 0,27	0,20 (0,06)) 0,16 a 0,24	0,22 (0,08)) 0,16 a 0,27	0,22 (0,08)) 0,17 a 0,27	0,61	0,34	0,36
LF/HF	1,78 (1,31)) 1,08 a 2,48	2,13 (2,17)) 0,97 a 3,28	1,06 (1,59)) 0,22 a 1,91	1,82 (3,47)) -0,02 a 3,67	1,40 (1,31)) 0,70 a 2,10	1,78 (1,45)) 1,00 a 2,55	1,61 (1,73)) 0,50 a 2,71	1,94 (2,11)) 0,59 a 3,28	1,95 (1,66)) 0,89 a 3,01	2,34 (1,81)) 1,18 a 3,50	2,06 (1,72)) 0,96 a 3,15	1,46 (0,86)) 0,91 a 2,01	0,65	0,56	0,59

(Conclusão)

SD ₁	33,56 (29,88)) 17,63 a 49,48	25,90 (19,77)) 15,37 a 36,44	53,18 (47,22)) 28,02 a 78,35	47,63 (44,29)) 24,03 a 71,23	27,27 (18,82)) 17,24 a 37,30	21,94 (12,96)) 15,03 a 28,84	49,73 (39,82)) 24,42 a 75,03	43,83 (21,80)) 28,97 a 56,68	46,06 (36,92)) 22,60 a 69,52	28,86 (19,92)) 16,20 a 41,52	34,21 (19,77)) 21,65 a 46,78	34,83 (17,30)) 23,88 a 45,88	0,10	0,14	0,47
SD ₂	59,06 (51,13)) 31,82 a 86,31	42,57 (29,95)) 26,61 a 58,53	66,56 (52,47)) 38,60 a 94,53	54,06 (38,81)) 33,37 a 74,74	38,45 (25,55)) 24,83 a 52,06	32,40 (15,95)) 23,89 a 40,90	85,71 (66,93)) 43,18 a 128,2 4	72,75 (46,78)) 43,03 a 102,4 8	67,19 (35,32)) 44,74 a 89,63	45,95 (21,79)) 32,09 a 59,80	50,44 (24,83)) 34,66 a 66,23	53,90 (20,35)) 40,96 a 66,83	0,02*	0,25	0,13
SD ₁ /S D ₂	1,92 (0,60)) 1,50 a 2,24	1,82 (0,70)) 1,44 a 2,19	1,43 (0,52)) 1,15 a 1,71	1,56 (0,81)) 1,13 a 1,99	1,57 (0,61)1, 24 a 1,90	1,68 (0,66)) 1,33 a 2,03	1,74 (0,41)) 1,48 a 2,01	1,74 (0,57)) 1,38 a 2,11	1,89 (1,02)) 1,24 a 2,55	2,03 (1,21)) 1,26 a 2,80	1,58 (0,31)1, 37 a 1,78	1,63 (0,34)1,41 a 1,85	0,53	0,27	0,42
α ₁	1,07 (0,22)) 0,95 a 1,18	1,01 (0,29)) 0,85 a 1,16	0,83 (0,23)) 0,71 a 0,96	0,84 (0,37)) 0,64 a 1,04	0,88 (0,25)) 0,74 a 1,02	0,97 (0,31)) 0,812 a 1,14	0,95 (0,29)) 0,77 a 1,14	1,06 (0,27)) 0,89 a 1,06	1,00 (0,24)) 0,84 a 1,15	1,04 (0,31)) 0,84 a 1,24	0,83 (0,33)) 0,61 a 1,04	0,97 (0,21)) 0,83 a 1,11	0,15	0,21	0,49
α ₂	0,43 (0,14)) 0,35 a 0,51	0,36 (0,12)) 0,30 a 0,43	0,41 (0,14)) 0,33 a 0,49	0,39 (0,10)) 0,34 a 0,45	0,40 (0,13)) 0,33 a 0,48	0,39 (0,11)) 0,33 a 0,45	0,39 (0,18)) 0,27 a 0,51	0,35 (0,22)) 0,21 a 0,50	0,39 (0,33)) 0,17 a 0,60	0,39 (0,25)) 0,23 a 0,56	0,26 (0,13)) 0,17 a 0,34	0,27 (0,11)) 0,19 a 0,34	0,19	0,30	0,19

Teste ANOVA Two-way seguido de post-hoc Sidak; GP = Grupo Placebo; GE = Grupo Experimental; Tempo 0 = Baseline; Tempo 1 = 10ª sessão; Tempo 2 = 20ª sessão, * $p < 0,05$.

Fonte: Dados da Pesquisa (2024)

A Tabela 5 apresenta dos dados da atividade eletromiográfica do músculo abdominal – lado direito (AD), lado esquerdo (AE), e do músculo longuíssimo lombar - lado direito (LD) e lado esquerdo (LE), durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM), nas condições de tempo (0 = baseline, 1 = 10ª sessão, 2 = 20ª sessão), na interação e nos grupos (placebo e experimental).

A variável Tempo de Contração (TC) apresentou efeito significativo ao longo do tempo nos músculos AD ($F_{(2)} = 9,31$; $p = 0,000$), AE ($F_{(2)} = 11,18$; $p = 0,000$), LD ($F_{(2)} = 9,51$; $p = 0,000$) e LE ($F_{(2)} = 9,53$; $p = 0,000$). Esse efeito aumentou ao longo do tempo indicando melhora na resistência muscular, na capacidade funcional e na tolerância ao esforço, refletindo uma adaptação neuromuscular positiva à intervenção. No efeito interação, não houve significância para os músculos AD ($F_{(2)} = 0,16$; $p = 0,84$), AE ($F_{(2)} = 0,23$; $p = 0,79$), LD ($F_{(2)} = 0,08$; $p = 0,92$) e LE ($F_{(2)} = 0,08$; $p = 0,92$). Da mesma forma, no efeito entre grupos, não houve significância para os músculos AD ($F_{(1)} = 0,13$; $p = 0,72$), AE ($F_{(1)} = 0,02$; $p = 0,87$), LD ($F_{(1)} = 0,01$; $p = 0,91$) e LE ($F_{(1)} = 0,01$; $p = 0,91$), indicando que nenhum grupo teve efeito sobre o outro.

A variável Raiz Quadrada da Média Normalizada (RMSN) não apresentou significância ao longo do tempo para os músculos AD ($F_{(2)} = 0,31$; $p = 0,73$), AE ($F_{(1,55)} = 1,65$; $p = 0,20$), LD ($F_{(2)} = 1,04$; $p = 0,35$) e LE ($F_{(2)} = 0,59$; $p = 0,55$). No efeito interação, não houve significância para os músculos AD ($F_{(2)} = 0,12$; $p = 0,88$), AE ($F_{(1,55)} = 1,27$; $p = 0,28$), LD ($F_{(1,75)} = 2,53$; $p = 0,09$) e LE ($F_{(1,84)} = 1,51$; $p = 0,23$). Da mesma forma, no efeito entre grupos, não houve significância para os músculos AD ($F_{(1)} = 1,24$; $p = 0,27$), AE ($F_{(1)} = 1,70$; $p = 0,20$), LD ($F_{(1)} = 1,13$; $p = 0,29$) e LE ($F_{(1)} = 0,81$; $p = 0,37$), indicando que nenhum grupo tem efeito sobre o outro.

A variável frequência mediana (FM) não apresentou efeito ao longo do tempo nos músculos AD ($F_{(2)} = 0,49$; $p = 0,61$), AE ($F_{(2)} = 0,87$; $p = 0,42$), LD ($F_{(1,49)} = 0,67$; $p = 0,47$) e LE ($F_{(1,61)} = 0,79$; $p = 0,43$). No efeito interação, não foram observadas diferença estatística para os músculos AD ($F_{(2)} = 0,08$; $p = 0,92$), AE ($F_{(2)} = 0,13$; $p = 0,87$), LD ($F_{(1,49)} = 0,39$; $p = 0,61$) e LE ($F_{(1,61)} = 0,52$; $p = 0,56$). Da mesma forma, no efeito entre grupos, não houve significância para os músculos AD ($F_{(1)} = 0,31$; $p = 0,58$), AE ($F_{(1)} = 0,06$; $p = 0,79$), LD ($F_{(1)} = 3,92$; $p = 0,05$) e LE ($F_{(1)} = 1,94$; $p = 0,17$), indicando que nenhum grupo tem efeito sobre o outro.

A variável Taxa de Fadiga (TF) apresentou efeito significativo ao longo do tempo para os músculos AD ($F_{(2)} = 7,35$; $p = 0,002$), AE ($F_{(1,63)} = 8,76$; $p = 0,001$), com redução na fadiga muscular e ausência de significância para os músculos LD (F

$(1,55) = 1,34; p = 0,26$) e LE ($F_{(1,65)} = 0,41; p = 0,62$), sem efeito na fadiga muscular. No efeito interação, não foram observadas diferenças significativas para os músculos AD ($F_{(2)} = 2,58; p = 0,08$), AE ($F_{(1,63)} = 1,74; p = 0,19$), LD ($F_{(1,55)} = 0,51; p = 0,55$) e LE ($F_{(1,65)} = 0,67; p = 0,48$). Da mesma forma, no efeito entre grupos, não houve significância para os músculos AD ($F_{(1)} = 3,90; p = 0,05$), LD ($F_{(1)} = 0,10; p = 0,74$) e LE ($F_{(1)} = 1,32; p = 0,26$), indicando que nenhum grupo tem efeito sobre o outro e o músculo AE ($F_{(1)} = 5,89; p = 0,02$) teve efeito entre os grupo, sendo que o grupo experimental tem maior taxa de fadiga do que o grupo placebo, no baseline.

Tabela 5. Média, desvio padrão, intervalo de confiança, valor de p no tempo, interação e grupos da EMG do músculo abdominal e longuíssimo lombar (Continua)

Variável	GP Tempo			GE Tempo			p-valor		
	0	1	2	0	1	2	Tempo	Interação	Grupos
Tempo de contração(s)									
AD	50,71(14,14) 42,88 a 58,55	54,27 (11,30) 48,01 a 60,54	63,35 (16,03) 54,48 a 72,23	48,74(19,41) 36,40 a 61,07	51,09 (12,14) 43,37a 58,80	63,98(15,01) 54,44 a 73,52	*0,000 GE - 0≠2; 1≠2	0,84	0,72
AE	50,71(14,16) 42,86 a 58,55	54,29(11,31) 48,02 a 60,55	63,39(16,02) 54,51 a 72,26	48,74 (19,42) 36,40 a 61,08	52,37(11,65) 44,96 a 59,78	65,24(13,37) 56,74 a 73,74	*0,000 GP - 0≠2 GE - 0≠2; 1≠2	0,79	0,87
LD	46,93(17,93) 36,99 a 56,86	55,23(9,36) 50,07 a 60,41	65,18(17,68) 55,39 a 74,98	49,13(19,33) 36,84 a 61,41	54,26(15,04) 44,70 a 63,82	65,29(14,17) 56,28 a 74,29	*0,000 GP - 0≠2	0,92	0,91
LE	46,93(17,94) 36,99 a 56,86	55,24(9,36) 50,60 a 60,43	65,19(17,68) 55,40 a 74,99	49,14(19,33) 36,85 a 61,42	54,27(15,05) 44,71 a 63,83	65,29(14,16) 56,29 a 74,30	*0,000 GP - 0≠2	0,92	0,91
Raiz Quadrada da Média Normalizada									
AD	40,14 (41,05) 17,41 a 62,87	37,09 (35,72) 17,31 a 56,88	30,45 (23,45) 17,46 a 43,44	71,87 (34,73) 49,80 a 93,94	67,07 (5,39) 44,59 a 89,56	49,56 (26,72) 32,57 a 66,54	0,61	0,92	0,27
AE	38,74 (28,42) 23,00 a 54,48	29,58 (25,40) 15,52 a 43,65	33,26 (36,92) 12,82 a 53,71	76,06 (54,74) 41,27 a 110,84	67,24 (56,82) 31,13 a 103,34	55,78 (35,63) 33,14 a 78,42	0,42	0,87	0,20
LD	58,25 (23,43) 45,27 a 71,23	50,65 (29,69) 34,21 a 67,10	46,50 (21,48) 34,60 a 58,40	75,01(46,52) 45,45 a 104,58	69,59 (29,73) 50,70 a 88,48	64,02 (29,72) 45,13 a 82,90	0,47	0,61	0,29
LE	58,81 (31,06) 41,61 a 76,02	53,45 (29,05) 37,36 a 69,54	46,56 (25,21) 32,59 a 60,52	78,84(49,30) 47,52 a 110,17	74,02 (33,73) 52,59 a 95,46	66,44 (28,19) 48,52 a 84,35	0,43	0,56	0,37

(Conclusão)

Frequência Mediana									
AD	53,80 (8,14) 49,28 a 58,31	55,24 (8,80) 50,36 a 60,12	55,71 (8,20) 51,17 a 60,25	56,43 (10,54) 49,73 a 63,14	56,47 (9,84) 50,21 a 62,72	57,03 (10,87) 50,13 a 63,94	0,73	0,88	0,58
AE	53,17 (9,16) 48,09 a 58,24	58,49 (10,84) 52,49 a 64,50	55,99 (8,98) 51,01 a 60,96	57,17 (9,36) 51,22 a 63,12	57,67 (10,57) 50,95 a 64,39	55,40 (10,34) 48,83 a 61,97	0,20	0,28	0,79
LD	89,37 (18,00) 79,40 a 99,34	92,31 (14,64) 84,19a 100,42	91,78 (15,21) 83,35 a 100,21	89,54(20,66) 76,41 a 102,67	75,74 (18,91) 63,73 a 87,76	79,21 (15,06) 69,64 a 88,78	0,35	0,09	0,05
LE	88,80 (15,21) 80,37 a 97,22	91,54 (16,83) 82,22 a 100,86	90,66 (13,51) 83,18 a 98,14	90,20 (20,78) 76,99 a 103,40	80,40 (19,91) 67,75 a 93,05	80,20 (18,45) 68,47 a 91,92	0,55	0,23	0,17
Taxa de Fadiga									
AD	-0,09 (0,23) -0,22 a 0,03	-0,05 (0,13) -0,13 a 0,01	0,00 (0,179) -0,09 a 0,10	-0,39 (0,23) -0,54 a -0,24	-0,14 (0,44) -0,43 a 0,13	-0,08 (0,27) -0,26 a 0,09	*0,002 GE - 0≠2	0,08	0,05
AE	-0,08 (0,27) -0,23 a 0,06	-0,07 (0,15) -0,16 a 0,01	0,04(0,29) -0,12 a 0,20	-0,40 (0,25) -0,56 a -0,24	-0,27 (0,34) -0,49 a -0,05	-0,06 (0,34) -0,28 a 0,14	*0,001 GE - 0≠2	0,19	*0,02 Grupos ≠ 0
LD	-0,30 (0,24) -0,44 a -0,16	-0,26 (0,14) -0,34 a -0,17	-0,28 (0,15) -0,37 a -0,19	-0,40 (0,25) -0,57 a -0,24	-0,22 (0,54) -0,56 a 0,12	-0,30 (0,40) -0,56 a -0,04	0,26	0,55	0,74
LE	-0,21 (0,25) -0,36 a -0,07	-0,24 (0,18) -0,34 a -0,13	-0,23(0,14) -0,32 a -0,15	-0,39 (0,30) -0,58 a -0,20	-0,34(0,37) -0,58 a -0,10	-0,25 (0,47) -0,55 a 0,04	0,62	0,48	0,26

Teste ANOVA Two-Way seguido de post-hoc Sidak; GP = Grupo Placebo; GE = Grupo Experimental; Tempo 0 = Baseline; Tempo 1 = 10ª sessão; Tempo 2 = 20ª sessão; *p<0,05; AD – Abdominal lado Direito; AE - Abdominal lado Esquerdo; LD – Longuíssimo Lombar lado Direito; LE - LD – Longuíssimo Lombar lado Esquerdo.

Fonte: Dados da Pesquisa (2024)

4 DISCUSSÃO

O presente estudo investigou a eficácia da combinação entre estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) e exercício físico na intensidade da dor, na interferência da dor nas atividades diárias, na variabilidade da frequência cardíaca (VFC) e na atividade elétrica muscular em indivíduos com dor lombar crônica inespecífica (LBP). O principal achado foi que a tDCS associada ao exercício físico demonstrou eficácia ao aumentar o intervalo R-R da VFC, além de melhorar a taxa de fadiga do músculo abdominal. Apesar de o grupo experimental (GE) apresentar maior comprometimento inicial em comparação ao grupo placebo (GP), a melhora observada parece estar relacionada ao efeito combinado da estimulação transcraniana e do exercício físico, e não apenas ao nível inicial de comprometimento. As medidas relacionadas à dor apresentaram melhoras ao longo do tempo em ambos os grupos. Especificamente, os escores da Escala Visual Analógica e da Escala de dor crônica graduada indicaram redução progressiva da intensidade dolorosa e da interferência funcional nas atividades cotidianas.

A análise desses desfechos evidencia que os participantes, independentemente da aplicação da tDCS, apresentaram redução da dor ao longo do tempo, o que reforça o efeito já bem estabelecida dos exercícios físicos no manejo da dor lombar crônica não específica (Hayden et al., 2005; van Middelkoop et al., 2011). Tais ganhos podem estar associados a mecanismos como liberação de endorfinas, modulação do sistema nervoso central e fortalecimento da musculatura estabilizadora, o que favorece o controle postural e reduz a sobrecarga sobre estruturas lombares (Searle et al., 2015).

Apesar da adição da tDCS no grupo experimental, os dados não demonstraram efeito adicional sobre os níveis de dor e a interferência funcional. A ausência de interação entre os fatores grupo e tempo pode estar relacionada a variáveis como o número reduzido de sessões, a intensidade e duração da estimulação, ou mesmo o local de aplicação da corrente. Esses fatores podem ter sido insuficientes para provocar alterações significativas nos circuitos neurais associados à dor, conforme relatado por estudos anteriores (Luedtke et al., 2015; O'Connell et al., 2018).

Além disso, a variabilidade interindividual na resposta à tDCS e a ausência de controle de variáveis psicossociais – como ansiedade, expectativas ou crenças sobre dor – podem ter atenuado os efeitos diferenciais esperados (Fregni et al., 2011).

Ainda assim, os dados obtidos indicam que a prática regular de exercícios terapêuticos proporcionou benefícios clínicos relevantes, com melhora da percepção da dor e maior funcionalidade nas atividades da vida diária. Tais efeitos representam avanços importantes para a reabilitação de pacientes com lombalgia crônica e sustentam a continuidade do uso da cinesioterapia como base terapêutica. A ausência de efeitos adicionais da tDCS não invalida seu potencial, mas reforça a necessidade de investigação com parâmetros otimizados e maior controle experimental para avaliar sua eficácia em populações específicas ou condições clínicas particulares

Os escores do questionário Roland-Morris apresentaram melhora na funcionalidade ao longo do tempo nos dois grupos de intervenção. O tempo de 10 atendimentos e 20 atendimentos tiveram efeito positivos com as intervenções em relação ao baseline.

O questionário Roland-Morris é amplamente reconhecido como instrumento sensível à detecção de mudanças funcionais em indivíduos com lombalgia crônica (Stratford *et al.*, 1996). A melhora observada está de acordo com achados prévios que destacam o papel da cinesioterapia na restauração da capacidade funcional e na autonomia dos pacientes (van Middelkoop *et al.*, 2011; Saragiotto *et al.*, 2016). Tais efeitos podem ser atribuídos à redução da dor, ao fortalecimento da musculatura estabilizadora e à melhora da coordenação motora, que favorecem a reintegração às atividades diárias.

Apesar da adição da tDCS no grupo experimental, os dados não demonstraram efeito adicional sobre os níveis de dor e interferência funcional. A ausência de interação entre os fatores grupo e tempo pode estar relacionada a variáveis metodológicas, como o número reduzido de sessões, os parâmetros de estimulação utilizados ou o local de aplicação da corrente, que podem ter limitado a capacidade da neuromodulação de influenciar os circuitos relacionados à dor (Luedtke *et al.*, 2015; O'Connell *et al.*, 2018). Adicionalmente, fatores individuais, como o perfil clínico da amostra e a variabilidade na resposta à estimulação, também podem ter contribuído para os resultados. Dessa forma, é plausível que os ganhos funcionais observados sejam atribuídos predominantemente aos efeitos do exercício físico, em vez de a mecanismos específicos de modulação cortical induzidos pela tDCS (O'Connell *et al.*, 2018).

Em relação à VFC, observou-se melhora em três variáveis (R-R, PNN₅₀ e SD₂) parâmetros de modulação autonômica ao longo do tempo dentro de cada grupo, com

aumento dos índices associados à atividade parassimpática e redução dos indicadores simpáticos. A variável R-R obteve aumento dos valores para o grupo experimental em relação ao grupo placebo após 20 atendimentos. Com isto, nota-se que exercícios associados ao tDCS tiveram melhores resultados nesta variável.

A VFC é um marcador utilizado para avaliar a regulação autonômica cardíaca e tem sido associada à presença de dor crônica e disfunção autonômica em indivíduos com lombalgia (Meeus *et al.*, 2013). O aumento da VFC, particularmente dos componentes de alta frequência (HF), reflete maior tônus vagal, o que está associado à melhora do controle autonômico e redução da ativação do eixo estresse-dor (Thayer *et al.*, 2012).

A melhora observada neste estudo indica que a prática regular de exercício físico promoveu benefícios relevantes na modulação autonômica, provavelmente por mecanismos de adaptação cardiovascular e redução do estresse fisiológico. Além disso, a melhora na variável R-R no grupo experimental indica que a tDCS associada ao exercício físico contribuiu positivamente para a modulação autonômica, possivelmente por mecanismos centrais que influenciam indiretamente a função autonômica periférica. No entanto, não se pode descartar que parte desse ganho esteja relacionada ao fato de o grupo experimental ter iniciado o protocolo com maior comprometimento físico, evidenciado pelos escores mais elevados no Questionário Roland-Morris (RMDQ) no baseline, o que poderia ter ampliado a margem para melhorias ao longo da intervenção.

O desfecho eletromiográfico referente à variável tempo de contração mostrou um aumento nos valores ao longo do tempo nos músculos avaliados. Especificamente, os músculos abdominais direito e esquerdo apresentaram melhora no grupo experimental, enquanto o músculo abdominal esquerdo, longuíssimo lombar direito e esquerdo demonstraram evolução positiva dentro do grupo placebo.

A análise do tempo de contração dos músculos abdominais evidenciou uma melhora progressiva da resistência isométrica nos dois grupos. Esses achados indicam ganhos importantes na resistência da musculatura abdominal, que é um elemento chave para a estabilidade do tronco e o controle postural da coluna lombar. Os resultados obtidos estão de acordo com o que descreve a literatura, a qual aponta que indivíduos com lombalgia crônica de origem inespecífica costumam apresentar redução da resistência dos músculos abdominais quando comparados àqueles sem sintomas (Nadler *et al.*, 2002). A progressão observada neste estudo pode estar

relacionada a uma adaptação neuromuscular promovida pelos exercícios físicos, contribuindo para um recrutamento mais eficiente dos músculos do core e para o aprimoramento do controle motor lombopélvico (McGill *et al.*, 1999; Akuthota e Nadler, 2004). McGill *et al.* (1999) relatam que indivíduos saudáveis conseguem manter a flexão isométrica do tronco por cerca de 149 ± 99 segundos (mulheres) e 144 ± 76 segundos (homens), valores superiores aos encontrados nesta amostra. No entanto, os dados obtidos após 20 atendimentos mostram que os participantes alcançaram tempos próximos aos valores de referência clínicos para pessoas com lombalgia, sugerindo ganhos funcionais relevantes, mesmo que ainda aquém da média de uma população assintomática.

O grupo experimental se assemelha ao grupo placebo na variável tempo de contração abdominal. Essa ausência de efeito pode estar relacionada a fatores como o tipo de corrente utilizada no caso, a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), que atua modulando a excitabilidade cortical de forma polaridade-dependente os parâmetros de estimulação, incluindo intensidade (mA), duração da aplicação e posicionamento dos eletrodos, a localização da aplicação e até mesmo o número de sessões realizadas. Esses elementos influenciam diretamente a eficácia da neuromodulação sobre os músculos do tronco, uma vez que pequenas variações podem alterar significativamente a magnitude e a duração do efeito neuromodulatório. Ainda assim, os dados reforçam que a prática sistemática de exercícios voltados à musculatura abdominal proporciona ganhos clínicos expressivos, contribuindo para a melhora da resistência muscular e da estabilidade lombar aspectos associados à redução da dor e ao aumento da funcionalidade em pacientes com lombalgia crônica (Akuthota ; Nadler, 2004; Baerga-Varela ; Abréu Ramos, 2006).

Quanto ao músculo longuíssimo lombar, avaliado pelo teste de Biering-Sørensen, os valores médios de tempo de contração no baseline estavam abaixo dos valores de referência descritos na literatura (Larimer *et al.*, 1999), reforçando a presença de um déficit funcional inicial. Embora, ao final de 20 atendimentos, os valores ainda se mantenham inferiores à média esperada para indivíduos saudáveis, houve superação do ponto de corte clínico de baixo desempenho (<58 segundos) (Demoulin *et al.*, 2006), o que indica uma melhora funcional concreta. O aumento observado no tempo de resistência após 10 e 20 sessões aponta para uma evolução clínica importante para a resistência dos extensores lombares, o que pode refletir em maior capacidade funcional, menor fadiga precoce e possível redução da dor

relacionada à lombalgia crônica de origem inespecífica.

A estabilidade dos valores eletromiográficos da variável RMSN para o músculo abdominal direito e esquerdo, longuíssimo lombar direito e esquerdo indicam que, neste protocolo específico, os exercícios e exercícios associados a TDCS não foram suficientes para promover alterações na eficiência eletromiográfica destes músculos. Esses dados indicam que a intensidade do recrutamento muscular permaneceu constante, possivelmente refletindo um padrão de ativação já consolidado ou pouco responsivo à intervenção. Além disso, a elevada variabilidade interindividual e as limitações da RMSN para detectar adaptações sutis em populações com dor lombar podem ter contribuído para a ausência de significância estatística (Dimitrov *et al.*, 2006).

De forma semelhante, a variável frequência mediana (FM) permaneceu estável nos três momentos avaliados em ambos os grupos. A FM é tradicionalmente utilizada para avaliar alterações no espectro de frequência do sinal de EMG associadas à fadiga muscular (De Luca, 1984; Dimitrov *et al.*, 2006). Entretanto, neste estudo, os valores médios de FM não apresentaram redução relevante ao longo das sessões, sugerindo que a musculatura analisada não apresentou alteração no comportamento espectral com a intervenção aplicada. Essa ausência de alteração pode ter algumas explicações possíveis: melhora da resistência muscular ao longo do programa de treinamento, o que poderia indicar menor suscetibilidade à fadiga eletromiográfica com o passar das sessões (Kupa *et al.*, 1995); elevada variabilidade interindividual dos dados, que pode mascarar tendências clínicas relevantes (Dimitrov *et al.*, 2006); limitações na sensibilidade da frequência mediana em capturar adaptações neuromusculares em populações com dor lombar crônica, cujo padrão de ativação é muitas vezes desorganizado ou compensatório (Nadler *et al.*, 2002; Akuthota e Nadler, 2004); a duração da contração até a fadiga pode ter variado entre os participantes, influenciando a consistência da análise espectral caso não tenha sido feita por janela temporal ou segmentação padronizada ao longo da fadiga (Gerdle *et al.*, 2000).

Entre as variáveis eletromiográficas analisadas, a taxa de fadiga foi a que mais claramente refletiu os benefícios da intervenção, especialmente no grupo exercício + tDCS. Esse grupo apresentou redução na taxa de fadiga dos músculos abdominais direito e esquerdo ao longo do tempo, indicando melhora da resistência neuromuscular e menor declínio do sinal espectral durante a tarefa sustentada. O grupo exercício isolado manteve os valores após a intervenção. Esses achados

sugerem que a tDCS potencializou a eficiência neuromuscular da musculatura abdominal, provavelmente por mecanismos de modulação cortical que favorecem o recrutamento motor e o controle postural (Bolognini *et al.*, 2009; Luedtke *et al.*, 2015).

A melhora funcional, evidenciada pela estabilização da taxa de fadiga, representa um ganho clínico relevante para a reabilitação da lombalgia, já que a resistência à fadiga é essencial para a estabilidade e proteção da coluna lombar durante as atividades diárias (Akuthota; Nadler, 2004; Marshall; Murphy, 2005). Diferente dos abdominais, os músculos longuíssimo lombar direito (LD) e esquerdo (LE) não demonstraram modificações na taxa de fadiga ao longo do tempo, tampouco efeito de interação ou efeito entre os grupos. Isso indica que nem o exercício isolado nem o combinado com tDCS foram suficientes para alterar substancialmente a resistência à fadiga desses extensores lombares durante contrações isométricas máximas.

Os extensores lombares são predominantemente compostos por fibras do tipo I e possuem forte sensibilidade a padrões estáveis de ativação para manutenção da postura (Mannion *et al.*, 1997). Além disso, o teste de contração utilizou uma duração variável, o que pode reduzir a sensibilidade da taxa de fadiga para capturar mudanças sutis em músculos com elevada resistência natural. Em consonância com isso, revisões apontam que a estimulação transcraniana tende a ter maior impacto em músculos com função dinâmica do core, e seu efeito sobre a musculatura paravertebral profunda - como o longuíssimo lombar - ainda é pouco evidente (Luedtke *et al.*, 2015). Da mesma forma, estudos sugerem que a nula resposta eletromiográfica pode refletir inadequação dos parâmetros da intervenção, como intensidade, local de aplicação da corrente ou volume total de sessões.

Em resumo, a combinação de tDCS e exercício físico não demonstrou eficácia superior na redução da intensidade da dor ou na melhora da funcionalidade em comparação ao exercício sozinho. No entanto, ambos os grupos apresentaram melhorias Intra grupo, reforçando a importância do exercício físico no manejo da LBP.

Para avançar o conhecimento, estudos futuros devem considerar amostras maiores e períodos de intervenção mais longos para avaliar a eficácia da tDCS em conjunto com o exercício físico. Além disso, a otimização dos parâmetros da tDCS, como intensidade, duração e localização dos elétrodos, pode ser explorada para maximizar os efeitos na função muscular, conforme sugerido pelo aumento na frequência mediana da EMG. Investigações adicionais também poderiam focar em

subgrupos de pacientes com LBP, como aqueles com alterações específicas na ativação muscular ou disfunções autonômicas, para identificar populações que possam se beneficiar mais da tDCS.

Implicações Clínicas

Os achados desta pesquisa oferecem contribuições relevantes para a prática clínica e políticas de saúde, articulando evidências sobre intervenções não farmacológicas no manejo da lombalgia crônica inespecífica. A tDCS confirmou seu perfil de segurança, sem relatos de efeitos adversos no presente estudo. Essa característica a posiciona como alternativa viável para pacientes com contraindicações a farmacoterapia e Intervenção escalável em serviços públicos de saúde, dada sua portabilidade e baixo custo operacional. Observou-se melhora qualitativa na adesão aos exercícios no grupo submetido à terapia combinada, sugerindo efeitos neuromodulatórios em redes corticais associadas à motivação (córtex pré-frontal dorsolateral).

5 CONCLUSÃO

A tDCS associada a exercícios físicos não demonstrou eficácia na comparação intergrupos para a intensidade da dor e interferência da dor nas atividades (EDCG e EVA) nem para o desempenho funcional (RMDQ). No entanto, ambas as intervenções apresentaram efeitos positivos na redução da dor, melhora na interferência da dor nas atividades, no aumento do desempenho funcional (RMDQ) e em algumas variáveis da VFC ao longo do tempo (efeito intragrupos). Destaca-se que a variável R-R da VFC obteve eficácia na comparação intergrupos, apresentando aumento no grupo experimental. A análise eletromiográfica demonstrou efeito em ambos os grupos e ambos apresentaram melhora no tempo de contração muscular (maior resistência muscular) ao longo da intervenção. O grupo exercício associado ao tDCS desencadeou efeito na taxa de fadiga, com redução nos valores para os músculos abdominais indicando possível efeito adjuvante da neuromodulação. Por outro lado, as variáveis RMSN e frequência mediana e na taxa de fadiga dos extensores lombares mantiveram valores semelhantes. O grupo experimental apresentou eficácia no baseline para o músculo abdominal esquerdo.

REFERÊNCIAS DO ARTIGO

- AKUTHOTA, V.; NADLER, S. F. Core strengthening. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Philadelphia: Elsevier, v. 85, n. 3, supl. 1, p. S86–S92, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.apmr.2003.12.005>.
- CATAI, M. A. *et al.* Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, São Carlos: Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia, v. 24, n. 2, p. 91–102, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.09.006>.
- CAVALCANTE, P. G. L. *et al.* Transcranial direct current stimulation combined with therapeutic exercise in chronic low back pain: protocol of a randomized controlled trial. **Physical Therapy**, Oxford: Oxford University Press, v. 100, n. 9, p. 1595–1602, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa079>.
- CYRANKIEWICZ, I.; ZAREBA, W. Heart rate variability. In: AMINOFF, M. J.; BOLLER, F.; SHTAIF, B. (org.). **Handbook of Clinical Neurology**. Amsterdam: Elsevier, v. 117, p. 379–393, 2013.
- DEMOULIN, C. *et al.* Spinal muscle evaluation using the Sorensen test: a critical appraisal of the literature. **Joint Bone Spine**, Paris: Elsevier Masson, v. 73, n. 1, p. 43–50, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2004.08.002>.
- DIMITROVA, N. A.; DIMITROV, G. V. Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Oxford: Elsevier, v. 13, n. 1, p. 13–36, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(02\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00083-4).
- ENOKA, R. M.; FUGLEVAND, A. J. Motor unit physiology: some unresolved issues. **Muscle & Nerve**, Hoboken: Wiley-Liss, v. 24, n. 1, p. 4–17, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200001\)24:1<4::AID-MUS2>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200001)24:1<4::AID-MUS2>3.0.CO;2-F).
- FORTE, G. *et al.* Heart rate variability and pain: a systematic review. **Brain Sciences**, Basel: MDPI, v. 12, n. 2, p. 153, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/brainsci12020153>.
- HERMENS, H. J. *et al.* Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Oxford: Elsevier, v. 10, n. 5, p. 361–374, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4).
- HODGES, P. W.; TUCKER, K. Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain. **Pain**, Amsterdam: Elsevier, v. 152, supl. 3, p. S90–S98, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.10.014>.
- LATIMER, J. *et al.* The reliability and validity of the Biering-Sørensen test in asymptomatic subjects and patients with recurrent low back pain. **Spine**, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v. 24, n. 20, p. 2085–2089, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1097/00007632-199910150-00004>.
- MARTÍNEZ-ROMERO, M. T. *et al.* A meta-analysis of the reliability of four field-based trunk extension endurance tests. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel: MDPI, v. 29, n. 9, p. 3088, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17093088>.
- MCGILL, S. M.; CHILDS, A.; LIEBENSON, C. Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Philadelphia: Elsevier, v. 80, n. 8, p. 941–944, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(99\)90087-4](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(99)90087-4).
- TRACY, L. M. *et al.* Meta-analytic evidence for decreased heart rate variability in chronic pain implicating parasympathetic nervous system dysregulation. **Pain**, Amsterdam: Elsevier, v. 157, n. 1, p. 7–29, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000349>.

TREEDE, R. D. *et al.* Chronic pain as a symptom or a disease: the IASP classification of chronic pain for the International Classification of Diseases (ICD-11). **Pain**, Amsterdam: Elsevier, v. 160, n. 1, p. 19–27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001384>.

TULDER, M. *et al.* Chapter 3. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain in primary care. **European Spine Journal**, Berlin: Springer-Verlag, v. 15, suppl. 2, p. S169–S191, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-006-1071-2>.

VOS, T. *et al.* Global burden of disease study 2021: low back pain estimates. **The Lancet**, London: Elsevier, v. 401, p. 1023–1034, 2023. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)00402-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)00402-X).

WOODS, A. J. *et al.* A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. **Clinical Neurophysiology**, Amsterdam: Elsevier, v. 127, n. 2, p. 1031–1048, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.11.012>.

REFERÊNCIAS

AIRAKSINEN, O. *et al.* Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. **European Spine Journal**, v. 15, suppl. 2, p. S192–S300, 2006. Berlin: Springer.

AROVAH, N. I. Cultural adaptation and validation of the Indonesian version of the Roland-Morris Disability Questionnaire: a psychometric analysis. **Scispace Journal**, out. 2024. Disponível em: <https://scispace.com/papers/cultural-adaptation-and-validation-of-the-indonesian-version-4fc92gw4attb>. Acesso em: 10 set. 2024.

ÅSTRÖM, M. *et al.* Use of the visual analogue scale for health state valuation: a scoping review. **Quality of Life Research**, v. 32, n. 10, p. 2719–2729, 2023. Berlin: Springer.

BÄCKRYD, E. *et al.* The new chronic pain MG30 category and diagnostic specificity in quality registries: problems and suggested solutions with special reference to Swedish Quality Registry for Pain Rehabilitation (SQRP). **Frontiers in Pain Research**, v. 4, n. 5, jul. 2024. Lausanne: Frontiers Media.

BARROS, M. B. A. *et al.* Tendências das desigualdades sociais e demográficas na prevalência de doenças crônicas no Brasil, PNAD: 2003–2008. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 10, p. 3755–3768, 2011.

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

BATISTA, H. S.; SILVA, W. A. D.; MACEDO, J. F. A prevalência da dor lombar e fatores de risco na população adulta no Brasil: uma revisão integrativa. **Revista FT**, [S. l.], 2024.

BOTTAMEDI, X. *et al.* Programa de tratamento para dor lombar crônica baseado nos princípios da Estabilização Segmentar e na Escola de Coluna. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 14, n. 3, p. 206–213, 2016.

BRIGGS, A. M. *et al.* Towards a global strategy to improve musculoskeletal health. Sydney: **Global Alliance for Musculoskeletal Health**, 2021. Disponível em: <https://gmusc.com/wp-content/uploads/2022/08/MSK-Report-English-FINAL.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

BUCHBINDER, R. *et al.* Low back pain: a call for action. **The Lancet**, v. 391, n. 10137, p. 2384–2388, 2018. London: Elsevier.

CANADIAN SOCIETY FOR EXERCISE PHYSIOLOGY. **The Canadian physical activity, fitness and lifestyle appraisal: CSEP's guide to health active living**. Ottawa: CSEP, 2004.

CÁRDENAS-ROJAS, A.; PACHECO-BARRIOS, K.; GIANNONI-LUZA, S.; RIVERA-TORREJON, O.; FREGNI, F. Noninvasive brain stimulation combined with exercise in chronic pain: a systematic review and meta-analysis. **Expert Review of Neurotherapeutics**, v. 20, n. 4, p. 401–412, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/14737175.2020.1738927>.

CAVALCANTE, P. G. L. *et al.* Transcranial direct current stimulation combined with therapeutic exercise in chronic low back pain: protocol of a randomized controlled trial. **Physical Therapy**, v. 100, n. 9, p. 1595–1602, 2020. Oxford: Oxford University Press.

CHOU, R. *et al.* Diagnosis and treatment of low back pain: a joint clinical practice guideline from the American College of Physicians and the American Pain Society. **Annals of Internal Medicine**, v. 147, n. 7, p. 478–491, 2007. Philadelphia: American College of Physicians.

- CLANCY, E. A.; MORIN, E. L.; MERLETTI, R. Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 12, n. 1, p. 1–16, 2002. Amsterdam: Elsevier.
- COHEN, S. P.; VASE, L.; HOOTEN, W. M. Chronic pain: an update on burden, best practices, and new advances. **The Lancet**, v. 29, n. 10289, p. 2082–2097, 2021. London: Elsevier.
- COSTA, L. C. M. *et al.* The prognosis of acute and persistent low-back pain: a meta-analysis. **CMAJ**, v. 184, n. 11, p. 613–624, 2012. Ottawa: Canadian Medical Association.
- CYRANKIEWICZ, I.; ZAREBA, W. Heart rate variability. **Handbook of Clinical Neurology**, v. 117, p. 379–393, 2013. Amsterdam: Elsevier.
- DACORSO, L. M.; DACORSO, S. T. M. Dores crônicas na atualidade. **Estudos de Psicanálise**, Belo Horizonte, v. 12, n. 50, p. 87–94, dez. 2018.
- DE LUCA, C. J. Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. **Critical Reviews in Biomedical Engineering**, v. 11, n. 4, p. 251–279, 1984. New York: Begell House.
- DIXON, J. S.; BIRD, H. A. Reproducibility along a 10 cm vertical visual analogue scale. **Annals of the Rheumatic Diseases**, v. 40, n. 1, p. 87–89, 1981. London: BMJ Publishing Group.
- ENOKA, R. M.; FUGLEVAND, A. J. Motor unit physiology: some unresolved issues. **Muscle & Nerve**, v. 24, p. 4–7, 2000. Hoboken: Wiley.
- FARINA, D.; MERLETTI, R.; ENOKA, R. M. The extraction of neural strategies from the surface EMG. **Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 4, p. 1486–1495, 2004. Bethesda: American Physiological Society.
- FORTE, G. *et al.* Heart rate variability and pain: a systematic review. **Brain Sciences**, v. 12, n. 2, p. 153, 2022. Basel: MDPI.
- FOSTER, N. E. *et al.* Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. **The Lancet**, v. 391, n. 10137, p. 2368–2383, 2018. London: Elsevier.
- GORDON, R.; BLOXHAM, S. A systematic review of the effects of exercise and physical activity on non-specific chronic low back pain. **Healthcare**, v. 4, n. 2, p. 22–30, 2016. Basel: MDPI.
- GOUDMAN, L. *et al.* The level of agreement between the numerical rating scale and visual analogue scale for assessing pain intensity in adults with chronic pain. **Anaesthesia**, v. 79, n. 2, p. 128–138, 2024. Hoboken: Wiley.
- HARTVIGSEN, J. *et al.* What low back pain is and why we need to pay attention. **The Lancet**, v. 391, n. 10137, p. 2356–2367, 2018. London: Elsevier.
- HAZIME, F. A. Eficácia analgésica da estimulação elétrica cerebral e periférica na dor lombar crônica inespecífica: ensaio clínico aleatorizado, duplo-cego, fatorial. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências da Habilitação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- HOCHHEIM, M. *et al.* A cross-sectional study to validate an administrative back pain severity classification tool based on the graded chronic pain scale. **Scientific Reports**, v. 12, art. 16547, 2022. London: Nature Publishing Group.
- HODGES, P. W.; TUCKER, K. Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain. **Pain**, v. 152, n. 3, p. 90–98, 2011. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

HUG, F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 21, n. 1, p. 1–12, 2011. Amsterdam: Elsevier.

JAKOBSEN, M. D.; VINSTRUP, J.; ANDERSEN, L. L. Work related fear avoidance beliefs and risk of low back pain: prospective cohort study among healthcare workers. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, 2024. Philadelphia: Wolters Kluwer.

JALES JÚNIOR, L. H. *et al.* Transcranial direct current stimulation in fibromyalgia: effects on pain and quality of life evaluated clinically and by brain perfusion scintigraphy. **Revista Dor**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 37–42, jan./mar. 2015.

JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY. Clinical practice guidelines: low back pain. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 51, n. 11, 2021. Alexandria: APTA.

JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY. Low back pain clinical practice guidelines linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health from the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. **JOSPT**, v. 51, n. 11, p. CPG1–CPG60, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.0304>.

LEFAUCHEUR, J. P. *et al.* Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). **Clinical Neurophysiology**, v. 128, n. 1, p. 56–92, 2016. Amsterdam: Elsevier.

LLOYD, D. M. *et al.* Is transcranial direct current stimulation (tDCS) effective for the treatment of pain in fibromyalgia? A systematic review and meta-analysis. **The Journal of Pain**, v. 30, n. 7, p. 1–16, 2020. Amsterdam: Elsevier.

MACHADO, L. A. C. *et al.* Analgesic effects of treatments for non-specific low back pain: a meta-analysis of placebo-controlled randomized trials. **Rheumatology**, v. 48, n. 5, p. 520–527, 2009. Oxford: Oxford University Press.

MARIANO, T. Y. *et al.* Transcranial direct current stimulation for affective symptoms and functioning in chronic low back pain: a pilot double-blinded, randomized, placebo-controlled trial. **Pain Medicine**, v. 20, n. 6, p. 1166–1177, 2019. Oxford: Oxford University Press.

MICHEL-CHÁVEZ, A. *et al.* Variabilidade cardiovascular no diabetes de diagnóstico recente. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 105, n. 3, p. 276–284, 2015. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cardiologia.

MONTEIRO, J. *et al.* Questionário de incapacidade de Roland-Morris: adaptação e validação para os doentes de língua portuguesa com lombalgia. **Acta Médica Portuguesa**, v. 23, n. 5, p. 761–766, 2010. Lisboa: Ordem dos Médicos.

MOREAU, G. J. *et al.* Experimental and theoretical study of the collision-induced fundamental absorption spectra of N₂–O₂ and O₂–N₂ pairs. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 69, p. 245–256, 2001. Oxford: Pergamon Press.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. Low back pain and sciatica in over 16s: assessment and management. **NICE Guideline**, n. 59, dez. 2020. Bethesda: NCBI. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562933/>. Acesso em: 10 out. 2024.

NATIONAL INSTITUTE FOR HEALTH AND CARE EXCELLENCE. **NICE guidance**. London: NICE, 2020. Disponível em: <https://www.nice.org.uk/guidance>. Acesso em: 25 mar. 2025.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation: technical, safety and functional aspects. **Supplement Clinical Neurophysiology**, v. 56, p. 255–276, 2003. Amsterdam: Elsevier.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Transcranial direct current stimulation: state of the art. **Brain Stimulation**, v. 1, n. 3, p. 206–223, 2008. Amsterdam: Elsevier.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **The Journal of Physiology**, v. 527, p. 633–639, 2000. Cambridge: Cambridge University Press.

NUSBAUM, L. *et al.* Translation, adaptation and validation of the Roland-Morris questionnaire. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 34, n. 2, 2001. Ribeirão Preto: USP.

RAJA, S. N. *et al.* The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. **Pain**, v. 161, n. 9, p. 1976–1982, 2020. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

ROGERS, A. H. *et al.* A meta-analysis of the associations of elements of the fear avoidance model. **European Journal of Pain**, 2022. Oxford: Wiley.

ROLAND, M.; FAIRBANK, J. C. The Roland-Morris Disability Questionnaire and the Oswestry Disability Questionnaire. **Spine**, v. 25, n. 24, p. 3115–3124, 2000. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

RYUM, T.; STILES, T. C. Changes in pain catastrophizing, fear avoidance beliefs, and pain self-efficacy mediate changes in pain intensity on disability in the treatment of chronic low back pain. **Pain Reports**, v. 8, n. 5, e1609, 2023. Philadelphia: Wolters Kluwer.

SILVA, J. A.; RIBEIRO-FILHO, N. P. A dor como um problema psicofísico. **Revista Dor**, v. 12, n. 2, p. 138–151, 2011. São Paulo: SBED.

SISCO TAYLOR, B. L. *et al.* Changes in pain catastrophizing and fear avoidance beliefs in chronic pain. **Pain Medicine**, v. 23, n. 6, p. 1127–1138, 2022. Oxford: Oxford University Press.

SOHAIL, M. *et al.* Translation, cultural adaptation, and validation of the Urdu version of Roland-Morris low back pain and disability questionnaire. **Scispace Journal**, 2023. Disponível em: <https://scispace.com/papers/translation-cultural-adaptation-and-validation-of-the-urdu-3g80oqt55uok>. Acesso em: 10 set. 2024.

SHAFFER, F.; GINSBERG, J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. **Frontiers in Public Health**, Lausanne, v. 5, p. 258, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2017.00258/full>. Acesso em: 12 set. 2025.

SOUZA, M. M. Desenvolvimento de plano terapêutico para modulação da dor lombar utilizando a estimulação transcraniana por corrente contínua. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Saúde) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

STOCHKENDAHL, M. J. *et al.* National Clinical Guidelines for non-surgical treatment of patients with recent onset low back pain or lumbar radiculopathy. **European Spine Journal**, v. 27, n. 1, p. 60–75, 2018. Berlin: Springer.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY; NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. **European Heart Journal**, v. 17, p. 354–381, 1996. Oxford: Oxford University Press. Disponível em: <https://www.escardio.org/static->

file/Escordio/Guidelines/Scientific-Statements/guidelines-Heart-Rate-Variability-FT-1996.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

TRACY, L. M. *et al.* Meta-analytic evidence for decreased heart rate variability in chronic pain implicating parasympathetic nervous system dysregulation. **Pain**, v. 157, n. 1, p. 7–29, 2016. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

TREEDE, R. D. *et al.* Chronic pain as a symptom or a disease: the IASP Classification of Chronic Pain for the International Classification of Diseases (ICD-11). **Pain**, v. 160, n. 1, p. 19–27, 2019. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

TULDER, M. *et al.* Chapter 3. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain in primary care. **European Spine Journal**, v. 15, suppl. 2, p. S169–S191, 2006. Berlin: Springer.

VASCONCELOS, F. H.; ARAÚJO, G. C. Prevalence of chronic pain in Brazil: a descriptive study. **Brazilian Journal of Pain**, v. 1, n. 2, p. 176–179, abr./jun. 2018. São Paulo: SBED.

VERBUNT, J. A. *et al.* Disuse and deconditioning in chronic low back pain: concepts and hypotheses on contributing mechanisms. **European Journal of Pain**, v. 7, n. 1, p. 9–21, 2003. Oxford: Wiley.

VON-KORFF, M. *et al.* Graded chronic pain scale revised: mild, bothersome, and high-impact chronic pain. **Pain**, v. 161, n. 3, p. 651–661, 2020. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

VOS, T. *et al.* Global burden of disease study 2021: low back pain estimates. **The Lancet**, v. 401, p. 1023–1034, 2023. London: Elsevier.

WERTLI, M. M. *et al.* Fear-avoidance beliefs: a moderator of treatment efficacy in patients with low back pain: a systematic review. **Spine Journal**, v. 14, n. 11, p. 2658–2678, 2014. Philadelphia: Elsevier.

WOODS, A. J. *et al.* A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. **Clinical Neurophysiology**, v. 127, n. 2, p. 1031–1048, 2016. Amsterdam: Elsevier.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **ICD-11 revision**. Geneva: WHO, 2020. Disponível em: <http://www.who.int/classifications/icd/revision/en>. Acesso em: 10 set. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO releases guidelines on chronic low back pain. **World Health Organization**, dez. 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/07-12-2023-who-releases-guidelines-on-chronic-low-back-pain>. Acesso em: 10 set. 2024.

YIHUNIE, M.; ABICH, Y.; DEMISSIE, S. F. *et al.* Fear avoidance beliefs for physical activity among chronic low back pain: a multicenter cross sectional study. **Journal of Pain Research**, v. 16, p. 233–243, 2023. London: Dove Press.

APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Dados de Identificação

Título da pesquisa: Efeito da Estimulação Elétrica Transcraniana nos parâmetros de Dor, na variabilidade da frequência cardíaca, na atividade elétrica cerebral e muscular para o Tratamento da Lombalgia Crônica Inespecífica: Ensaio Clínico Randomizado.

Pesquisador(a) responsável: Andréia Maria Silva Vilela Terra

Pesquisador(es) participante(s): Bianca Lefosse, Giovana Rocha Barros Leite de Siqueira, Julia Ferreira de Oliveira Rodrigues, Adriana Teresa Silva Santos, Carolina Kosour, Ana Paula Assunção Quirino.

Nome do participante:

Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa efeito da estimulação cerebral nos parâmetros de dor, na variação da frequência cardíaca, na atividade cerebral e muscular para o tratamento da Lombalgia Crônica Inespecífica: Ensaio Clínico Randomizado, de responsabilidade da pesquisadora Andréia Maria Silva Vilela Terra. Leia cuidadosamente o que segue e me pergunte sobre qualquer dúvida que você tiver. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, e no caso de aceitar fazer parte do nosso estudo assine ao final deste documento, que consta em duas vias. Uma via pertence a você e a outra ao pesquisador(a) responsável. Sua participação não é obrigatória, e, a qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador(a) ou com a instituição. Em caso de recusa você não sofrerá nenhuma penalidade.

Ao ler os itens abaixo, você deve declarar, ao final desse documento, se foi suficientemente esclarecido(a) sobre as etapas da pesquisa.

1. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o efeito da estimulação cerebral nos parâmetros de dor, na variação da frequência cardíaca, na atividade cerebral e muscular para o tratamento da Lombalgia Crônica Inespecífica: Ensaio Clínico Randomizado.

2. A sua participação nesta pesquisa consistirá em um sorteio no qual você poderá participar do grupo com exercício ou do grupo com exercício e estimulação cerebral. As avaliações serão realizadas na clínica de fisioterapia da Universidade Federal de Alfenas/MG. As intervenções serão realizadas na clínica de fisioterapia da Universidade Federal de Alfenas/MG ou no Hospital Casa de Caridade de Alfenas – Nossa Senhora do Perpétuo Socorro. Você responderá três questionários estruturados, sendo dois relacionados à dor e um relacionado à funcional. O pesquisador irá avaliar a atividade do coração, do cérebro e a atividade muscular da coluna lombar. A duração da avaliação será em média de uma hora e meia. Um

pesquisador ficará responsável pelas avaliações e reavaliações. Outro pesquisador ficará responsável pelas intervenções e a duração será em média de uma hora. A intervenção será realizada com aparelho acoplado no couro cabeludo com esponja umedecida em soro fisiológico e fixada com elástico concomitante à realização de exercícios específicos para tratamento de dor lombar e o outro grupo será realizado exercícios para o tratamento da dor lombar. Os exercícios serão flexibilidade, caminhada em esteira e fortalecimento. O período de intervenção será de 20 atendimentos, sendo 10 atendimentos consecutivos (exceto final de semana) e os outros serão realizados três vezes por semanas, durante duas semanas e duas vezes por semanas, durante duas semanas, totalizando 20 atendimentos. Os dados avaliados e reavaliados serão utilizados para apresentação em congresso e publicação de artigos científicos.

3. Durante a execução da pesquisa poderá ocorrer risco baixo. Quando você for responder o questionário pode sentir desconforto e cansaço. O desconforto será minimizado com a presença de um único avaliador em local isolado. O cansaço será minimizado com pausa entre os questionários. Pode haver quebra de sigilo que será minimizado com os dados guardados em local reservado e os dados serão utilizados apenas para fins científicos. Durante a aplicação da estimulação craniana pode sentir leve formigamento e coceira abaixo do eletrodo. Caso venha aparecer o formigamento e a coceira estes sintomas irão desaparecer após a aplicação do equipamento e também pode ser minimizado com redução na intensidade da dose do equipamento. Pode apresentar sintomas de sonolência que será minimizado após a aplicação e estes sintomas irão desaparecer. Após a aplicação, o local poderá ficar avermelhado. Caso fique vermelho será orientado passar a pomada Bepantol® (hidratante multirestaurador), sendo de livre prescrição médica e será oferecida pelos pesquisadores. Também antes de iniciar o procedimento todos os voluntários irão responder questionário sobre as contraindicações para o uso deste método e assim não participarão. Após a realização dos exercícios, os voluntários podem sentir desconforto muscular que será minimizado com a orientação para executar menos repetições no próximo atendimento e será orientado a colocar bolsa de água quente no local da dor muscular e orientação de alongamento.

4. Ao participar dessa pesquisa você poderá ter melhora na dor, poderá ganhar maior resistência e força muscular estes serão os benefícios diretos. Os benefícios indiretos serão contribuição com a pesquisa, contribuição com mestrado e geração de produto, como exemplo artigo científico.

5. Sua participação neste projeto terá a duração de oito semanas, sendo a primeira e oitava semana avaliação e as outras semanas serão as intervenções. As avaliações duraram em média uma hora e meia e as intervenções duraram em média de uma hora. O número de vezes será todos os dias por 10 atendimentos (exceto final de semana). Após, o atendimento será três vezes por semana, por duas semanas. Na sequência, o atendimento será duas vezes por semanas, por duas semanas. O atendimento será Clínica de Fisioterapia da Universidade Federal de Alfenas/MG ou no Hospital Casa de Caridade de Alfenas – Nossa Senhora do Perpétuo Socorro.

6. Você não terá nenhuma despesa por sua participação na pesquisa, sendo os questionários e tratamentos totalmente gratuitos; e deixará de participar ou retirar seu

consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e não sofrerá prejuízo.

7. Você foi informado(a) e está ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por sua participação, no entanto, caso você tenha qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, terá direito a buscar ressarcimento.

8. Caso ocorra algum dano, previsto ou não, decorrente da sua participação no estudo, você terá direito à assistência integral e imediata, de forma gratuita (pela pesquisadora responsável), pelo tempo que for necessário; e terá o direito a buscar indenização.

9. Será assegurada a sua privacidade, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, identificá-lo(a), será mantido em sigilo. Caso você deseje, poderá ter livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que você queira saber antes, durante e depois da sua participação.

10. Você foi informado(a) que os dados coletados serão utilizados, única e exclusivamente, para fins desta pesquisa, e que os resultados da pesquisa, poderão ser publicados/divulgados através de trabalhos acadêmicos ou artigos científicos por profissionais da área.

11. Você poderá consultar a pesquisadora Andréia Maria Silva Vilela Terra, no seguinte telefone (35 3701-1921) ou email andreia.silva@unifal-mg.edu.br e/ou o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alfenas (CEP/UNIFAL-MG*), com endereço na Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, Cep - 37130-000, Fone: (35) 3701 9153, no e-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br sempre que entender necessário obter informações ou esclarecimentos sobre o projeto de pesquisa e sua participação.

**O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alfenas (CEP/UNIFAL-MG) é um colegiado composto por membros de várias áreas do conhecimento científico da UNIFAL-MG e membros da nossa comunidade, com o dever de defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento científico dentro de padrões éticos.*

Eu, _____, declaro ter sido informado (a) e concordo em participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa acima descrito.

.....
(Cidade), (dia) de (mês) de (ano)

.....
(Assinatura do(a) participante da pesquisa)

.....
(Assinatura do(a) pesquisador(a) responsável /pesquisador(a) participante)

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO DE INCAPACIDADE ROLAND-MORRIS (QIRM)

Quando você tem dor, você pode ter dificuldade em fazer algumas coisas que normalmente faz. Esta lista possui algumas frases que as pessoas usam para se descreverem quando tem dor. Quando você ler estas frases poderá notar que algumas descrevem sua condição atual. Ao ler ou ouvir estas frases pense em você hoje.

Assinale com um x apenas as frases que descrevem sua situação hoje, se a frase não descrever sua situação deixe-a em branco e siga para a próxima sentença. Lembre-se assinale apenas a frase que você tiver certeza que descreve você hoje.	
1. Fico em casa a maior parte do tempo por causa da minha dor.	
2. Mudo de posição frequentemente tentando ficar mais confortável com a dor.	
3. Ando mais devagar que o habitual por causa da dor.	
4. Por causa da dor eu não estou fazendo alguns dos trabalhos que geralmente faço em casa.	
5. Por causa da dor eu uso o corrimão para subir escadas.	
6. Por causa da dor eu deito para descansar mais frequentemente.	
7. Por causa da dor eu tenho que me apoiar em alguma coisa para me levantar de uma poltrona.	
8. Por causa da dor tento com que outras pessoas façam as coisas para mim.	
9. Eu me visto mais devagar do que o habitual por causa das minhas dores.	
10. Eu somente fico em pé por pouco tempo por causa da dor.	
11. Por causa da dor tento não me abaixar ou me ajoelhar.	
12. Tenho dificuldade em me levantar de uma cadeira por causa da dor.	
13. Sinto dor quase todo o tempo.	
14. Tenho dificuldade em me virar na cama por causa da dor.	
15. Meu apetite não é muito bom por causa das minhas dores.	
16. Tenho dificuldade para colocar minhas meias por causa da dor.	
17. Caminho apenas curtas distâncias por causa das minhas dores.	
18. Não durmo tão bem por causa das dores	
19. Por causa da dor me visto com ajuda de outras pessoas.	
20. Fico sentado a maior parte do dia por causa da minha dor.	
21. Evito trabalhos pesados em casa por causa da minha dor.	
22. Por causa da dor estou mais irritado e mal humorado com as pessoas do que em geral.	
23. Por causa da dor subo escadas mais vagorosamente do que o habitual.	
24. Fico na cama (deitado ou sentado) a maior parte do tempo por causa das minhas dores	

Escore total (soma das respostas assinaladas): _____

Este questionário demora cerca de 5 minutos para responder. O resultado é o número de itens marcados, i.e, de um mínimo de 0 a um máximo de 24. As perguntas são objetivas e simples, dando-se uma pontuação de “1” para cada questão cuja

afirmação o paciente concorde e a pontuação “0” para cada questão cuja afirmação o paciente não concorde. O escore é a somatória dos valores, podendo-se obter uma pontuação mínima de “0” e uma pontuação máxima de “24”. Quanto mais próximo à pontuação “24” maior a incapacidade do indivíduo com dor lombar crônica. Este questionário tem como ponto de corte o escore “14”, ou seja, os indivíduos avaliados, com um escore maior que 14, apresentam incapacidade. Roland e Morris, ao introduzirem o questionário para avaliação de lombalgias, obtiveram um valor médio de 11,4 tendo considerado que os doentes com valores superiores a 14 tinham uma incapacidade grave.

APÊNDICE III – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA DE PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS - UNIFAL



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA TRANSCRANIANA NOS PARÂMETROS DE DOR, NA VARIABILIDADE CARDÍACA, NA ATIVIDADE ELÉTRICA CEREBRAL E MUSCULAR PARA TRATAMENTO DA LOMBALGIA CRÔNICA INESPECÍFICA: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO

Pesquisador: ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 79102724.2.0000.5142

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - UNIFAL-MG

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.886.383

Apresentação do Projeto:

O objetivo do projeto é avaliar o efeito da estimulação elétrica transcraniana por corrente contínua nos parâmetros de dor, variabilidade cardíaca, atividade elétrica cerebral e muscular para tratamento da lombalgia crônica inespecífica. Para o seu cumprimento, tem-se como percurso metodológico a proposta de um ensaio clínico randomizado, junto a dois grupos: placebo e intervenção. Pretende-se uma amostra constituída por pacientes voluntários, devidamente recrutados no Hospital Casa de Caridade de Alfenas e Nossa Senhora do Perpétuo Socorro e nas unidades de Saúde da Família do município de Alfenas/MG e, cujos critérios de inclusão sejam: ter dor lombar inespecífica crônica; ter idade igual ou superior a 18 anos; estar livre de doença grave na coluna. Para a realização do estudo, tem-se como lócus a Clínica de Fisioterapia da Universidade Federal de Alfenas/MG, mediante protocolo de 20 atendimentos, com duração de 40 minutos. As ferramentas utilizadas para a avaliação dos parâmetros da dor serão a Escala Visual Análoga e Questionário de Incapacidade de Roland Morris. Além disso, a variabilidade da frequência cardíaca, no qual avalia o sistema nervoso autônomo (eletrocardiofrequencímetro), a atividade elétrica cerebral (eletroencefalograma) e a atividade elétrica muscular (eletromiografia de superfície).

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Sala O 314 E
Bairro: centro **CEP:** 37.130-001
UF: MG **Município:** ALFENAS
Telefone: (35)3701-9153 **Fax:** (35)3701-9153 **E-mail:** comite.etica@unifal-mg.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS - UNIFAL



Continuação do Parecer: 6.886.383

CEP:

Ensaio clínico randomizado, controlado e cego.

Nível da Pesquisa: Mestrado.

Não há conflito de Interesses.

Financiamento Próprio.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Avaliar o efeito da estimulação elétrica transcraniana por corrente contínua nos parâmetros de dor, na variabilidade frequência cardíaca, na atividade elétrica cerebral e muscular para o tratamento da lombalgia crônica inespecífica.

Objetivo Secundário: Realizar comparação entre os tempos e grupos nos parâmetros de dor, na variabilidade cardíaca, na atividade elétrica cerebral e muscular para o tratamento da lombalgia crônica inespecífica.

CEP:

- a. claros e bem definidos;
- b. coerentes com a propositura geral do projeto;
- c. exequíveis, considerando tempo, recursos, método e instrumentos de avaliação.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Durante a execução da pesquisa poderá ocorrer risco baixo. Quando você for responder o questionário pode sentir desconforto e cansaço. O desconforto será minimizado com a presença de um único avaliador em local isolado. O cansaço será minimizado com pausa entre os questionários. Pode haver quebra de sigilo que será minimizado com os dados guardados em local reservado e os dados serão utilizados apenas para fins científicos. Durante a aplicação da estimulação craniana pode sentir leve formigamento e coceira abaixo do eletrodo. Caso venha aparecer o formigamento e a coceira estes sintomas irão desaparecer após a aplicação do equipamento e também pode ser minimizado com redução na intensidade da dose do equipamento. Pode apresentar sintomas de sonolência que será minimizado após a aplicação e estes sintomas irão desaparecer. Após a aplicação, o local poderá ficar avermelhado. Caso fique vermelho será orientado passar a pomada Bepantol® (hidratante multirestaurador), sendo de livre prescrição médica e será oferecida pelos pesquisadores. Também antes de iniciar o procedimento todos os voluntários irão responder questionário sobre as

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Sala O 314 E
 Bairro: centro CEP: 37.130-001
 UF: MG Município: ALFENAS
 Telefone: (35)3701-9153 Fax: (35)3701-9153 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS - UNIFAL



Continuação do Parecer: 6.886.383

contraindicações para o uso deste método e assim não participarão. Após a realização dos exercícios, os voluntários podem sentir desconforto muscular que será minimizado com a orientação para executar menos repetições no próximo atendimento e será orientado a colocar bolsa de água quente no local da dor muscular e orientação de alongamento.

CEP:

- a. os riscos de execução do projeto são bem avaliados, realmente necessários ou evitáveis e estão bem descritos no projeto;
- b. os benefícios oriundos da execução do projeto justificam os riscos corridos;
- c. o pesquisador apresentou uma correta ação para cada risco descrito, sendo:

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

MÉTODO da pesquisa:

- está adequado aos objetivos do projeto;
- é atualizado;
- apresenta os critérios de participação adequados.
- apresenta descrição clara do desenho e metodologia do projeto.
- apresenta relevância social, científica e pertinência do estudo proposto;
- informa o local de realização da pesquisa e a população a ser estudada;
- a descrição dos procedimentos do estudo/de coleta de dados é suficiente;
- apresenta condições de desenvolvimento para a pesquisa incluindo a infraestrutura necessária.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

- a. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE): presente e adequado;
- b. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do Responsável Legal (TCLE): não se aplica;
- c. Termo de Assentimento Esclarecido (TAE): não se aplica;
- d. Termo de Compromisso para Utilização de Dados e Prontuários (TCUD) da Santa casa de Alfenas: presente e adequado;
- e. Termo de Compromisso para Utilização de Dados e Prontuários (TCUD) das unidades básicas de saúde: presente e adequado;
- f. Termo de Anuência Institucional (TAI) da Santa casa de Alfenas: presente e adequado;

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Sala O 314 E
 Bairro: centro CEP: 37.130-001
 UF: MG Município: ALFENAS
 Telefone: (35)3701-9153 Fax: (35)3701-9153 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS - UNIFAL**



Continuação do Parecer: 6.886.383

- g. Termo de Anuência Institucional (TAI) das unidades básicas de saúde: presente e adequado;
- h. Termo de Anuência Institucional (TAI) da Clínica e Fisioterapia da UNIFAL: presente e adequado;
- i. Declaração de responsabilidade do pesquisador responsável: presente e adequado;
- j. Folha de rosto: presente e adequado;
- k. Projeto de pesquisa completo e detalhado: presente e adequado;
- l. Projeto de informações básicas: presente e adequado;
- m. Termo de Solicitação de Dispensa de TCLE (quando necessário): não se aplica.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Recomenda-se aprovação.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2316421.pdf	20/05/2024 16:13:04		Aceito
Outros	Carta_Resposta_Pendencia_CEP_UNIFAL.pdf	20/05/2024 16:11:22	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_20_05_2024.pdf	20/05/2024 16:10:57	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_20_05_2024.pdf	20/05/2024 16:10:40	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Outros	Declaracao_Compromissoassinado.pdf	10/05/2024 15:59:21	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Outros	termo_fisio.pdf	17/04/2024 15:19:28	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Outros	TCUD_hospital.pdf	12/04/2024	ANDREIA MARIA	Aceito

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Sala O 314 E
 Bairro: centro CEP: 37.130-001
 UF: MG Município: ALFENAS
 Telefone: (35)3701-9153 Fax: (35)3701-9153 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS - UNIFAL



Continuação do Parecer: 6.886.383

Outros	TCUD_hospital.pdf	15:55:37	SILVA VILELA TERRA	Aceito
Outros	TAI_Hospital.pdf	12/04/2024 15:54:54	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Outros	TCUD_prefeitura_assinado.pdf	07/04/2024 15:29:48	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	TAI_prefeitura_assinado.pdf	07/04/2024 15:28:59	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	2024_TAI_ICM_assinado.pdf	07/04/2024 15:00:45	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_assinado_assinado.pdf	07/04/2024 14:58:52	ANDREIA MARIA SILVA VILELA TERRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

ALFENAS, 13 de Junho de 2024

Assinado por:
Neidimila Aparecida Silveira
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Sala O 314 E
 Bairro: centro CEP: 37.130-001
 UF: MG Município: ALFENAS
 Telefone: (35)3701-9153 Fax: (35)3701-9153 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br