

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UniEVANGÉLICA
Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação (PPGMHR)

EFEITOS AGUDOS E CRÔNICOS DA APLICAÇÃO DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO PULSADO (PEMF) SOBRE AS VARIÁVEIS HEMODINÂMICAS, CARDIOVASCULAR E SUBJETIVA DE DOR EM IDOSOS NORMOTENSOS: UM ESTUDO LONGITUDINAL, NÃO RANDOMIZADO E CONTROLADO

TEMISTOCLIS ALAÍÃ PEREIRA DA SILVA

Anápolis – GO
2025

TEMISTOCLIS ALAIÃ PEREIRA DA SILVA

EFEITOS AGUDOS E CRÔNICOS DA APLICAÇÃO DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO PULSADO (PEMF) SOBRE AS VARIÁVEIS HEMODINÂMICAS, CARDIOVASCULAR E SUBJETIVA DE DOR EM IDOSOS NORMOTENSOS: UM ESTUDO LONGITUDINAL, NÃO RANDOMIZADO E CONTROLADO

Defesa de mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Movimento Humano e Reabilitação pelo Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA

Orientador: Prof. Dr. Alberto de Souza Sá Filho

Anápolis – GO

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S658

Silva, Temistoclis Alaiã Pereira da.

Efeitos agudos e crônicos da aplicação do campo eletromagnético pulsado (PEMF) sobre as variáveis hemodinâmicas, cardiovascular e subjetiva de dor em idosos normotensos: um estudo longitudinal, não randomizado e controlado / Temistoclis Alaiã Pereira da Silva – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2025. 46 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Alberto de Souza Sá Filho.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação – Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2025.

1. Campo eletromagnético pulsado 2. Idosos 3. Pressão arterial
4. Frequência cardíaca 5. Dor 6. Hemodinâmica
I. Sá Filho, Alberto de Souza II. Título.

CDU 615.8

Catálogo na Fonte
Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038

FOLHA DE APROVAÇÃO


EFEITOS AGUDOS E CRÔNICOS DA APLICAÇÃO DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO PULSADO (PEMF) SOBRE AS VARIÁVEIS HEMODINÂMICAS, CARDIOVASCULAR E SUBJETIVA DE DOR EM IDOSOS NORMOTENSOS: UM ESTUDO LONGITUDINAL, NÃO RANDOMIZADO E CONTROLADO
TEMISTOCLIS ALAIÃ PEREIRA DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Movimento Humano e Reabilitação -PPGMHR da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de **MESTRE**.


Aprovado em 16 de julho de 2025.

Linha de Pesquisa: Efeitos Agudos e Crônicos do Exercício (BMH)


Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ALBERTO SOUZA DE SA FILHO**
Data: 08/09/2025 13:34:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alberto Souza de Sá Filho

Documento assinado digitalmente
 **IRANSE OLIVEIRA SILVA**
Data: 16/07/2025 15:22:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Iransé Oliveira Silva

Documento assinado digitalmente
 **SERGIO EDUARDO DE CARVALHO MACHADO**
Data: 16/07/2025 15:56:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sérgio Eduardo de Carvalho Machado

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| PEMF | Campo eletromagnético pulsado |
| DCNT | Doenças Crônicas Não Transmissíveis |
| NO | Óxido Nítrico |
| PAS | Pressão Arterial Sistólica |
| PAD | Pressão Arterial Diastólica |
| FC | Frequência Cardíaca |
| EVA | Escala Visual Analógica |
| HZ | Hertz |
| Kg | Quilogramas |
| SUB | Submáximas |
| SUPRA | Supramáximas |
| DP | Desvio Padrão |
| IMC | Índice de Massa Corporal |
| IC95% | Intervalo de Confiança de 95% |
| ANOVA | Análise de Variância |
| mmHg | Milímetros de Mercúrio |
| BPM | Batimentos Por Minuto |
| CON | Controle |
| VFC | Variabilidade de Frequência Cardíaca |
| FMD | Vasodilatação Mediada pelo Fluxo |
| VEGF | Fator de Crescimento Endotelial Vascular |
| HPE | Hipotensão Pós-exercício |
| eNOS | Óxido Nítrico Sintase Endotelial |
| SNA | Sistema Nervoso Autônomo |
| VLF | |

CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

Com um aumento progressivo das doenças crônicas cardiovasculares, muito tem-se pensado em novas estratégias para minimizar o aumento de casos na população, tendo em vista que a recomendação principal, que por muitos anos, tem sido a prática de exercício físico, ainda assim uma parte da população demonstra certas limitações para se envolver em atividades sistematizadas, principalmente ao público idoso. Diante desse contexto o campo eletromagnético pulsado (PEMF) surge como uma nova abordagem não farmacológica com o potencial de gerar respostas hemodinâmicas e na frequência cardíaca promissoras, induzindo efeito hipotensor e diminuição da frequência cardíaca em repouso de forma aguda e crônica. Os estudos nesse trabalho exploram o assunto visando analisar os efeitos do PEMF sobre as variáveis hemodinâmicas, cardiovasculares e subjetiva de dor em idosos.

No Artigo 1, foi conduzido um estudo crônico controlado para verificar o impacto do PEMF nas respostas pressóricas, frequência cardíaca e percepção de dor, agudo e crônico, em idosos normotensos que foram submetidos a 8 sessões de intervenção no campo eletromagnético pulsado. Os participantes eram submetidos a 30 minutos de ondas eletromagnéticas com os manípulos geradores de potência posicionados nos músculos vastos laterais e panturrilhas de ambas as pernas. Os resultados demonstram que de forma aguda obtém-se redução significativa da frequência cardíaca e na percepção de dor, sem muitas mudanças na pressão arterial sistólica e diastólica. Com relação aos efeitos crônicos, o PEMF apresentou redução significativa sobre os escores de percepção de dor ao longo do tempo, mas sem mudanças significativas nas demais variáveis, sugerindo que a exposição ao PEMF necessite de um período maior e com mais frequências semanais para expressar respostas crônicas hemodinâmicas e cardiovasculares.

Já o Artigo 2 ampliou essa investigação com um estudo de revisão integrativa de estudos clínicos randomizados, estudos agudos e revisões sistemáticas que tratassem os efeitos do PEMF na regulação hemodinâmica, respostas autonômicas e pressão arterial. A pesquisa mostrou que o PEMF pode promover reduções significativas na pressão arterial sistólica, melhora da vasodilatação mediada pelo

fluxo, efeito gerado pelo aumento do óxido nítrico, e aumento da variabilidade da frequência cardíaca devido a redução da atividade simpática. Assim chegando ao entendimento que o PEMF demonstra repostas positivas sobre a regulação da pressão arterial, o que pode repercutir em respostas hipotensivas sustentada.

Juntas, esses estudos contribuem para o entendimento dos efeitos do campo eletromagnético pulsado nas variáveis hemodinâmicas, cardiovascular e subjetiva de dor em idosos normotensos, levando a novas pesquisas que possam aprofundar ainda mais a aplicabilidade dessa tecnologia em abordagem clinicas e de reabilitação.

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação tem origem em um projeto de extensão, no qual foi realizada a coleta contínua de dados com foco na avaliação de diferentes parâmetros de respostas cardíacas, com ênfase especial nas respostas hemodinâmicas e cardiovasculares. A partir dessas análises, desenvolveu-se o primeiro estudo que compõe esta dissertação, intitulado: “Efeitos do Campo Eletromagnético Pulsado (PEMF) sobre a Resposta Pressórica, Frequência Cardíaca e Percepção de Dor em Idosos Normotensos: Um Estudo Crônico Controlado”, o qual será submetido ao periódico Hypertension. De forma complementar, e em concordância com a temática inicial, foi elaborado um segundo trabalho intitulado: “Efeitos do Campo Eletromagnético Pulsado (PEMF) sobre a Regulação da Pressão Arterial, Autonômica e seu Potencial Efeito Hipotensor: Uma Revisão Integrativa”, que foi devidamente publicado no periódico Nacional Manual Therapy and Posturology.

ARTIGO 1

Efeitos do Campo Eletromagnético Pulsado (PEMF) sobre a Resposta Pressórica, Frequência Cardíaca e Percepção de Dor em Idosos Normotensos: Um Estudo Crônico Controlado

Resumo

Introdução: O campo eletromagnético pulsado (PEMF) tem sido proposto como uma estratégia não invasiva e de baixo impacto para promover benefícios fisiológicos em populações com limitações funcionais, especialmente idosos sedentários. Contudo, seus efeitos adaptativos para hemodinâmica, cardiovascular e sobre a percepção de dor ainda não estão esclarecidos. **Objetivo:** Investigar os efeitos agudos e de 4 semanas da aplicação do PEMF sobre a pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD), frequência cardíaca de repouso (FC) e percepção subjetiva de dor (Escala Visual Analógica – EVA) em idosos sedentários. **Métodos:** Foram recrutados 70 idosos de ambos os sexos, mas participaram do estudo apenas 50 idosos. Os participantes foram divididos em dois grupos (PEMF [20 idosos – 71,8±4,2 anos] e controle [30 idosos – 70,8±6,2 anos]). As variáveis PAS, PAD, FC e EVA foram avaliadas em momentos pré e pós uma sessão aguda, e após oito sessões de intervenção com PEMF. PEMF foi aplicado por 30 min a 4Hz de frequência pulsátil (4 seg), 40Hz de frequência tetânica (4 seg) e uma densidade de fluxo progressiva (40-45% até 75% de 7500 teslas) ao longo das sessões. **Resultados:** Na análise aguda, observou-se redução significativa da FC ($p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,203$) e da EVA ($p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,214$) no grupo PEMF, mas não para a PAS ($p = 0,355$; $\eta^2_p = 0,016$) e a PAD ($p = 0,777$; $\eta^2_p = 0,001$). O grupo controle não se alterou. Na análise crônica, a PAS ($p = 0,618$; $\eta^2_p = 0,005$) e PAD ($p = 0,593$; $\eta^2_p = 0,005$) permaneceram estáveis ao longo das oito sessões, assim como, a FC ($p = 0,843$; $\eta^2_p = 0,001$). No entanto, os escores da EVA apresentaram redução significativa ao longo do tempo ($p = 0,001$; $\eta^2_p = 0,161$), diferindo entre grupos ($p = 0,010$; $\eta^2_p = 0,115$). **Conclusão:** PEMF foi eficaz em reduzir a FC de repouso e os escores de dor em idosos sedentários, imediatamente após uma sessão, sem efeitos sobre as variáveis hemodinâmicas. Entretanto, cronicamente, apenas a redução sustentada da dor foi observada a partir da quarta sessão de intervenção, sem alterações significativas nas variáveis hemodinâmicas e cardiovascular. O PEMF pode representar uma alternativa viável para melhora do conforto físico em populações com baixa aptidão funcional.

Palavras-chave: campo eletromagnético pulsado, idosos, pressão arterial, frequência cardíaca, dor, hemodinâmica.

ARTICLE 1

Effects of Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) on Blood Pressure Response, Heart Rate and Pain Perception in Normotensive Elderly: A Chronic Controlled Study

Abstract

Introduction: Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) therapy has been proposed as a non-invasive and low-impact strategy to promote physiological benefits in populations with functional limitations, particularly sedentary older adults. However, its adaptive effects on hemodynamic, cardiovascular parameters, and pain perception remain unclear. **Objective:** To investigate the acute and 4-week effects of PEMF application on systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), resting heart rate (HR), and subjective pain perception (Visual Analogue Scale – VAS) in sedentary elderly individuals. **Methods:** A total of 70 elderly individuals of both sexes were recruited, of whom 50 completed the study. Participants were allocated into two groups: PEMF (20 participants; 71.8±4.2 years) and control (30 participants; 70.8±6.2 years). SBP, DBP, HR, and VAS scores were assessed at baseline and after a single acute session, as well as following eight PEMF intervention sessions. PEMF was applied for 30 minutes per session using alternating pulsatile frequency (4 Hz for 4 seconds) and tetanic frequency (40 Hz for 4 seconds), with a progressive flux density (from 40–45% to 75% of 7500 Tesla's) across sessions. **Results:** In the acute analysis, significant reductions were observed in HR ($p < 0.001$; $\eta^2_p = 0.203$) and VAS scores ($p < 0.001$; $\eta^2_p = 0.214$) in the PEMF group, with no significant changes in SBP ($p = 0.355$; $\eta^2_p = 0.016$) or DBP ($p = 0.777$; $\eta^2_p = 0.001$). No changes were observed in the control group. In the chronic analysis, SBP ($p = 0.618$; $\eta^2_p = 0.005$), DBP ($p = 0.593$; $\eta^2_p = 0.005$), and HR ($p = 0.843$; $\eta^2_p = 0.001$) remained stable over the eight sessions. However, VAS scores significantly decreased over time ($p = 0.001$; $\eta^2_p = 0.161$), with a significant difference between groups ($p = 0.010$; $\eta^2_p = 0.115$). **Conclusion:** PEMF effectively reduced resting HR and pain perception scores in sedentary elderly individuals immediately after a single session, with no significant effects on hemodynamic variables. Over the course of the intervention, only sustained reductions in pain were observed from the fourth session onwards, without significant changes in hemodynamic or cardiovascular variables. PEMF may represent a viable alternative to enhance physical comfort in populations with low functional fitness.

Keywords: pulsed electromagnetic field, elderly, blood pressure, heart rate, pain, hemodynamics.

INTRODUÇÃO

A prática regular de exercício físico desempenha um papel fundamental na melhoria dos fatores de risco associados às doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) [1-3], por conseguinte, ajustes positivos de parâmetros hemodinâmicos e cardiovasculares [1,2,4]. Entretanto, apenas uma pequena parcela da população consegue engajar regularmente em programas de treinamento aeróbio ou contraresistência [5]. Além disso, fatores como limitações físicas, condições de saúde específicas, restrições de mobilidade, tempo restrito e barreiras socioeconômicas podem tornar difícil ou impossível para certos indivíduos se envolverem em programas de exercícios convencionais [6].

Nesse contexto, a terapia de campo eletromagnético pulsado (PEMF) emerge como uma alternativa promissora [7-11]. O PEMF utiliza campos magnéticos para estimular as células do tecido muscular a diferentes magnitudes de contrações e promover uma variedade de efeitos fisiológicos, incluindo a melhoria da circulação sanguínea [9,12,13], força muscular [8] e a regulação do sistema nervoso autônomo. Ao fornecer uma abordagem não invasiva e de baixo impacto, o PEMF pode oferecer, de sobremaneira, uma forma acessível e eficaz para tratar pessoas com limitações físicas, principalmente a população idosa, ajudando assim suprimir a principal DCNT e melhorar a saúde cardiovascular [14,15].

Em um dos únicos estudos específicos da área, Stewart et al. [16] investigaram os efeitos de 12 semanas de terapia com campo eletromagnético pulsado (PEMF) sobre a função vascular periférica, a pressão arterial e os níveis de óxido nítrico (NO) em indivíduos hipertensos. Os resultados mostraram melhorias significativas na dilatação fluxo mediada absoluta e normalizada no grupo PEMF ($p = 0,05$ e $p = 0,04$, respectivamente), além de reduções na pressão arterial sistólica (PAS), diastólica (PAD) e média ($p = 0,04$, $p = 0,04$ e $p = 0,03$, respectivamente). Não foram observadas alterações significativas nos níveis de NO em nenhum dos grupos. Esses achados sugerem que a aplicação crônica de PEMF pode melhorar a função vascular e reduzir a pressão arterial em indivíduos hipertensos, embora os mecanismos fisiológicos subjacentes ainda precisem ser mais bem esclarecidos.

Apesar deste entendimento, por ser um procedimento ainda pouco difundido, é importante destacar que existem lacunas significativa no que tange a utilização de PEMF como método de intervenção. Pesquisas e ensaios clínicos que abordam

especificamente o uso da terapia de campo PEMF ainda carecem de base de sustentação [13-17]. Portanto, este estudo torna-se crucial para compreendermos a magnitude e o comportamento das respostas agudas e crônicas da intervenção por PEMF sobre PAS, PAD, assim como, potenciais adaptativos da FC frente a oito sessões de contração muscular induzida por pulso eletromagnético. Adicionalmente, por se tratar de idosos, análise da percepção da dor foi também adicionada a investigação. Acreditamos que haverá alterações agudas significativas sobre a PAS/PAD, FC, bem como, sobre o nível de dor percebido. Cronicamente, as oito sessões não serão capazes de efetivamente sustentar a pressão arterial reduzida, porém, haverá modificações significativas sobre a FC de repouso e nível de dor.

MÉTODOS

Abordagem Experimental

O presente estudo utilizou como referência os pressupostos descritos pelo ICMJE e respeitou os itens propostos nas diretrizes do CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials). O estudo trata-se de uma intervenção crônica de oito sessões, controlada e não randomizada. A abordagem experimental foi realizada conforme os pressupostos éticos em pesquisa com seres humanos conforme a resolução 466/2012 do Conselho Nacional da Saúde. O presente trabalho foi aceito pelo comitê de ética em pesquisa sob o número: (nº 5.51.2023). A coleta de dados ocorreu ao longo de 2024 e no primeiro semestre de 2025.

Amostra

Foram convidados a participar deste estudo, 60 participantes maior que 65 anos e de ambos os sexos. Estes foram convidados e incluídos a participar do estudo via chamadas e propagandas realizadas durante o primeiro e segundo semestre de 2024, e no primeiro semestre de 2025. Como critério de inclusão, os idosos deveriam ser classificados como fisicamente inativos, sem a prática recorrente de exercícios físicos, não-fumantes e sem o diagnóstico de hipertensão. Como critérios de exclusão, foram excluídos os participantes que fizessem uso de substâncias psicotrópicas. Além disso, os participantes que tiveram algum tipo de lesão prévia recorrente também serão eliminados da amostra. Todos antecipadamente concordaram com os procedimentos e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

Para o cálculo do tamanho amostral, foi utilizado o software G*Power (versão 3.1) [18]. A análise foi baseada em um teste F do tipo ANOVA para medidas repetidas, com interação dentro-entre os fatores (within-between interaction), considerando dois grupos e duas medidas ao longo do tempo. Foram adotados os seguintes parâmetros para o cálculo: efeito esperado de tamanho médio ($f = 0,25$), nível de significância (α) de 0,05 e poder estatístico ($1-\beta$) de 0,95, valores que garantem uma probabilidade de 95% de detectar um efeito verdadeiro. Assumiu-se uma correlação moderada entre medidas repetidas ($r = 0,5$) e correção de esfericidade (ϵ) igual a 1, o que indica que a suposição de esfericidade foi plenamente atendida.

Com base nesses critérios, o cálculo gerou um parâmetro de não-centralidade (λ) de 13,5, um valor crítico de F de 4,0266, com 1 grau de liberdade no numerador e 52 no denominador. O tamanho total da amostra necessário para atingir o poder desejado foi de 54 participantes, resultando em um poder estatístico real de 0,9501, confirmando a adequação do delineamento proposto para detectar efeitos de magnitude moderada com elevada confiabilidade.

Desenho do Estudo

Os participantes foram convidados a integrar de um projeto de extensão a partir de uma chamada pública em uma universidade localizada no centro-oeste do Brasil. A chamada pública ocorreu em duas fases: a) seleção para intervenção com PEMF (30 vagas), ocorrida em 2024; b) seleção para participação do experimento como controle (30 vagas), ocorrido em 2025.

No experimento agudo, os participantes apenas vieram ao laboratório por duas visitas. Na primeira visita, após assinatura do TCLE, o baseline para as medidas de PAS, PAD, FC de repouso e escala EVA foram estabelecidos para ambos os grupos (PEMF e controle). Uma familiarização foi também realizada nesta primeira visita (apenas para o grupo PEMF). O grupo controle participou de uma sessão de aconselhamento sobre saúde. Na segunda visita, os participantes do grupo experimental realizaram uma sessão de PEMF por 30 min a uma densidade de fluxo de 40-45%, com frequência submáxima de 4Hz e tetânica de 40Hz, por 4 segundos cada.

Posteriormente, os participantes deram seguimento ao experimento crônico, realizando oito sessões de intervenção de contração muscular com PEMF ao longo de 4 semanas (2 sessões por semana). O tempo máximo de intervenção com PEMF

por sessão foi de 30 min para todos os participantes. A progressão de densidade de fluxo durante as oito sessões é descrita na sessão de procedimentos.

Para ambos os experimentos os manípulos foram posicionados sobre ambas as coxas (vastos laterais) e pernas (gastrocnêmio). Ao final das sessões experimentais, uma nova análise hemodinâmica e cardiovascular, bem como, para escores da escala EVA foram realizados. O grupo controle retornou após 4 semanas para uma reavaliação.

Variáveis de Desfecho

As variáveis de desfecho primário do presente estudo foram a pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD), mensuradas com o objetivo de avaliar os efeitos hemodinâmicos e agudos e crônicos decorrentes da aplicação de PEMF. Estas variáveis foram analisadas em dois momentos: imediatamente antes e após a intervenção aguda (sessão única) e antes e após o ciclo completo da intervenção crônica (oito sessões). Como desfecho secundário, foi utilizada a frequência cardíaca de repouso (FC) e Escala Visual Analógica (EVA) para mensurar a percepção subjetiva de dor. A FC e EVA foram aplicadas nas mesmas condições temporais das demais variáveis (pré e pós sessão aguda; antes e após o ciclo crônico.

Procedimentos

Caracterização e Bioimpedância

Utilizou-se para análise da composição corporal o método de bioimpedância (Thera Science), seguindo rigorosamente critérios de preparo para o teste. Estes incluíram: manutenção de um período de jejum mínimo de quatro horas antes do teste; abstenção de atividades físicas extenuantes nas 24 horas precedentes ao exame; esvaziamento da bexiga pelo menos 30 minutos antes da realização do teste; abstenção de consumo de bebidas alcoólicas nas 48 horas anteriores ao teste; suspensão de medicamentos diuréticos nos sete dias anteriores ao procedimento; e repouso em decúbito dorsal por pelo menos 5 a 10 minutos antes da execução do teste. A variável de massa de gordura (kg e %) foram obtidas e utilizadas para caracterização.

Análise de Pressão Arterial (PA)

Para realização da medida da PA, os participantes permaneceram sentado confortavelmente em um ambiente tranquilo, com o braço apoiado na altura do coração e relaxado. Um manguito apropriado foi enrolado cerca de 2 a 3 centímetros acima da dobra cubital, e um estetoscópio foi posicionado sobre a artéria braquial logo abaixo do manguito. Antes de inflar o manguito, o pulso radial foi palpado para estimar a pressão arterial sistólica inicialmente. O manguito é inflado até ultrapassar substancialmente essa estimativa, e então a desinsuflação gradual começa, enquanto os sons de Korotkoff são ouvidos com o estetoscópio. O primeiro som marca a pressão arterial sistólica, e o ponto em que os sons desaparecem indica a pressão arterial diastólica. Os valores foram registrados antes e após a intervenção com o PEMF.

Análise de FC

A FC foi monitorada através de um monitor de frequência cardíaca de pulso (Polar 810), antes e após cada sessão de PEMF. As leituras foram registradas em repouso. O comportamento da FC ao longo das oito sessões foi plotado para análise do efeito da intervenção.

Aplicação da Escala Visual Analógica (EVA)

A escala EVA foi utilizada para avaliar a intensidade da dor dos participantes. Os participantes foram instruídos a marcar em uma linha de 10 cm a intensidade da dor que sentiam, onde 0 representava "sem dor" e 10 "a pior dor imaginável". As avaliações foram realizadas antes e após cada sessão de PEMF.

Protocolo de intervenção por pulso eletromagnético (PEMF)

O equipamento em questão se trata de pulso eletromagnético portátil Supramximus (Adoxy™). O modo profissional (Professional Mode) foi selecionado devido a possibilidade de manipulação da densidade de fluxo, tempo e Hertz (Hz). O procedimento com PEMF foi realizado por 30 minutos consecutivos com quatro manípulos posicionado sobre o corpo: duas sobre a parte anterior das coxas e duas sobre panturrilhas. Uma sessão de familiarização foi realizada com os idosos participantes. Os participantes receberam os estímulos PEMF em decúbito dorsal sobre uma maca.

Foi manipulado os seguintes parâmetros: porcentagens de cargas (densidade de fluxo medidas em tesla), assim como a frequência (Hz) e a quantidade de tempo

(seg) sobre as duas condições que o aparelho oferece: submáximas (padrão pulsátil com frequência de espaçamento entre pulsos menor que 1 seg - SUB) e supramáximas (contração tetânica sustentada - SUPRA). O equipamento oferece uma carga máxima de 7500 teslas por manípulo, portanto, as intensidades percentuais foram calculadas com base neste referencial.

A programação do equipamento Supramximus (Adoxy™) foi realizada seguindo uma progressão de densidade de fluxo (medida em tesla) a cada duas sessões, onde utilizou-se 20-25% de densidade de fluxo na sessão de familiarização, progredindo-se para 40-45% nas duas primeiras sessões; 50-55% de densidade de fluxo na terceira e quarta sessão; 60-65% na quinta e sexta sessão; e 70-75% nas duas últimas sessões. A frequência SUB foi mantida em 4Hz por 4 segundos e a frequência SUPRA foi mantida em 40Hz também por 4 segundos. A Figura 1 apresenta o equipamento PEMF.



Figura 1. Apresentação do equipamento PEMF

Análise Estatística

Os pressupostos de normalidade foram atestados previamente e os dados foram descritos por média e desvio padrão (DP). Após análise preliminar, as variáveis fisiológicas hemodinâmicas (PAS e PAD), cardiovascular (FC), e escores de dor (EVA) foram apresentadas e comparadas como dados paramétricos. Um teste T de students independente foi usado para comparar as médias pré intervenção entre grupos. Uma ANOVA de medidas repetidas foi usada para comparação das variáveis dependentes (pré e pós intervenção) e o comportamento ao longo das oito sessões com PEMF. O tamanho do efeito foi determinado a partir do Eta parcial (η^2). Um valor de $p < 0,05$ foi estabelecido como parâmetro de referência. O software SPSS (versão 27.0) foi usado para analisar os dados, e o software GraphPad Prism (versão 8.0) foi utilizado para construção gráfica.

RESULTADOS

Informações Gerais - Análise Aguda

A análise da normalidade dos dados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que as variáveis PAS na condição Pré e na condição pós apresentaram distribuição normal tanto no grupo controle ($p = 0,154$; $p = 0,200$, respectivamente para PEMF e controle) quanto no grupo PEMF ($p = 0,200$; $p = 0,120$, respectivamente para PEMF e controle). O mesmo ocorreu para a variável PAD nas condições Pré e pós intervenção para o grupo controle ($p = 0,200$; $p = 0,055$, respectivamente para PEMF e controle) e no grupo PEMF ($p = 0,200$; $p = 0,076$, respectivamente para PEMF e controle).

A variável FC pré apresentou distribuição normal em ambos os grupos ($p = 0,200$; $p = 0,200$, respectivamente para PEMF e controle), assim como a variável FC pós ($p = 0,158$; $p = 0,200$, respectivamente para PEMF e controle). O mesmo ocorreu para EVA pré, que mostrou distribuição normal nos dois grupos ($p = 0,200$; $p = 0,200$, respectivamente para PEMF e controle) e EVA pós ($p = 0,097$; $p = 0,200$, respectivamente para PEMF e controle).

No total, 30 participantes iniciaram o processo de avaliação para o grupo PEMF e 40 para o grupo controle, entretanto apenas 20 concluíram os procedimentos para o grupo PEMF e 37 para o grupo controle, seguindo posteriormente para a intervenção crônica.

A comparação entre os grupos no momento basal não revelou diferenças para as principais características antropométricas dos participantes idosos. A idade média foi semelhante entre os grupos ($t = 0,744$; $p = 0,460$), assim como a estatura ($t = 0,376$; $p = 0,709$), massa corporal ($t = -1,781$; $p = 0,081$), e IMC ($t = 1,228$; $p = 0,227$). Entretanto, o conteúdo de massa de gordura (kg) apresentou diferenças entre grupos, com valores superiores no grupo controle ($t = 2,367$; $p = 0,026$). A Tabela 1 apresenta as características dos idosos participantes.

Tabela 1. Caracterização antropométrica da amostra

| Idade | Estatura | Massa Corporal | IMC | Massa de Gordura |
|--------------|-----------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| (anos) | (m) | (kg) | (kg/m ²) | (kg) |
| PEMF | | | | |

| | | | | | |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Média | 71,8 | 1,58 | 68,3 | 31,1 | 30,8 |
| IC95% | (69,8 – 73,8) | (1,56 – 1,62) | (64,1 – 72,5) | (28,5 – 33,7) | (26,1 – 35,4) |
| DP | 4,2 | 0,1 | 8,9 | 5,5 | 9,9 |
| Controle | | | | | |
| Média | 70,8 | 1,58 | 74,0 | 29,2 | 25,2* |
| IC95% | (68,7 – 72,8) | 1,55 – 1,61) | (69,0 – 79,0) | (27,4 – 31,0) | (23,5 – 26,9) |
| DP | 6,2 | 0,1 | 15,0 | 5,3 | 5,0 |

IMC = índice de massa corporal; DP = desvio padrão; IC95% = intervalo de confiança para 95%;

A comparação entre os grupos PEMF e controle no momento pré-intervenção revelou que, para a variável PAS não apresentou diferenças entre grupos ($t = -0,028$; $p = 0,977$). O mesmo padrão foi observado para a variável PAD que também não apresentou diferença significativa entre os grupos ($t = -0,688$; $p = 0,494$). Para a FC, foi observada uma diferença significativa entre os grupos ($t = 2,685$; $p = 0,010$), com o grupo PEMF apresentando maior frequência cardíaca média. Por fim, a escala EVA não apresentou diferença estatística entre os grupos antes da intervenção ($t = 0,729$; $p = 0,469$). O baseline das variáveis hemodinâmicas, cardiovasculares e escores de dor da amostra de idosos é apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Baseline das variáveis hemodinâmicas, cardiovasculares e escores de EVA da amostra ($n = 57$).

| | PAS | PAD | FC | EVA |
|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|
| | (mmHg) | | (bpm) | (u.a.) |
| PEMF | | | | |
| Média | 134,3 | 79,8 | 79,4 | 4,3 |
| IC95% | (120,2 – 148,3) | (72,8 – 87,2) | (71,9 – 86,8) | (2,7 – 5,8) |
| DP | 30,0 | 15,9 | 16,0 | 3,3 |
| Controle | | | | |
| Média | 134,5 | 82,4 | 69,3* | 3,8 |
| IC95% | (127,9 – 140,9) | (78,2 – 86,6) | (65,2 – 73,3) | (3,2 – 4,4) |
| DP | 19,5 | 12,5 | 12,1 | 1,8 |

IC95% = intervalo de confiança para 95%; DP = desvio padrão; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; EVA = escala análoga visual para dor;

Desfecho Primário – Análise Aguda

A análise dos efeitos dentro dos sujeitos para a variável PAS revelou que não houve efeito para tempo ($F_{(1,55)} = 0,871$; $p = 0,355$; $\eta^2 = 0,016$; efeito pequeno). Isso

indica que os valores de PAS não se alteraram significativamente do momento pré para o pós-intervenção, independentemente do grupo. Além disso, a interação tempo × grupo (PEMF vs. controle) também não foi estatisticamente significativa ($F_{(1,55)} = 1,634$; $p = 0,206$; $\eta^2 = 0,029$; efeito pequeno).

Da mesma forma, a análise dos efeitos dentro dos sujeitos para PAD não indicou efeito significativo do tempo ($F_{(1,55)} = 0,081$; $p = 0,777$; $\eta^2 = 0,001$; efeito muito pequeno). Além disso, a interação tempo × grupo também não foi significativa ($F_{(1,55)} = 0,027$; $p = 0,871$; $\eta^2 = 0,000$), sugerindo que não houve diferença significativa entre os grupos PEMF e controle. A Figura 2 apresenta o efeito da intervenção PEMF e controle sobre a PAS e PAD.

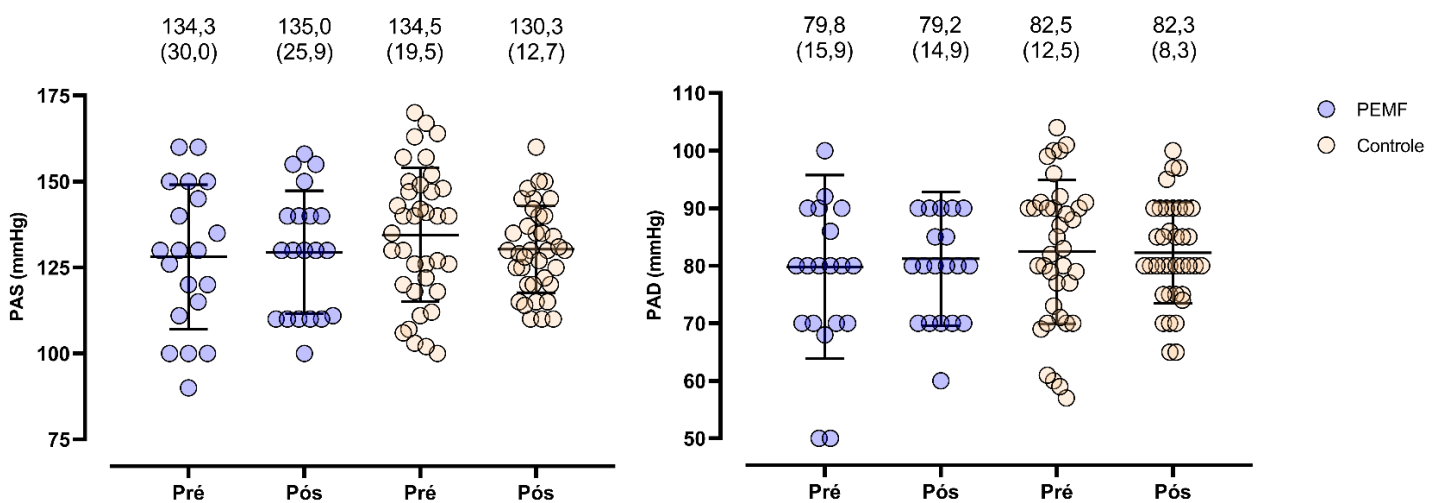


Figura 2. Efeito da intervenção PEMF e controle sobre a PAS e PAD.

Valores de pressão arterial sistólica (PAS, à esquerda) e pressão arterial diastólica (PAD, à direita) nos momentos pré e pós-intervenção para os grupos PEMF (estímulo por campo eletromagnético pulsado, em azul) e controle (em bege). Os pontos representam valores individuais; as barras verticais indicam média ± desvio padrão. Os valores numéricos apresentados no topo dos gráficos correspondem à média (DP) em cada condição.

Desfecho Secundário – Análise Aguda

A análise de variância para medidas repetidas revelou um efeito principal significativo do fator tempo sobre a FC de repouso ($F_{(1,55)} = 14,005$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,203$), indicando alteração significativa entre os momentos pré e pós-intervenção. Observou-se ainda uma interação entre tempo e grupo ($F_{(1,55)} = 15,173$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,216$), sugerindo que a magnitude da mudança ao longo do tempo diferiu entre os grupos. As comparações post-hoc com ajuste de Bonferroni demonstraram que apenas o grupo submetido à estimulação por PEMF apresentou redução significativa nos valores da FC, enquanto o grupo controle não apresentou diferença significativa

entre os momentos. A Figura 3 apresenta as alterações de FC ao longo da sessão de intervenção e controle.



Figura 3. Resposta da FC de repouso a intervenção aguda de PEMF e controle.

Valores médios de FC de repouso nos momentos pré e pós-intervenção para os grupos PEMF (campo eletromagnético pulsado) e controle (CON). Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão, com os respectivos intervalos de confiança de 95% entre parênteses.

Para a escala EVA, a análise de variância para medidas repetidas indicou um efeito principal significativo do tempo ($F_{(1,55)} = 14,951$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,214$), e interação significativa entre tempo e grupo ($F_{(1,55)} = 19,194$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,259$), sugerindo que os grupos apresentaram respostas distintas à intervenção. As análises post-hoc com ajuste de Bonferroni revelaram que apenas o grupo PEMF apresentou redução significativa nos valores da variável entre os momentos pré e pós-intervenção. A Figura 4 apresenta o comportamento pré e pós intervenção aguda para escala EVA.

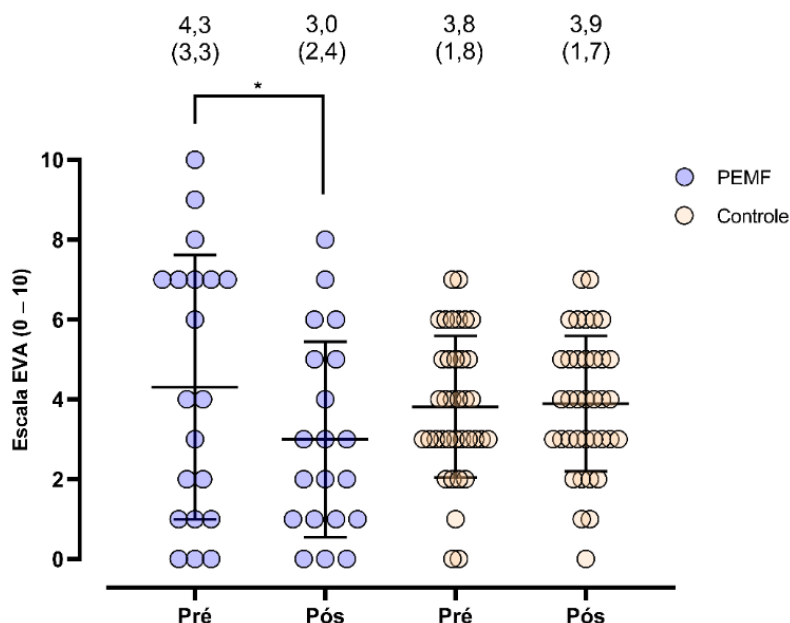


Figura 4. Comportamento dos escores da escala EVA pré e pós intervenção com PEMF e controle.

Valores da percepção subjetiva de dor mensurada pela Escala Visual Analógica (EVA; 0 –10) nos momentos pré e pós-intervenção para os grupos PEMF (campo eletromagnético pulsado) e controle. Os pontos representam os valores individuais, enquanto as barras indicam média \pm desvio padrão. Os valores numéricos no topo representam a média (DP) de cada condição.

Informações Gerais - Análise Crônica

Para a avaliação crônica, a normalidade dos dados foi determinada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, aplicado separadamente por grupo e momento. De forma geral, a maioria das variáveis apresentou distribuição normal, com exceção de algumas condições específicas, especialmente após a intervenção.

A pressão arterial sistólica (PAS) apresentou distribuição normal no momento pré-intervenção tanto no grupo PEMF ($p = 0,200$) quanto no grupo controle ($p = 0,154$), assim como, no momento pós-intervenção, no grupo PEMF ($p = 0,230$; $p = 0,160$, respectivamente para PEMF e controle). Para a pressão arterial diastólica (PAD), observou-se normalidade pré-intervenção nos dois grupos (PEMF: $p = 0,200$; controle: $p = 0,200$). No entanto, após a intervenção, apenas o grupo controle manteve a normalidade ($p = 0,200$), enquanto o grupo PEMF apresentou violação ($p < 0,001$). Apesar disso, as variáveis de desfecho primário foram tratadas de forma paramétrica.

A FC de repouso apresentou distribuição normal em todos os momentos e grupos, com valores variando entre $p = 0,193$ e $p = 0,966$, indicando que o pressuposto foi atendido em todas as condições. Para a escala EVA, observou-se normalidade pré-intervenção em ambos os grupos (PEMF: $p = 0,200$; controle: $p = 0,200$), assim como, no momento pós-intervenção ($p = 0,105$; $p = 0,092$, respectivamente para PEMF e controle).

Na comparação entre os grupos no momento pré-intervenção, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as variáveis hemodinâmicas principais (PAS: $t = -0,351$; $p = 0,727$; PAD: ($t = -0,688$; $p = 0,494$), a escala EVA ($t = 0,615$; $p = 0,544$), com exceção da FC ($t = 2,685$; $p = 0,010$).

Desfecho Primário – Análise Crônica

A análise de variância para medidas repetidas não identificou efeito significativo do fator tempo sobre a PAS ($F_{(1,55)} = 0,251$; $p = 0,618$; $\eta^2_p = 0,005$), assim como, não foi observada interação entre tempo e grupo ($F_{(1,55)} = 0,182$; $p = 0,671$; $\eta^2_p = 0,003$),

sugerindo que a evolução da variável ao longo do tempo foi semelhante entre os grupos PEMF e controle.

A análise de variância para medidas repetidas não indicou efeito significativo do fator tempo sobre a PAD ($F_{(1,55)} = 0,289$; $p = 0,593$; $\eta^2_p = 0,005$). Da mesma forma, não foi observada interação significativa entre tempo e grupo ($F_{(1,55)} = 0,368$; $p = 0,547$; $\eta^2_p = 0,007$). A Figura 5 apresenta os valores médios e desvios padrão das variáveis hemodinâmicas e cardiovasculares no repouso.

Quando comparado o comportamento da PAS nas oito sessões de intervenção com PEMF, a análise de medidas repetidas não indicou efeito significativo do fator tempo sobre a variável analisada ($F_{(7,133)} = 0,890$; $p = 0,516$; $\eta^2_p = 0,045$), mesmo após a aplicação das correções de esfericidade (Greenhouse-Geisser: $p = 0,476$). Esses resultados indicam que não houve alteração significativa da variável ao longo do tempo, independentemente do ajuste utilizado para os graus de liberdade.

Para o comportamento da PAD, a análise de medidas repetidas ao longo dos oito momentos não identificou efeito significativo do fator tempo ($F_{(7,133)} = 1,413$; $p = 0,205$; $\eta^2_p = 0,069$). Os resultados permaneceram não significativos mesmo após as correções de esfericidade aplicadas: Greenhouse-Geisser ($p = 0,236$). Conforme demonstrado na Figura 6, os valores médios de PAS e PAD permaneceram estáveis ao longo das oito sessões avaliadas, sem alterações significativas entre os momentos.

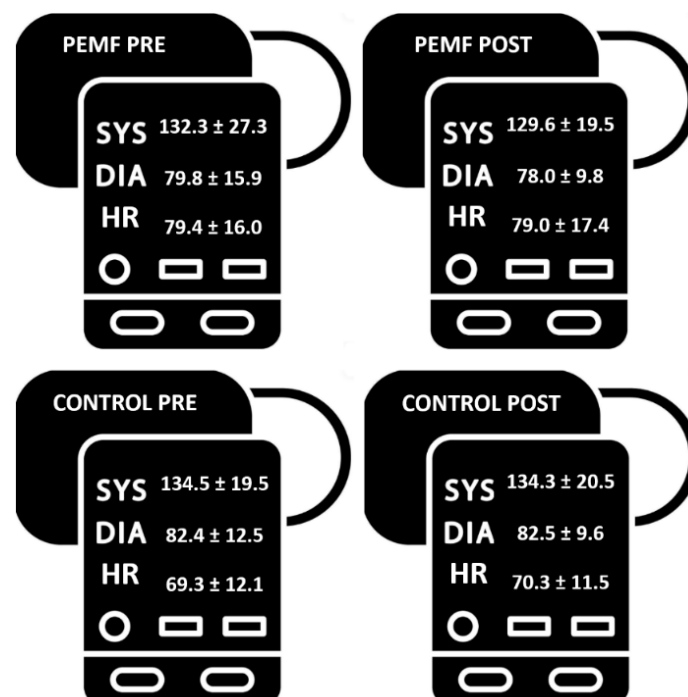


Figura 5. Respostas hemodinâmicas e cardiovasculares frente a intervenção com PEMF e Controle

Pressão arterial sistólica (SYS), pressão arterial diastólica (DIA) e frequência cardíaca (HR) — nos momentos pré e pós-intervenção, para os grupos submetidos à estimulação por campo eletromagnético pulsado (PEMF) e grupo controle.

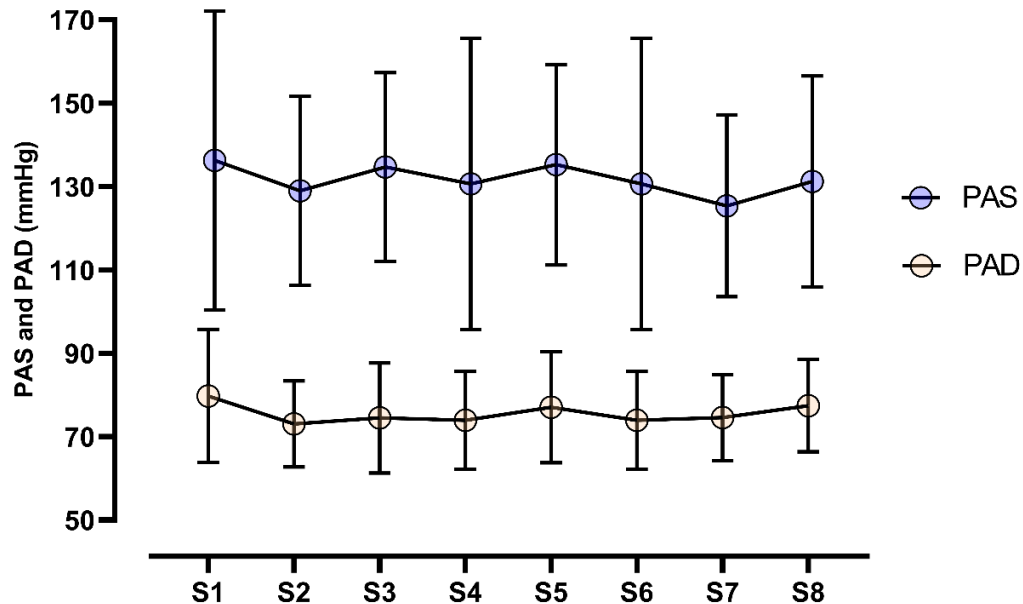


Figura 6. Comportamento das variáveis PAS e PAD ao longo de oito sessões consecutivas (S1 a S8) no grupo submetido a intervenção PEMF.

Desfechos Secundários

A análise de variância para medidas repetidas não revelou efeito significativo do fator tempo sobre a FC de repouso ($F_{(1,55)} = 0,039$; $p = 0,843$; $\eta^2_p = 0,001$), assim como, interação entre tempo e grupo ($F_{(1,55)} = 0,195$; $p = 0,661$; $\eta^2_p = 0,004$) após 8 sessões de PEMF e controle (Figura 4). Adicionalmente, o comportamento da FC ao longo das sessões não indicou efeito significativo do fator tempo ($F_{(7,133)} = 1,553$; $p = 0,155$; $\eta^2_p = 0,076$). As correções aplicadas para violação da esfericidade confirmaram a ausência de significância estatística ($p = 0,210$).

A análise de variância para medidas repetidas revelou efeito significativo do fator tempo para os escores da escala EVA ($F_{(1,55)} = 5,436$; $p = 0,023$; $\eta^2_p = 0,090$), indicando que a variável analisada sofreu alteração significativa entre os momentos pré e pós-intervenção. Além disso, observou-se uma interação significativa entre tempo e grupo ($F_{(1,55)} = 7,126$; $p = 0,010$; $\eta^2_p = 0,115$). As análises post-hoc com ajuste de Bonferroni mostraram que apenas o grupo submetido à intervenção PEMF apresentou redução significativa da variável após a intervenção (diferença média =

1,60 unidades; $p = 0,003$; IC95%: 0,57 a 2,63), enquanto o grupo controle não apresentou diferença significativa entre os momentos (diferença média = 0,11; $p = 0,777$; IC95%: -0,65 a 0,87). A Figura 7 apresenta a diferença pré e pós intervenção dos escores da escala EVA.

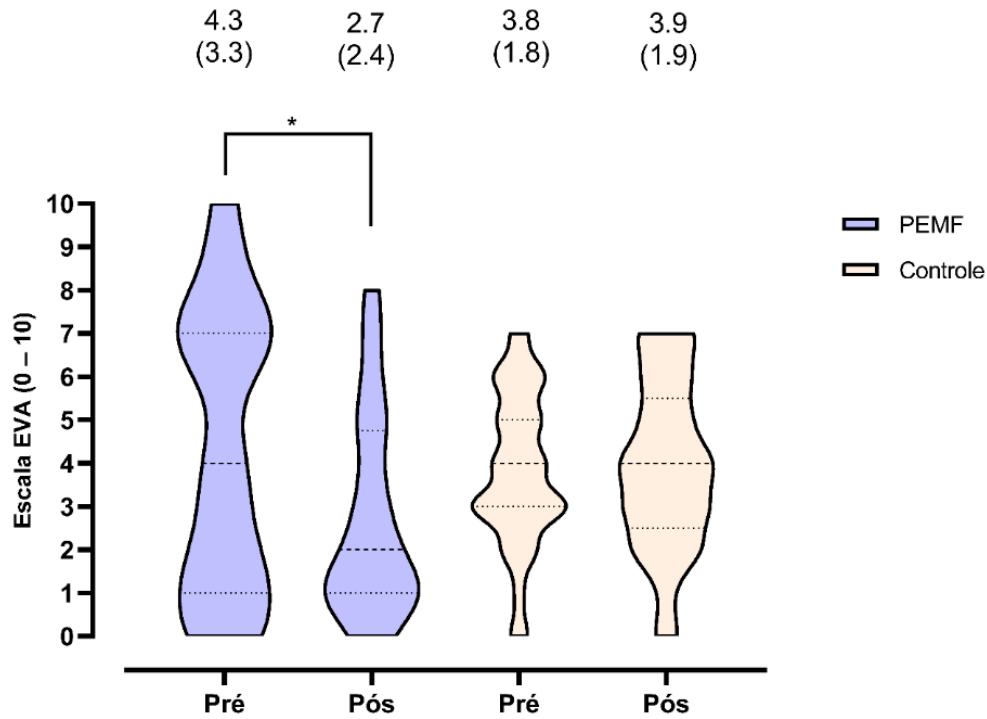


Figura 7. Escores da escala EVA pré e pós intervenção com PEMF e controle.

(*) indica diferenças significativas pós intervenção.

O comportamento da escala EVA ao longo das sessões foi analisado, apresentando efeito significativo do fator tempo ($F_{(7,133)} = 3,647$; $p = 0,001$; $\eta^2_p = 0,161$), indicando alterações significativas ao longo das avaliações. A Figura 8 apresenta o comportamento dos escores da escala EVA ao longo das oito sessões de intervenção com PEMF.

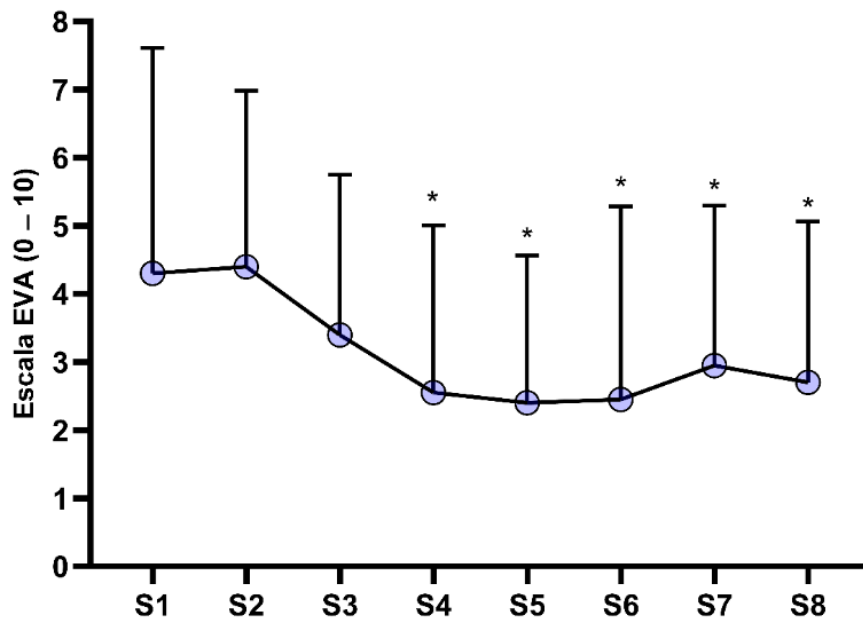


Figura 8. Comportamento dos escores da escala EVA ao longo das oito sessões (*) indica diferenças significativas para as duas primeiras sessões (S1 e S2).

DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram que a aplicação aguda de PEMF foi eficaz em promover reduções significativas na FC de repouso e nos escores de EVA em idosos sedentários. No entanto, não foram observadas alterações significativas na PAS [19] ou PAD, tanto na resposta aguda quanto ao longo das oito sessões da intervenção crônica. Esses achados permitem comparações importantes com outros estudos disponíveis na literatura.

O principal estudo utilizado como referência comparativa foi o de Rikk, Finn, Liziczai, Radak, Bori, Ihasz [20], que investigou os efeitos do PEMF em adultos mais velhos após 12 semanas de tratamento (60 sessões). Diferente do presente estudo, que utilizou oito sessões em quatro semanas, Rikk observou reduções estatisticamente significativas na PAS e na pressão de pulso, embora não tenham sido registradas mudanças significativas na PAD. Essa divergência pode ser atribuída principalmente à maior duração do protocolo e maior frequência semanal de intervenção no estudo de Rikk, o que reforça a hipótese de que adaptações hemodinâmicas mais robustas ao PEMF requerem maior tempo de exposição.

Rikk utilizou um colchão terapêutico (Impulsere Pro) com aplicação simétrica e frequência de exposição diária, divergindo com o uso de manípulos localizados duas vezes por semana no presente estudo. Essa diferença metodológica pode ter

implicado em maior estímulo sistêmico e, conseqüentemente, em maior impacto sobre a vasorreatividade periférica observada por Rikk. Ainda, a média de idade mais baixa (59,8 anos) da amostra pode ter contribuído para uma maior resposta cardiovascular.

Outro ponto relevante é que os voluntários do estudo de Rikk eram hipertensos, enquanto a amostra do presente estudo foi composta por indivíduos normotensos. Esse fator é importante, pois indivíduos hipertensos tendem a apresentar respostas hipotensoras mais significativas frente a intervenções não farmacológicas, como o PEMF, quando comparados a indivíduos com pressão arterial normal [21]. Isso pode explicar parcialmente a ausência de redução significativa da PAS e PAD no presente estudo, apesar da mesma intervenção eletromagnética.

No que tange aos efeitos sobre a dor, os achados do presente estudo corroboram os resultados reportados por Ghanbari Ghoshchi, Petroni, Piras, Marcora, Raffi [22], que apontaram os efeitos analgésicos do PEMF como um dos principais benefícios terapêuticos, especialmente em populações com dor musculoesquelética. A melhora significativa nos escores de EVA observada tanto na análise aguda quanto crônica em idosos sedentários reforça a eficácia do PEMF como recurso não invasivo e de baixo impacto para controle da dor.

Embora o presente estudo não tenha detectado modificações significativas na PAS e PAD, Smith, Wong-Gibbons, Maultsby [23] identificaram aumento agudo nos diâmetros arteriais em ratos após dois minutos de aplicação de PEMF, sugerindo um efeito vasodilatador mediado pela microcirculação, tais respostas microvasculares podem contribuir indiretamente para a melhora do conforto físico e alívio da dor, como observado nos resultados da EVA.

Do ponto de vista autonômico, Grote, Lackner, Kelzet *al.* [24] demonstraram que PEMF tem impacto agudo sobre a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), especialmente nas bandas de baixa frequência associadas à atividade simpática. Os achados do presente estudo, com redução significativa da FC após a aplicação aguda do PEMF, sugerem uma modulação parassimpática semelhante, refletindo melhora na recuperação cardiovascular pós-estímulo.

Por fim, é importante considerar que, conforme discutido por Azevedo, Oliveira e Silva, Fecchio, Brito, Forjaz [25], o exercício físico crônico tem papel estabelecido na redução da pressão arterial, principalmente através da hipotensão pós-exercício (HPE). O PEMF, por sua vez, embora neste estudo não tenha replicado os efeitos hemodinâmicos do exercício observados por Azevedo, mostrou-se eficaz na redução

da FC e da dor, sugerindo que seus mecanismos, ainda que distintos, podem atuar de forma complementar em programas de intervenção não farmacológica para idosos.

Limitações e Risco de Viés

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, o delineamento experimental, não randomizado, ainda que controlado, pode ter introduzido vieses de seleção, uma vez que a alocação dos participantes nos grupos ocorreu em momentos distintos do projeto de extensão. Essa característica pode ter contribuído para diferenças basais observadas, como na variável de frequência cardíaca de repouso. Além disso, a ausência de cegamento dos participantes e dos avaliadores pode ter influenciado as respostas, especialmente aquelas relacionadas à percepção de dor, aumentando o risco de viés de expectativa.

Adicionalmente, o tempo de intervenção crônica foi relativamente curto (quatro semanas), o que pode ter sido insuficiente para promover adaptações hemodinâmicas mais robustas. Do mesmo modo, a amostra foi composta exclusivamente por idosos sedentários sem diagnóstico de hipertensão, embora em alguns casos, os idosos tenham apresentado medidas pressóricas superiores a 140/90 mmHg, o que restringe a generalização dos achados para outras populações clínicas.

Por fim, o número de desistências no grupo experimental (10 idosos), em comparação ao grupo controle (3 idosos), pode ter impactado a análise longitudinal e reduzido o poder estatístico para detectar possíveis efeitos ao longo do tempo. Estudos futuros devem considerar estratégias de randomização, cegamento, controle do tempo de exposição e inclusão de grupos com diferentes condições clínicas para melhor compreender os efeitos do PEMF em contextos diversos.

Aplicações Práticas

Os achados do presente estudo indicam que a aplicação do PEMF pode representar uma estratégia terapêutica complementar e viável para o controle da dor em idosos sedentários, especialmente para aqueles que apresentam limitações funcionais ou não conseguem aderir a programas de exercícios convencionais. A manutenção da resposta analgésica ao longo de oito sessões reforça o uso contínuo do PEMF como abordagem de baixo risco, acessível e de fácil aplicação em contextos ambulatoriais, domiciliares ou instituições de longa permanência para idosos. Tais

evidências abrem possibilidades para a incorporação do PEMF em programas multidisciplinares de cuidado e reabilitação geriátrica.

Conclusão

A aplicação do campo eletromagnético pulsado demonstrou efeitos benéficos agudos sobre a FC de repouso e a percepção de dor em idosos sedentários. Embora não tenham sido observadas alterações significativas na pressão arterial ao longo de oito sessões, a redução sustentada da dor ao longo do tempo reforça o potencial terapêutico do PEMF como ferramenta complementar na promoção do bem-estar físico dessa população. Os resultados obtidos contribuem para o avanço do conhecimento sobre intervenções não farmacológicas e não invasivas voltadas à saúde cardiovascular e à analgesia em idosos. Estudos futuros com maior tempo de intervenção e controle rigoroso de variáveis fisiológicas são recomendados para aprofundar a compreensão dos mecanismos subjacentes e ampliar a aplicabilidade clínica da terapia PEMF.

REFERÊNCIAS

1. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, George SM, Olson RD. The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA*. **2018**;320(19):2020-2028.10.1001/jama.2018.14854
2. Cornelissen VA, Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc*. **2013**;2(1):e004473.10.1161/JAHA.112.004473
3. Izquierdo M, Merchant RA, Morley JE, Anker SD, Aprahamian I, Arai H, Aubertin-Leheudre M, Bernabei R, Cadore EL, Cesari M *et al*. International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines. *J Nutr Health Aging*. **2021**;25(7):824-853.10.1007/s12603-021-1665-8
4. Shen Y, Shi Q, Nong K, Li S, Yue J, Huang J, Dong B, Beauchamp M, Hao Q. Exercise for sarcopenia in older people: A systematic review and network meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. **2023**;14(3):1199-1211.10.1002/jcsm.13225
5. Baert V, Gorus E, Mets T, Geerts C, Bautmans I. Motivators and barriers for physical activity in the oldest old: a systematic review. *Ageing Res Rev*. **2011**;10(4):464-474.10.1016/j.arr.2011.04.001
6. Sun F, Norman IJ, While AE. Physical activity in older people: a systematic review. *BMC Public Health*. **2013**;13449.10.1186/1471-2458-13-449
7. Andrade R, Duarte H, Pereira R, Lopes I, Pereira H, Rocha R, Espregueira-Mendes J. Pulsed electromagnetic field therapy effectiveness in low back pain: A systematic review of randomized controlled trials. *Porto Biomed J*. **2016**;1(5):156-163.10.1016/j.pbj.2016.09.001
8. Leonardo PS, Cardoso KR, Silva BO, Silva RO, Silva HC, França PR, Souza BN, Moreira IL, Coelho CF, Oliveira CS *et al*. Evaluation of pulsed electromagnetic field

- therapy to improve muscle strength and functional aspects in the elderly: A pilot study. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;21:12931-7.10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
9. Leonardo PS, Cardoso KR, Vieira RP, Ruiz-Silva C, Coelho C, Martins PSL, Lopes-Martins RAB. Applications of Pulsed Electromagnetic Field Therapy in Skeletal-Muscle System: An Integrative Review. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;21:11-11.https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
 10. Mansourian M, Shanei A. Evaluation of Pulsed Electromagnetic Field Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis on Highlights of Two Decades of Research In Vitro Studies. *Biomed Res Int*. **2021**;20216647497.10.1155/2021/6647497
 11. Yang X, He H, Ye W, Perry TA, He C. Effects of Pulsed Electromagnetic Field Therapy on Pain, Stiffness, Physical Function, and Quality of Life in Patients With Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Placebo-Controlled Trials. *Phys Ther*. **2020**;100(7):1118-1131.10.1093/ptj/pzaa054
 12. Yadollahpour A, Rashidi S. Therapeutic Applications of Electromagnetic Fields in Musculoskeletal Disorders: A Review of Current Techniques and Mechanisms of Action. *Biomed Pharmacol J*. **2014**;7(1):1-20.https://dx.doi.org/10.13005/bpj/448
 13. Peng L, Fu C, Liang Z, Zhang Q, Xiong F, Chen L, He C, Wei Q. Pulsed Electromagnetic Fields Increase Angiogenesis and Improve Cardiac Function After Myocardial Ischemia in Mice. *Circ J*. **2020**;84(2):186-193.10.1253/circj.CJ-19-0758
 14. Kim CH, Wheatley-Guy CM, Stewart GM, Yeo D, Shen WK, Johnson BD. The impact of pulsed electromagnetic field therapy on blood pressure and circulating nitric oxide levels: a double blind, randomized study in subjects with metabolic syndrome. *Blood Press*. **2020**;29(1):47-54.10.1080/08037051.2019.1649591
 15. McKay JC, Prato FS, Thomas AW. A literature review: the effects of magnetic field exposure on blood flow and blood vessels in the microvasculature. *Bioelectromagnetics*. **2007**;28(2):81-98.10.1002/bem.20284
 16. Stewart GM, Wheatley-Guy CM, Johnson BD, Shen WK, Kim CH. Impact of pulsed electromagnetic field therapy on vascular function and blood pressure in hypertensive individuals. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. **2020**;22(6):1083-1089.10.1111/jch.13877
 17. Kwan RL, Wong WC, Yip SL, Chan KL, Zheng YP, Cheing GL. Pulsed electromagnetic field therapy promotes healing and microcirculation of chronic diabetic foot ulcers: a pilot study. *Adv Skin Wound Care*. **2015**;28(5):212-219.10.1097/01.ASW.0000462012.58911.53
 18. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. **2007**;39(2):175-191.10.3758/bf03193146
 19. Barbault A, Costa FP, Bottger B, Munden RF, Bomholt F, Kuster N, Pasche B. Amplitude-modulated electromagnetic fields for the treatment of cancer: discovery of tumor-specific frequencies and assessment of a novel therapeutic approach. *J Exp Clin Cancer Res*. **2009**;28(1):51.10.1186/1756-9966-28-51
 20. Rikk J, Finn KJ, Liziczai I, Radak Z, Bori Z, Ihasz F. Influence of pulsing electromagnetic field therapy on resting blood pressure in aging adults. *Electromagn Biol Med*. **2013**;32(2):165-172.10.3109/15368378.2013.776420
 21. Sosner P, Guiraud T, Gremeaux V, Arvisais D, Herpin D, Bosquet L. The ambulatory hypotensive effect of aerobic training: a reappraisal through a meta-

- analysis of selected moderators. *Scand J Med Sci Sports*. **2017**;27(3):327-341.10.1111/sms.12661
22. Ghanbari Ghoshchi S, Petroni ML, Piras A, Marcora SM, Raffi M. Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) stimulation as an adjunct to exercise: a brief review. *Front Sports Act Living*. **2024**;61471087.10.3389/fspor.2024.1471087
23. Smith TL, Wong-Gibbons D, Maultsby J. Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields. *J Orthop Res*. **2004**;22(1):80-84.10.1016/S0736-0266(03)00157-8
24. Grote V, Lackner H, Kelz C, Trapp M, Aichinger F, Puff H, Moser M. Short-term effects of pulsed electromagnetic fields after physical exercise are dependent on autonomic tone before exposure. *Eur J Appl Physiol*. **2007**;101(4):495-502.10.1007/s00421-007-0520-x
25. Azevêdo LM, Oliveira e Silva LG, Fecchio RY, Brito LCd, Forjaz CLdMJRSCEdSP. Exercício físico e pressão arterial: efeitos, mecanismos, influências e implicações na hipertensão arterial. **2019**;415-422

ARTIGO 2

Efeitos do Campo Eletromagnético Pulsado (PEMF) sobre a Regulação da Pressão Arterial, Autonômica e seu Potencial Efeito Hipotensor: Uma Revisão Integrativa

Resumo

Introdução: A regulação da pressão arterial é essencial para a saúde cardiovascular, e embora o exercício físico seja amplamente recomendado para esse fim, sua adesão pode ser limitada em populações com restrições funcionais. Nesse contexto, a terapia com Campos Eletromagnéticos Pulsados (PEMF) tem emergido como uma alternativa promissora, atuando sobre mecanismos autonômicos, vasculares e inflamatórios, com potencial efeito hipotensor tanto em repouso quanto no período pós-exercício.

Métodos: Foi realizada uma revisão integrativa nas bases PubMed, Scopus, Web of Science e Embase, utilizando descritores relacionados a PEMF, pressão arterial e hipotensão pós-exercício. Foram incluídos estudos clínicos randomizados, estudos agudos e revisões sistemáticas que abordassem os efeitos do PEMF na regulação hemodinâmica, resposta autonômica e pressão arterial. **Resultados:** Evidências indicam que o PEMF pode promover reduções significativas na pressão arterial sistólica (até -11 mmHg, $p < 0,001$), melhora da vasodilatação mediada pelo fluxo e aumento da variabilidade da frequência cardíaca. Os efeitos benéficos foram atribuídos à maior liberação de óxido nítrico, redução da atividade simpática e melhora da função endotelial. Além disso, PEMF demonstrou potencial em acelerar a recuperação autonômica pós-exercício. **Conclusão:** PEMF demonstrou respostas positivas sobre a regulação da pressão arterial, o que pode repercutir em resposta hipotensiva sustentadas. Apesar disso, essa informação ainda requer extensiva investigação. Adicionalmente, é sugerido que PEMF pode atuar na modulação vagal e a respectiva redução da atividade simpática.

Palavras-chave: Campo Eletromagnético Pulsado (PEMF); Pressão Arterial; Hipotensão Pós-Exercício; Função Endotelial; Variabilidade da Frequência Cardíaca.

ARTICLE 2

Effects of Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) Therapy on Blood Pressure Regulation, Autonomic Modulation, and Its Potential Hypotensive Effect: An Integrative Review

Abstract:

Introduction: Blood pressure regulation is essential for cardiovascular health, and although physical exercise is widely recommended for this purpose, adherence may be limited in populations with functional impairments. In this context, Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) therapy has emerged as a promising alternative, acting on autonomic, vascular, and inflammatory mechanisms, with potential hypotensive effects both at rest and in the post-exercise period. **Methods:** An integrative review was conducted using the PubMed, Scopus, Web of Science, and Embase databases, employing descriptors related to PEMF, blood pressure, and post-exercise hypotension. Randomized clinical trials, acute studies, and systematic reviews addressing the effects of PEMF on hemodynamic regulation, autonomic response, and blood pressure were included. **Results:** Evidence suggests that PEMF can induce significant reductions in systolic blood pressure (up to -11 mmHg, $p < 0.001$), enhance flow-mediated vasodilation, and increase heart rate variability. These beneficial effects have been attributed to increased nitric oxide release, reduced sympathetic activity, and improved endothelial function. Additionally, PEMF demonstrated potential in accelerating autonomic recovery following physical exertion. **Conclusion:** PEMF has shown positive effects on blood pressure regulation, potentially resulting in sustained hypotensive responses. Nonetheless, further research is required to confirm these findings. Moreover, it is suggested that PEMF may influence vagal modulation and the consequent reduction of sympathetic activity.

Keywords: Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF); Blood Pressure Regulation; Exercise-Induced Hypotension; Endothelial Function; Autonomic Nervous System

INTRODUÇÃO

A regulação da pressão arterial é um fator crítico para a saúde cardiovascular, e diversas intervenções têm sido propostas para melhorar o controle pressórico em indivíduos com hipertensão arterial e outras condições associadas. O exercício físico tem sido amplamente recomendado por diretrizes internacionais como uma estratégia eficaz para a redução da pressão arterial, uma vez que induz adaptações benéficas no sistema cardiovascular, incluindo melhora na função endotelial, aumento da disponibilidade de óxido nítrico (NO) e redução da atividade simpática [1,2]. Entretanto, a adesão ao exercício pode ser limitada em populações com restrições físicas, como idosos e indivíduos com mobilidade reduzida, tornando necessário o desenvolvimento de abordagens complementares para a regulação pressórica [3].

Dentro desse contexto, o campo eletromagnético pulsátil (PEMF) tem emergido como uma intervenção terapêutica promissora [4], com potencial para modular a hemodinâmica e reduzir a pressão arterial por mecanismos distintos dos promovidos pelo exercício. Estudos indicam que o PEMF pode atuar na regulação autonômica, promovendo um efeito hipotensor sustentado através da redução da atividade simpática e do aumento da atividade parassimpática, além de estimular a liberação de vasodilatadores endógenos, como o NO [5,6]. Meta-Análises recentes sugerem que o PEMF pode amplificar a resposta hipotensiva pós-exercício e contribuir para a redução da pressão arterial basal, o que reforça seu potencial como uma alternativa ou complemento ao exercício físico [7,8]. Adicionalmente, PEMF pode influenciar diretamente a perfusão sanguínea, a função endotelial e a resposta inflamatória, tornando-se uma alternativa viável para condições crônicas como hipertensão arterial e doenças vasculares periféricas [9,10].

Apesar dos avanços na compreensão dos efeitos do PEMF sobre a regulação hemodinâmica, ainda existem lacunas significativas na literatura quanto à magnitude e aos mecanismos específicos dessa intervenção. Estudos clínicos apresentam resultados heterogêneos, e a padronização dos protocolos de aplicação do PEMF continua sendo um desafio para sua validação clínica. Além disso, a interação entre o PEMF e outras abordagens terapêuticas, como o exercício físico, necessita de maior investigação para determinar sinergias potenciais e otimizar estratégias de intervenção para indivíduos hipertensos [11,12]. Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo revisar extensivamente a literatura sobre os efeitos do PEMF na regulação da pressão arterial e na resposta hipotensiva pós-exercício,

buscando consolidar as evidências disponíveis e identificar direções futuras para pesquisas na área.

MÉTODOS

Para a construção desta revisão, foram seguidos critérios rigorosos de busca e seleção de evidências, por dois pesquisadores independentes (A.S.F e T.A), nas principais bases de dados de periódicos, PubMed, Scopus, Web of Science e Embase, para identificar estudos relevantes publicados na língua inglesa. Os descritores empregados incluíram termos como "Pulsed Electromagnetic Fields", "Blood Pressure Regulation", "Exercise-Induced Hypotension", "Systematic Review", e "Meta-Analysis", combinados por operadores booleanos (AND, OR), as buscas foram realizadas utilizando filtros para identificar artigos exclusivos, ensaios clínicos randomizados, revisões sistemáticas e meta-análises foram priorizados para garantir a robustez das evidências.

Os critérios de inclusão envolveram estudos que avaliaram: os efeitos do PEMF na regulação hemodinâmica, na resposta hipotensiva pós-exercício e em desfechos cardiovasculares. Como critérios de exclusão, trabalhos de desenhos observacionais, relatos de caso e artigos sem revisão por pares foram inelegíveis para o constructo desta revisão. A triagem foi realizada com base na leitura dos títulos e posteriormente resumos. Atendendo aos critérios de inclusão e exclusão, os artigos selecionados foram lidos na íntegra, onde os seguintes dados foram retirados de cada trabalho: a) autores e data de publicação, b) tipo de estudo, uma vez que essa revisão se debruçou sobre estudos com designs distintos, c) randomização e controle, d) variáveis de intervenção e d) desfechos. Em caso de qualquer discordância em relação a exclusão ou inclusão de artigos um terceiro pesquisador foi consultado (P.I).

RESULTADOS

Esta revisão, identificou seis artigos considerados elegíveis para seu escopo final, onde um se trata de uma revisão sistemática [3], quatro estudos clínicos randomizados controlados [5,11,13,14], e dois estudo com análises agudas [6,15]. Os resultados assim como as características dos artigos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos principais artigos sobre PEMF e alterações cardiovasculares e hemodinâmicas.

| Autores e Ano | Tipo de Estudo | Participants | Variáveis de Intervenção | Variáveis de Desfechos e Resultados |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|--|---|
| Kim et al., 2020 | Crônico (12 semanas) | PEMF: 23 SHAM: 21 | PEMF com medições de pressão arterial e NO | NO↑ (16.5±5.6 to 22.2±12.5 μmol, p=0.04); SBP during exercise↓ (191.9±11.5 to 182.9±10.5 mmHg, p=0.04); Resting SBP↓ in hypertensive subgroup (135.8±8.1 to 130.0±5.7 mmHg, p=0.02) |
| Rikk et al., 2013 | Crônico (12 semanas) | PEMF: 42 SHAM: 12 | PEMF (60 sessões em 12 semanas); medições de pressão arterial | SBP↓ (144.8±18.7 to 133.7±9.7 mmHg, p<0.001); Pulse pressure↓ (69.1±15.0 to 59.3±25.8 mmHg, p<0.001) |
| Kwan et al., 2015 | Crônico (3 semanas) | PEMF: 7 SHAM: 6 | PEMF (12 Hz, 12 Gauss, 14 sessões de 60 min); microcirculação e cicatrização | Capillary blood velocity↑ 28% (p=0.004); Capillary diameter↑ 14% (p=0.011); Wound depth↓ (2.91±0.95 to 1.47±1.23 mm, p=0.021) |
| Stewart et al., 2020 | Crônico (12 semanas) | PEMF: 24 SHAM: 15 | PEMF (3x/dia, 12 semanas); função vascular periférica e NO | Arteriolar diameter↑ 9% after 2 min and 8.7% after 60 min (p<0.001) |
| Smith et al., 2004 | Agudo | PEMF: 15 SHAM: 11 | PEMF (localizado por 2 min e 1 h); medições de diâmetro arteriolar | SBP↓ (144±15 to 133±10 mmHg, p<0.01); DBP↓ (85±7 to 80±6 mmHg, p<0.05); MAP↓ (104±8 to 98±6 mmHg, p<0.01); FMD↑ (4.88% to 7.09%, p<0.01) |
| Grote et al., 2007 | Agudo | PEMF: 12; SHAM: 12 | PEMF (20 min) imediatamente após teste estressor de 4 min em cicloergômetro | PEMF reduziu a FC em repouso (↓ 5 bpm, p<0.05) e aumentou a variabilidade da frequência cardíaca (RMSSD↑, p<0.05) apenas em indivíduos com maior tônus parassimpático prévio |
| Pakhan et al., 2024 | Revisão Sistêmica | 8 estudos | PEMF e exercícios aeróbicos; pressão arterial e qualidade de vida | Revisão sistemática qualitativa: PEMF associado a ↓BP e ↑NO; PEMF e exercício aeróbico são eficazes na redução da pressão arterial |

Efeitos Agudos

Primeiramente, apenas um estudo analisou a repercussão da terapia PEMF sobre as respostas agudas de PA e este utilizou modelo animal para determinar seus desfechos. No estudo agudo realizado por Smith et al. (2004), os pesquisadores investigaram os efeitos imediatos da terapia com campos eletromagnéticos PEMF sobre a microcirculação em ratos, utilizando o músculo cremaster como modelo experimental. Para tanto, o procedimento consistiu na aplicação local de PEMF, utilizando um par de bobinas de Helm Holtz posicionadas acima e abaixo do músculo cremaster. As medições dos diâmetros arteriais foram realizadas in vivo, antes e após a estimulação, permitindo a avaliação dos efeitos em dois intervalos de tempo: após 2 minutos e após 60 minutos de exposição.

Os resultados demonstraram que a estimulação com PEMF produziu uma vasodilatação significativa nas arteríolas do músculo analisado. Especificamente, após 2 minutos de aplicação, observou-se um aumento de aproximadamente 9% no diâmetro dos vasos, enquanto a exposição prolongada por 60 minutos resultou em um aumento de cerca de 8,7% – ambos os resultados sendo estatisticamente significativos ($p < 0,001$). Em contraste, o grupo controle submetido a uma simulação “sham” (sem emissão do campo) não apresentou alterações significativas no diâmetro dos vasos, e não houve impacto sobre os parâmetros sistêmicos, como pressão arterial ou frequência cardíaca. Essa intervenção aguda evidencia que a aplicação local de PEMF pode induzir uma resposta vasodilatadora imediata. Entretanto, não podemos extrapolar tais resultados para humano, sugerindo cautela nesta observação.

No entanto, parece que a aplicação do PEMF está associada ao aumento imediato da vasodilatação mediada pelo fluxo (FMD) e à melhora na oxigenação tecidual. Esses efeitos são atribuídos à maior biodisponibilidade de NO, que atua como um potente vasodilatador, facilitando o relaxamento do músculo liso vascular e o aumento do fluxo sanguíneo local [5]. O impacto da terapia PEMF no sistema cardiovascular pode ocorrer predominantemente por meio da ativação de canais de cálcio dependentes de voltagem, diretamente nos sítios periféricos, que resultam no aumento da biodisponibilidade de NO local [16]. Essa regulação da vasodilatação endotelial tem sido amplamente estudada e correlacionada com melhorias significativas na função microvascular [5,11]. De acordo com Bragin, Statom [10], o aumento da microcirculação promovido pelo PEMF também desempenha um

relevante papel na redução do estresse oxidativo e na melhora da oxigenação tecidual.

Apesar da literatura ainda carecer de informação sobre a temática, algumas observações podem ser pontuadas e inferidas com base na fisiologia do exercício. Por exemplo, em um ensaio clínico transversal conduzido por Trofe, Piras, Muehsamet *al.* [17], a estimulação por PEMF aumentou significativamente a amplitude da atividade muscular em ambos os músculos durante o aquecimento e o exercício. Esse aumento na amplitude da resposta muscular está associado a um maior recrutamento de unidades motoras e a uma melhora na sincronização neural, favorecendo um padrão de ativação muscular mais eficiente [18]. Como consequência, há um aumento na demanda metabólica local, refletido por um maior consumo de oxigênio pelo músculo esquelético, o que requer uma adaptação vascular para suprir essa necessidade metabólica [19].

Esse fenômeno pode ser explicado pela relação entre recrutamento muscular e metabolismo energético, uma vez que a ativação muscular exige um aumento no fluxo sanguíneo para suprir a demanda energética e remover metabólitos acumulados durante a contração [20]. Fisiologicamente, a necessidade aumentada de oxigênio muscular desencadeia ajustes hemodinâmicos coordenados, incluindo vasodilatação local mediada por fatores metabólicos como NO, adenosina e alterações no pH local, promovendo um aumento no fluxo sanguíneo para o músculo ativo e otimizando a difusão de oxigênio para as fibras musculares [21,22].

Então, do ponto de vista da fisiologia cardiovascular, essas alterações podem reverberar diretamente na resposta pressórica [23,24]. A ativação muscular mais eficiente leva a um maior retorno venoso, aumentando o débito cardíaco [25]. Apesar do estudo de Trofe, Piras [17] não investigar diretamente as alterações pressóricas, especula-se que o efeito da terapia PEMF sobre a ativação muscular pode ter implicações não apenas no desempenho neuromuscular [26,27], mas também na resposta hemodinâmica em humanos.

Em suma, os mecanismos subjacentes aos efeitos agudos incluem a ativação de canais de cálcio dependentes de voltagem, aumentando a entrada de Ca²⁺ nas células endoteliais e, conseqüentemente, a ativação da NO sintase endotelial (eNOS), com melhora imediata na perfusão capilar e na redução da resistência vascular periférica [28].

Efeitos Crônicos

Os estudos crônicos parecem trazer achados mais relevantes no contexto da resposta pressórica. Por exemplo, Stewart, Wheatley-Guy [11] investigaram os efeitos da terapia de PEMF sobre a função vascular periférica, na pressão arterial e nos níveis de NO em indivíduos hipertensos ao longo de 12 semanas. Para isso, 30 participantes diagnosticados com hipertensão arterial sistólica superior a 130 mmHg e/ou pressão arterial média acima de 100 mmHg foram randomizados em dois grupos: um grupo submetido à terapia PEMF e um grupo controle. Antes do início da intervenção, todos os participantes foram avaliados quanto à dilatação mediada por fluxo (DMF), pressão arterial e níveis de NO. O grupo experimental utilizou um dispositivo portátil de PEMF três vezes ao dia durante todo o período do estudo, enquanto o grupo controle não recebeu nenhum tipo de intervenção ativa. Após as 12 semanas, os resultados demonstraram que PEMF promoveu melhorias significativas na função vascular periférica, evidenciadas pelo aumento da DMF e da DMF normalizada para hiperemia, indicando uma melhor resposta endotelial ao estímulo vascular. Além disso, houve uma redução significativa nos valores de pressão arterial sistólica, 150 mmHg para 135 mmHg ($p < 0,01$) e uma diminuição na pressão arterial média de 95 mmHg para 85 mmHg ($p < 0,05$), no grupo submetido à PEMF, enquanto o grupo controle não apresentou alterações nesses parâmetros. No entanto, os níveis de NO não mostraram variações significativas entre os grupos ao final do estudo, sugerindo que os efeitos benéficos da PEMF sobre a função endotelial podem estar relacionados a outros mecanismos além da via do óxido nítrico.

Com base nesses achados, parece que a aplicação repetida promove uma adaptação estrutural e funcional nos vasos sanguíneos, resultando em maior capacidade vasodilatadora e melhora do fluxo sanguíneo sistêmico. Os autores ainda concluem que a terapia PEMF pode representar uma estratégia não farmacológica promissora para melhorar a função vascular e reduzir a pressão arterial em indivíduos hipertensos. Contudo, ressaltam a necessidade de estudos adicionais para elucidar os mecanismos exatos pelos quais a PEMF influencia a regulação vascular e para confirmar seus benefícios clínicos em longo prazo.

Rikk et al. (2013), investigaram os efeitos da terapia com campos eletromagnéticos pulsados (PEMF) sobre a pressão arterial de repouso em adultos mais velhos. O ensaio clínico randomizado, duplo-cego, incluiu 54 participantes com idade média de 59,8 anos, alocados em dois grupos: PEMF ($n = 42$); controle ($n = 12$),

submetido a uma intervenção simulada (sham). A intervenção consistiu em sessões diárias de 15 minutos de exposição ao PEMF, cinco vezes por semana, durante 12 semanas, totalizando 60 sessões. O campo magnético foi gerado com emissão de ondas assimétricas de baixa frequência (33,3 pulsos/minuto) e intensidade máxima de 100 microteslas.

Ao final do protocolo, o grupo PEMF apresentou redução significativa na pressão arterial sistólica, com valores médios diminuindo de $144,8 \pm 18,7$ mmHg para $133,7 \pm 9,7$ mmHg ($p < 0,001$). Também foi observada uma queda significativa na pressão de pulso, que passou de $69,1 \pm 15,0$ mmHg para $59,3 \pm 25,8$ mmHg ($p < 0,001$). Embora a pressão arterial diastólica tenha apresentado leve redução ($75,5 \pm 10,0$ para $74,5 \pm 12,2$ mmHg), essa diferença não foi estatisticamente significativa ($p = 0,063$), assim como a redução no índice de rigidez arterial, que apresentou tendência à significância ($78,5 \pm 33,2$ para $64,2 \pm 5,1$; $p = 0,062$). Nenhuma mudança significativa foi observada no grupo sham. Esses achados indicam que a aplicação crônica de PEMF pode ser eficaz na redução da pressão arterial sistólica e da pressão de pulso em adultos mais velhos, sugerindo uma possível melhora na resistência vascular periférica, sem efeitos adversos detectáveis.

Adicionalmente, estudos como o de Kwan, Wong [13] mostraram que a terapia PEMF promove uma melhora significativa na microcirculação periférica, incluindo o aumento da velocidade do fluxo capilar e do diâmetro dos vasos, favorecendo a oxigenação tecidual. Os autores focaram nos efeitos da PEMF na microcirculação periférica, avaliando pacientes com úlceras crônicas nos pés. Após 8 semanas de aplicação, observou-se um aumento médio de 20% no diâmetro dos vasos capilares e um aumento na velocidade do fluxo capilar em 15% ($p < 0,001$). A redução significativa na inflamação local e o aumento da perfusão tecidual indicam que o PEMF pode ser utilizado como um coadjuvante eficaz em tratamentos vasculares.

Outro ponto de destaque é a redução crônica do estresse oxidativo e da inflamação vascular, fatores importantes na patogênese da hipertensão e de doenças cardiovasculares. O PEMF é capaz de modular a expressão gênica envolvida na degradação de radicais livres e na síntese de mediadores inflamatórios, contribuindo para um ambiente vascular mais saudável [28]. Adicionalmente, a capacidade de ativação de vias de sinalização intracelular, como a via do fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), que tem sido associada à angiogênese e ao

remodelamento vascular [8], fornecem subsídios para os efeitos crônicos de PEMF sobre o sistema cardiovascular.

Discussão

Este estudo explora a aplicabilidade da terapia com PEMF sobre as respostas hemodinâmicas, com ênfase na regulação da pressão arterial e nos efeitos hipotensores associados. Inicialmente, são abordados os impactos da PEMF sobre a redução da pressão arterial (efeito hipotensor), destacando sua eficácia no controle da hipertensão. Em seguida, discutem-se os efeitos dessa terapia na modulação do fluxo sanguíneo, evidenciando sua influência sobre a função vascular. Por fim, são analisadas as possíveis melhorias na variabilidade da frequência cardíaca associadas ao uso de PEMF, assim como os mecanismos fisiológicos subjacentes. A discussão contempla ainda o potencial dessa tecnologia como ferramenta não invasiva para promover adaptações cardiovasculares benéficas em populações clínicas e saudáveis.

Hipotensão Pós-Exercício

A hipotensão pós-exercício (HPE) é um fenômeno caracterizado pela redução transitória da pressão arterial após a prática de exercício físico, sendo particularmente evidente em indivíduos hipertensos e em populações idosas [1,2]. Segundo a revisão meta analíticas de Whelton, Carey [1], a magnitude da HPE varia conforme a intensidade, duração e tipo de exercício realizado, com reduções da pressão arterial sistólica entre 5 a 10 mmHg e da diastólica entre 2 a 5 mmHg, podendo persistir por até 24 horas. Observamos em nossas análises que PEMF parece induzir o aumento do influxo de Ca^{2+} nas células endoteliais e, conseqüentemente, a ativação da NO sintase endotelial (eNOS), com melhora imediata na perfusão capilar e efeito sobre a resistência vascular periférica. Sabemos que um dos principais fenômenos relacionados a resposta hipotensora pós exercício, trata-se da redução da resistência vascular periférica, associada à maior disponibilidade de NO e à recuperação autonômica retardada após o esforço físico [29]. Dessa forma, apesar de não termos uma resposta concreta, os mecanismos associados a intervenção com PEMF parecem se assemelhar ao tradicional treinamento resistido [30].

Os mecanismos fisiológicos subjacentes à HPE envolvem múltiplos sistemas, incluindo regulação autonômica, modulação endotelial e redistribuição de fluxo pós-

exercício. Durante o esforço físico, há um aumento da atividade simpática para sustentar o débito cardíaco e a perfusão muscular. Após o término do exercício, observa-se um declínio da atividade simpática e um aumento da atividade parassimpática, o que favorece a redução da pressão arterial [29].

Não obstante, a resposta hipotensiva é também mediada pelo aumento da biodisponibilidade de substâncias vasodilatadoras, como prostaglandinas e peptídeos natriuréticos, que promovem relaxamento do músculo liso vascular e redução da resistência periférica [1,2]. Pakhan et al., (2024) em sua revisão sistemática apontam que indivíduos que praticam exercícios aeróbicos regularmente apresentam maior resposta hipotensiva, sugerindo um efeito cumulativo ao longo do tempo [3].

A terapia PEMF pode potencializar os efeitos da HPE ao atuar na regulação autonômica e na função endotelial. PEMF pode amplificar a vasodilatação FMD e reduzir a resistência vascular periférica, resultando em uma resposta hipotensiva mais prolongada e estável [5,8]. Além disso, evidências sugerem que o PEMF influencia a ativação do eNOS, promovendo maior liberação de NO e otimizando a recuperação hemodinâmica pós-exercício [6,31].

A frequência cardíaca parece também ser afetada pela intervenção com PEMF, produzindo redução da carga de trabalho do miocárdio e por conseguinte, reverberando sobre a resposta pressórica de repouso. Estudos como o de Pakhan, Jawade [3] sugerem que a combinação de PEMF com exercícios aeróbicos potencializa os efeitos benéficos sobre a pressão arterial e potencialmente seu efeito hipotensor, reforçando a ideia de que a terapia pode ser um complemento eficaz a estratégias tradicionais de reabilitação cardiovascular.

Pontos e Contrapontos do Exercício e do PEMF na Resposta Hipotensiva

O exercício físico é uma das estratégias mais eficazes para a redução da pressão arterial, sendo recomendado por diretrizes internacionais para o controle da hipertensão [1]. No entanto, sua aplicação pode ser limitada pela aderência dos pacientes, presença de comorbidades e restrições físicas. Nesse sentido, o PEMF surge como uma alternativa viável, capaz de proporcionar benefícios semelhantes sem a necessidade de esforço físico ativo [11].

Por outro lado, a heterogeneidade dos protocolos de PEMF dificulta a padronização da terapia e a comparação direta com o exercício físico. Enquanto os efeitos da HPE são amplamente replicáveis e sustentados por evidências robustas,

os mecanismos específicos do PEMF sobre a regulação hemodinâmica ainda precisam ser melhor investigados para validação clínica definitiva [3,12]. Além disso, algumas revisões indicam que a resposta ao PEMF pode ser influenciada por fatores individuais, como idade, estado de saúde e parâmetros específicos de aplicação, como intensidade e frequência do campo magnético [7]. Portanto, embora tanto o exercício quanto o PEMF apresentem benefícios na redução da pressão arterial, a combinação de ambas as estratégias pode representar uma abordagem otimizada para indivíduos hipertensos, maximizando os efeitos hipotensivos e promovendo um melhor controle da pressão arterial a longo prazo.

Efeitos na Variabilidade da Frequência Cardíaca

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é uma medida não invasiva que reflete as oscilações nos intervalos entre batimentos cardíacos consecutivos, proporcionando uma avaliação da modulação do sistema nervoso autônomo (SNA) sobre o coração. Segundo Vanderlei et al. [32], uma alta VFC é indicativa de um bom equilíbrio autonômico e de mecanismos fisiológicos eficientes, enquanto uma baixa VFC pode sinalizar disfunções no SNA e maior risco de eventos cardiovasculares. Diversos estudos sugerem que a exposição ao exercício pode modular positivamente a VFC, promovendo um incremento da atividade vagal e melhorando a regulação do fluxo sanguíneo, o que pode ser benéfico para a saúde cardiovascular [33].

Nesse sentido, Grote, Lackner [6], por exemplo, investigaram os efeitos da exposição de PEMF sobre a VFC após esforço físico, com foco na modulação autonômica e no impacto da intensidade da exposição. A VFC é amplamente reconhecida como um marcador sensível a recuperação cardiovascular pós-exercício, sendo regulada pela interação dinâmica entre os componentes simpático e parassimpático. 32 homens saudáveis, foram submetidos a testes laboratoriais controlados, onde cada participante passou por quatro sessões de estresse físico padronizado, seguidas por exposição a diferentes intensidades de PEMF (0 T/s – placebo, 0,005 T/s, 0,03 T/s e 0,09 T/s).

Os resultados demonstraram que a exposição ao PEMF modulou significativamente os componentes espectrais da VFC, em especial a faixa de muito baixa frequência (VLF), um marcador fisiológico associado ao controle simpático do fluxo sanguíneo e da termorregulação. Indivíduos expostos à intensidade de 0,005 T/s apresentaram uma recuperação acelerada da VFC em comparação ao grupo placebo,

sugerindo que o PEMF em doses mais baixas pode favorecer um restabelecimento mais rápido do equilíbrio autonômico após o exercício. Além disso, os autores observaram que a resposta ao PEMF variou de acordo com o estado basal autonômico dos participantes. Indivíduos que apresentavam menor potência na faixa VLF antes da exposição demonstraram maior benefício da estimulação magnética em relação àqueles com potência VLF basal elevada, sugerindo uma interação entre a responsividade autonômica individual e os efeitos do PEMF.

Do ponto de vista prático, os achados de Grote, Lackner [6] fornecem evidências preliminares de que o PEMF pode atuar como uma ferramenta não invasiva para facilitar a recuperação autonômica após o exercício, o que pode ser particularmente relevante para populações em que a redução da sobrecarga cardiovascular seja requerida. No entanto, como trata-se de um estudo agudo, os efeitos observados foram transitórios, sugerindo que a aplicação do PEMF pode exigir um protocolo contínuo para garantir benefícios sustentáveis.

Embora este estudo tenha sido conduzido em indivíduos saudáveis, seus resultados ressaltam a necessidade de mais pesquisas para avaliar os efeitos do PEMF em populações com menor capacidade de regulação autonômica, como idosos, indivíduos com hipertensão ou aqueles em recuperação de eventos cardiovasculares. Além disso, investigações futuras devem explorar a melhor combinação de parâmetros de exposição, incluindo duração, intensidade e frequência dos estímulos, para otimizar a eficácia da terapia PEMF na modulação autonômica.

Embora os estudos sobre os efeitos do PEMF na VFC ainda sejam limitados, as evidências disponíveis apontam para seu potencial terapêutico na promoção da saúde cardiovascular [28]. A Figura 1 resume os principais efeitos relatados sobre o uso de PEMF, e possíveis modulações cardiovasculares.

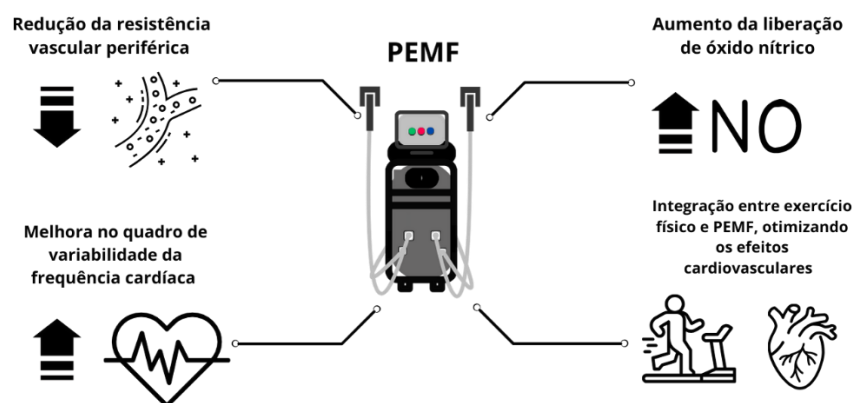


Figura 1. Principais efeitos do uso de PEMF e adaptações cardiovasculares

Conclusão

A terapia PEMF demonstrou respostas positivas sobre a regulação da pressão arterial, o que pode repercutir em resposta hipotensiva sustentadas. Apesar disso, essa informação ainda requer extensiva investigação. Adicionalmente, é sugerido que PEMF pode atuar na modulação vagal e a respectiva redução da atividade simpática.

O aumento da liberação de NO e a melhora da função endotelial, resultando em menor resistência vascular periférica e maior perfusão sanguínea são mecanismos vinculados a terapia PEMF e a potencial explicação para o efeito hipotensor.

De forma complementar, PEMF mostrou redução do estresse oxidativo e da inflamação sistêmica, podendo beneficiar indivíduos com hipertensão e doenças vasculares.

Por fim, a integração do PEMF com o exercício físico surge como uma estratégia complementar para otimizar os efeitos cardiovasculares. Entretanto, a heterogeneidade dos protocolos de aplicação ainda limita a validação clínica do PEMF.

REFERÊNCIAS

1. Whelton PK, Carey RM, Aronow WS *et al.* 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension*. **2018**;71(6):1269-1324.10.1161/HYP.0000000000000066
2. Cornelissen VA, Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc*. **2013**;2(1):e004473.10.1161/JAHA.112.004473
3. Pakhan AA, Jawade S, Boob MA, Somaiya KJ. Impact of Pulsed Electromagnetic Field Therapy and Aerobic Exercise on Patients Suffering With Hypertension: A Systematic Review. *Cureus*. **2024**;16(3):e56414.10.7759/cureus.56414
4. Leonardo PS, Cardoso KRdS, Vieira RdP *et al.* Applications of Pulsed Electromagnetic Field Therapy in Skeletal-Muscle System: An Integrative Review. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;211-11.10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
5. Kim CH, Wheatley-Guy CM, Stewart GM, Yeo D, Shen WK, Johnson BD. The impact of pulsed electromagnetic field therapy on blood pressure and circulating nitric oxide levels: a double blind, randomized study in subjects with metabolic syndrome. *Blood Press*. **2020**;29(1):47-54.10.1080/08037051.2019.1649591
6. Grote V, Lackner H, Kelz C *et al.* Short-term effects of pulsed electromagnetic fields after physical exercise are dependent on autonomic tone before exposure. *Eur J Appl Physiol*. **2007**;101(4):495-502.10.1007/s00421-007-0520-x
7. Mansourian M, Shanei A. Evaluation of Pulsed Electromagnetic Field Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis on Highlights of Two Decades of Research In Vitro Studies. *Biomed Res Int*. **2021**;20216647497.10.1155/2021/6647497

8. Peng L, Fu C, Liang Z *et al.* Pulsed Electromagnetic Fields Increase Angiogenesis and Improve Cardiac Function After Myocardial Ischemia in Mice. *Circ J.* **2020**;84(2):186-193.10.1253/circj.CJ-19-0758
9. McKay JC, Prato FS, Thomas AW. A literature review: the effects of magnetic field exposure on blood flow and blood vessels in the microvasculature. *Bioelectromagnetics.* **2007**;28(2):81-98.10.1002/bem.20284
10. Bragin DE, Statom GL, Hagberg S, Nemoto EM. Increases in microvascular perfusion and tissue oxygenation via pulsed electromagnetic fields in the healthy rat brain. *J Neurosurg.* **2015**;122(5):1239-1247.10.3171/2014.8.JNS132083
11. Stewart GM, Wheatley-Guy CM, Johnson BD, Shen WK, Kim CH. Impact of pulsed electromagnetic field therapy on vascular function and blood pressure in hypertensive individuals. *J Clin Hypertens (Greenwich).* **2020**;22(6):1083-1089.10.1111/jch.13877
12. Wade B. A Review of Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) Mechanisms at a Cellular Level: A Rationale for Clinical Use. *American Journal of Health Research.* **2013**;1(3).10.11648/j.ajhr.20130103.13
13. Kwan RL, Wong WC, Yip SL, Chan KL, Zheng YP, Cheing GL. Pulsed electromagnetic field therapy promotes healing and microcirculation of chronic diabetic foot ulcers: a pilot study. *Adv Skin Wound Care.* **2015**;28(5):212-219.10.1097/01.ASW.0000462012.58911.53
14. Rikk J, Finn KJ, Liziczai I, Radak Z, Bori Z, Ihasz F. Influence of pulsing electromagnetic field therapy on resting blood pressure in aging adults. *Electromagn Biol Med.* **2013**;32(2):165-172.10.3109/15368378.2013.776420
15. Smith TL, Wong-Gibbons D, Maulsby J. Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields. *J Orthop Res.* **2004**;22(1):80-84.10.1016/S0736-0266(03)00157-8
16. Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J Cell Mol Med.* **2013**;17(8):958-965.10.1111/jcmm.12088
17. Trofe A, Piras A, Muehsam D *et al.* Effect of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) on Muscular Activation during Cycling: A Single-Blind Controlled Pilot Study. *Healthcare (Basel).* **2023**;11(6).10.3390/healthcare11060922
18. Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol (1985).* **1996**;80(3):765-772.10.1152/jappl.1996.80.3.765
19. Secomb TW. Theoretical models for regulation of blood flow. *Microcirculation.* **2008**;15(8):765-775.10.1080/10739680802350112
20. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med.* **2007**;37(2):145-168.10.2165/00007256-200737020-00004
21. Bousquet-Santos K, Soares PP, Nobrega AC. Subacute effects of a maximal exercise bout on endothelium-mediated vasodilation in healthy subjects. *Braz J Med Biol Res.* **2005**;38(4):621-627.10.1590/s0100-879x2005000400017
22. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol (1985).* **2002**;92(6):2309-2318.10.1152/japplphysiol.01185.2001
23. Saco-Ledo G, Valenzuela PL, Ruilope LM, Lucia A. Physical Exercise in Resistant Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Front Cardiovasc Med.* **2022**;9893811.10.3389/fcvm.2022.893811
24. Edwards JJ, Deenmamode AHP, Griffiths M *et al.* Exercise training and resting blood pressure: a large-scale pairwise and network meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med.* **2023**;57(20):1317-1326.10.1136/bjsports-2022-106503
25. Hill MA, Zou H, Potocnik SJ, Meininger GA, Davis MJ. Invited review: arteriolar smooth muscle mechanotransduction: Ca(2+) signaling pathways underlying myogenic reactivity. *J Appl Physiol (1985).* **2001**;91(2):973-983.10.1152/jappl.2001.91.2.973

26. Leonardo PS, Cardoso KR, Silva BO *et al.* Evaluation of pulsed electromagnetic field therapy to improve muscle strength and functional aspects in the elderly: A pilot study. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;21:12931-7.10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
27. Leonardo PS, Cardoso KR, Vieira RP *et al.* Applications of Pulsed Electromagnetic Field Therapy in Skeletal-Muscle System: An Integrative Review. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. **2023**;211-11.https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2023.21.1252
28. Ghanbari Ghoshchi S, Petroni ML, Piras A, Marcora SM, Raffi M. Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) stimulation as an adjunct to exercise: a brief review. *Front Sports Act Living*. **2024**;61471087.10.3389/fspor.2024.1471087
29. Karnjanapiboonwong A, Anothaisintawee T, Chaikledkaew U, Dejthevaporn C, Attia J, Thakkinstian A. Diagnostic performance of clinic and home blood pressure measurements compared with ambulatory blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cardiovasc Disord*. **2020**;20(1):491.10.1186/s12872-020-01736-2
30. Chen CY, Bonham AC. Postexercise hypotension: central mechanisms. *Exerc Sport Sci Rev*. **2010**;38(3):122-127.10.1097/JES.0b013e3181e372b5
31. Hug K, Roosli M. Therapeutic effects of whole-body devices applying pulsed electromagnetic fields (PEMF): a systematic literature review. *Bioelectromagnetics*. **2012**;33(2):95-105.10.1002/bem.20703
32. Vanderlei LC, Pastre CM, Hoshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. **2009**;24(2):205-217.10.1590/s0102-76382009000200018
33. Amekran Y, El Hangouche AJ. Effects of Exercise Training on Heart Rate Variability in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Cureus*. **2024**;16(6):e62465.10.7759/cureus.62465