UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

João Guilherme Vieira da Silva

Efeito da proximidade da falha no treinamento de força: mapeamento da fadiga aguda e síntese das adaptações morfofuncionais crônicas

Juiz de Fora
2026

João Guilherme Vieira da Silva

Efeito da proximidade da falha no treinamento de força: mapeamento da fadiga aguda e síntese das adaptações morfofuncionais crônicas

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação Física. Área de concentração: Exercício e Esporte.

Orientador: Doutor Jeferson Macedo Vianna

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vieira da Silva, João Guilherme.
Efeito da proximidade da falha no treinamento de força : mapeamento da fadiga aguda e síntese das adaptações morfofuncionais crônicas / João Guilherme Vieira da Silva. -- 2026.
170 p. : il.

Orientador: Jeferson Macedo Vianna
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Educação Física. Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2026.

1. Biomarcadores. 2. Esforço Físico. 3. Força Muscular. 4. Hipertrofia. 5. Recuperação de Função Fisiológica. I. Macedo Vianna, Jeferson, orient. II. Título.

João Guilherme Vieira da Silva

Efeito da proximidade da falha no treinamento de força: mapeamento da fadiga aguda e síntese das adaptações morfofuncionais crônicas

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação Física. Área de concentração: Exercício e Esporte

Aprovada em 17 de setembro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª. Drª. Aline Aparecida de Souza Ribeiro
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Jefferson da Silva Novaes
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Marcelo Ricardo Cabral Dias
EnsinE

Prof. Dr. Marcio Luis de Lacio
Univértix

Juiz de Fora, 10/08/2026.

Documento assinado eletronicamente por **Jeferson Macedo Vianna**, **Professor(a)**, em 18/09/2026, às 08:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Ricardo Cabral Dias**, **Usuário Externo**, em 18/09/2026, às 08:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Aline Aparecida de Souza Ribeiro**, **Professor(a)**, em 18/09/2026, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Marcio Luis de Lacio**, **Usuário Externo**, em 18/09/2026, às 10:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **JEFFERSONDA SILVA NOVAES**, **Usuário Externo**, em 18/09/2026, às 20:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **3132322** e o código CRC **88456563**.

Dedico este trabalho à minha esposa, aos meus pais e avós, que estão sempre comigo em qualquer situação, independentemente da circunstância.

AGRADECIMENTOS

A jornada do doutorado é um caminho árduo, repleto de incertezas, noites mal dormidas e inúmeras renúncias. No entanto, é também um período de profundo aprendizado e inestimável evolução pessoal. Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder a força, a resiliência e a saúde necessárias para suportar as exigências físicas e mentais deste processo. À minha esposa, Katiane, meu mais sincero muito obrigado; sua paciência, amor e compreensão foram o meu porto seguro nos momentos de maior dificuldade. Aos meus pais, Neuzely e João Batista, agradeço por terem sido a base inabalável da minha formação, abdicando de tanto para que eu pudesse alcançar o ensino superior e, agora, o título de doutor. À minha irmã, Janaína, pelo companheirismo de uma vida inteira, e aos meus avós, Maria José e Sebastião, cujos exemplos, lutas e valores moldaram o homem que me tornei.

A construção desta tese jamais seria possível sem o suporte institucional e financeiro que viabilizou cada etapa desta pesquisa. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo fomento indispensável para a realização deste trabalho. Expresso também minha profunda gratidão à Universidade Federal de Juiz de Fora por toda a estrutura oferecida e ao meu orientador, professor Jeferson Vianna, pela confiança depositada em mim, pelas valiosas orientações e por ter sido um parceiro neste processo. Agradeço também aos professores Jefferson Novaes, Marcelo Ricardo e Yuri Campos, cujas contribuições, críticas e ensinamentos elevaram o nível do meu trabalho e me ajudaram na vida acadêmica. Estendo meus sinceros agradecimentos a todo o grupo de pesquisa do LabFor. Conviver, debater e compartilhar os pesados desafios diários da coleta e análise de dados com vocês tornou este trajeto muito mais leve e enriquecedor.

A ciência é um esforço coletivo e, durante estes anos de mestrado e doutorado, tive o privilégio de contar com parcerias que me fizeram crescer e evoluir. Agradeço imensamente aos meus colaboradores por todo o tempo e dedicação investidos neste projeto. Um agradecimento especial aos professores Guilherme Nascimento, Victor Queiros, Michal Wilk e Okan Kamis. As nossas trocas de conhecimento, discussões e a colaboração mútua foram determinantes para o aprofundamento e o refinamento desta tese. O suporte de vocês não apenas engrandeceu os resultados, mas também me proporcionou uma visão muito mais ampla e amadurecida do meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, fizeram parte deste processo. Aos meus amigos, pela amizade e pelos momentos de descontração. Aos meus alunos de *personal training*, pela confiança irrestrita no meu trabalho e pela compreensão nas vezes em que a rotina do doutorado exigiu quase toda a minha atenção. Aos meus alunos da Faculdade UniAcademia, que me lembram diariamente do verdadeiro propósito da vida acadêmica. O doutorado foi, sem dúvida, o desafio mais exigente que já enfrentei. Contudo, ao olhar para trás, vejo o quanto o peso das dificuldades moldou o homem que me tornei. Encerro este ciclo não apenas como um pesquisador melhor, mas como um profissional e um ser humano mais forte e preparado para os próximos desafios.

"Faça o que puder, com o que tiver, onde estiver." (THEODORE ROOSEVELT)

RESUMO

A necessidade de se atingir a falha muscular momentânea durante o treinamento de força (TF) permanece como uma das questões mais debatidas na ciência do esporte. O objetivo geral desta tese foi investigar a influência da proximidade da falha muscular momentânea sobre o contínuo condicionamento-fadiga, integrando respostas fisiológicas, neuromusculares e perceptuais agudas à consolidação das adaptações crônicas de hipertrofia muscular e força. Metodologicamente, a tese foi estruturada em dois estudos originais e complementares. O primeiro estudo, um ensaio clínico randomizado com delineamento cruzado, avaliou o custo fisiológico multimodal de sessões de TF de corpo inteiro realizadas até a falha muscular momentânea (TFF; 100% de 10 repetições máximas) ou sem falha muscular momentânea (TFNF; 85% de 10 repetições máximas) em seis homens treinados (25,5 ± 3,3 anos de idade; 6,3 ± 3,8 anos de experiência em treinamento de força). Foram monitorados marcadores neuromusculares, metabólicos, hormonais, cardiovasculares, autonômicos, perceptuais e indiretos de lesão tecidual ao longo de 72 horas. O segundo estudo, uma revisão sistemática com metanálise registrada no PROSPERO (CRD420261430235), incluiu 15 ensaios clínicos randomizados, totalizando 481 participantes, para comparar os efeitos crônicos do TFF e do TFNF sobre a hipertrofia muscular e a força, bem como avaliar o rigor metodológico e a certeza da evidência disponível. No estudo experimental, o volume total da sessão não diferiu entre as condições (TFF: 14.157,67 ± 1.560,28 kg; TFNF: 14.558,33 ± 2.014,94 kg; $p = 0,631$). Apesar disso, o TFF induziu uma maior percepção subjetiva de esforço (9,83; IC 95%: 9,40–10,26 vs. 8,00; IC95%: 7,06–8,93; $p = 0,004$), maiores concentrações de lactato (6,63 vs. 5,91 $mmol \cdot L^{-1}$; $p = 0,003$) e cortisol (19,66 vs. 17,22 $\mu g \cdot dL^{-1}$; $p < 0,001$). Além disso, apresentou maiores níveis dos marcadores indiretos de lesão tecidual, como a creatinafosfoquinase (437,58 vs. 278,00 $U \cdot L^{-1}$; $p < 0,001$) e lactato desidrogenase (191,78 vs. 173,99 $U \cdot L^{-1}$; $p < 0,001$). O TFF também aumentou a dor muscular de início tardio, especialmente no quadríceps ($p < 0,001$), e retardou a recuperação neuromuscular, com menor desempenho no salto com contramovimento em comparação ao TFNF (38,73 vs. 40,28 cm; $p < 0,001$). Em contrapartida, o TFNF favoreceu a recuperação percebida ao longo de 72 horas (5,19 vs. 3,25; $p < 0,001$) e apresentou menor sobrecarga cardiovascular aguda. Na metanálise, conduzida por modelos de efeitos aleatórios e expressa como Hedges' *g*, o TFF não promoveu

ganhos superiores de hipertrofia muscular. A síntese de 31 estimativas mostrou efeito trivial e não significativo (estimativa = 0,03; IC 95%: -0,04 a 0,09; p = 0,430; I^2 = 0%). Após ajuste pelo método *trim-and-fill*, a conclusão permaneceu inalterada (estimativa ajustada = -0,02; IC 95%: -0,09 a 0,04; p = 0,463). Para força, a síntese de 29 estimativas indicou vantagem estatisticamente significativa, porém trivial, favorecendo o TFNF (estimativa = -0,07; IC95%: -0,12 a -0,02; p = 0,006; I^2 = 0%). Conclui-se que o TFF amplia o estresse fisiológico, perceptual e muscular agudo, prolonga a fadiga residual e não oferece benefícios adicionais para a hipertrofia muscular ou para a força. A interrupção das séries antes da falha configura-se, portanto, como uma estratégia mais eficiente e sustentável para promover adaptações neuromusculares e morfológicas, especialmente quando o objetivo é equilibrar o estímulo, desempenho e recuperação ao longo do programa de TF em adultos saudáveis.

Palavras-chave: Biomarcadores; Esforço Físico; Força Muscular; Hipertrofia; Recuperação de Função Fisiológica.

ABSTRACT

The need to reach momentary muscular failure during resistance training (RT) remains one of the most debated issues in sports science. The overall objective of this thesis was to investigate the influence of proximity to momentary muscular failure on the fitness-fatigue continuum, integrating acute physiological, neuromuscular, and perceptual responses to the consolidation of chronic adaptations in muscle hypertrophy and strength. Methodologically, the thesis was structured into two original and complementary studies. The first study, a randomized crossover trial, evaluated the multimodal physiological cost of full-body RT sessions performed to momentary muscular failure (RTF; 100% of a 10-repetition maximum) or without momentary muscular failure (RTNF; 85% of a 10-repetition maximum) in six resistance-trained men (25.5 ± 3.3 years of age; 6.3 ± 3.8 years of RT experience). Neuromuscular, metabolic, hormonal, cardiovascular, autonomic, perceptual, and indirect markers of muscle damage were monitored over a 72-hour period. The second study, a systematic review and meta-analysis registered in PROSPERO (CRD420261430235), included 15 randomized controlled trials, totaling 481 participants, to compare the chronic effects of RTF and RTNF on muscle hypertrophy and strength, as well as to assess methodological rigor and the certainty of the available evidence. In the experimental study, total session volume load did not differ between conditions (RTF: 14,157.67 ± 1,560.28 kg; RTNF: 14,558.33 ± 2,014.94 kg; $p = 0.631$). Despite this, RTF induced a higher session rating of perceived exertion (9.83; 95% CI: 9.40–10.26 vs. 8.00; 95% CI: 7.06–8.93; $p = 0.004$), alongside higher concentrations of blood lactate (6.63 vs. 5.91 mmol·L^{-1}; $p = 0.003$) and cortisol (19.66 vs. 17.22 µg·dL^{-1}; $p < 0.001$). Furthermore, RTF presented higher levels of indirect markers of muscle damage, such as creatine kinase (437.58 vs. 278.00 U·L^{-1}; $p < 0.001$) and lactate dehydrogenase (191.78 vs. 173.99 U·L^{-1}; $p < 0.001$). RTF also exacerbated delayed-onset muscle soreness, particularly in the quadriceps ($p < 0.001$), and delayed neuromuscular recovery, presenting lower countermovement jump performance compared to RTNF (38.73 vs. 40.28 cm; $p < 0.001$). In contrast, RTNF favored perceived recovery status over 72 hours (5.19 vs. 3.25; $p < 0.001$) and elicited lower acute cardiovascular strain. In the meta-analysis, conducted using random-effects models and expressed as Hedges' g, RTF did not promote superior muscle hypertrophy gains. The synthesis of 31 estimates showed a trivial and non-significant effect (estimate = 0.03; 95% CI: -0.04

to 0.09; p = 0.430; I^2 = 0%). After adjusting via the trim-and-fill method, the conclusion remained unchanged (adjusted estimate = -0.02; 95% CI: -0.09 to 0.04; p = 0.463). For muscle strength, the synthesis of 29 estimates indicated a statistically significant, yet trivial, advantage favoring RTNF (estimate = -0.07; 95% CI: -0.12 to -0.02; p = 0.006; I^2 = 0%). In conclusion, RTF amplifies acute physiological, perceptual, and muscular stress, prolongs residual fatigue, and offers no additional benefits for muscle hypertrophy and strength. Terminating sets prior to failure therefore constitutes a more efficient and sustainable strategy to promote neuromuscular and morphological adaptations, particularly when the goal is to balance the training stimulus, performance, and recovery throughout an RT program in healthy adults.

Keywords: Biomarkers; Hypertrophy; Muscle Strength; Physical Exertion; Recovery of Function.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Desenho experimental do estudo.....24
Figura 2 – Número de repetições por série.....35
Figura 3 – Carga externa por série.....36
Figura 4 – VTT por série.....37
Figura 5 – VTT por exercício.....38
Figura 6 – PSE por série e exercício.....39
Figura 7 – RIR por série e exercício.....40
Figura 8 – Concentração de lactato antes e após as sessões de TF.....41
Figura 9 – Concentração de testosterona antes e após as sessões de TF.....42
Figura 10 – Concentração de cortisol antes e após as sessões de TF.....43
Figura 11 – Nível de CPK antes e após as sessões de TF.....44
Figura 12 – Nível de LDH antes e após as sessões de TF.....45
Figura 13 – DMIT por grupamento muscular antes e após as sessões de TF....46
Figura 14 – CMJ antes e após as sessões de treinamento TF.....47
Figura 15 – Recuperação percebida antes e após as sessões de TF.....48
Figura 16 – Controle autonômico cardíaco antes e após as sessões de TF.....57
Figura 17 – Fluxograma PRISMA 2020 para revisões sistemáticas.....82
Figura 18 – Resumo geral do risco de viés.....91
Figura 19 – Gráfico de floresta para hipertrofia muscular.....100
Figura 20 – Gráfico de floresta para força.....102
Figura 21 – Gráfico de funil para hipertrofia muscular.....104
Figura 22 – Gráfico de funil para força.....106
Figura 23 – Certeza da evidência avaliada pelo GRADE.....108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características demográficas e antropométricas dos participantes.....26

Tabela 2 – Confiabilidade das medidas de carga, recuperação percebida e desempenho neuromuscular.....34

Tabela 3 – Respostas cardiovasculares no repouso tardio.....50

Tabela 4 – Respostas cardiovasculares durante os exercícios.....52

Tabela 5 – Respostas cardiovasculares pós-TF.....56

Tabela 6 – Matriz de correlação de Spearman entre CPK, CMJ e recuperação percebida.....58

Tabela 7 – Critérios de elegibilidade baseados na estratégia PICOS.....71

Tabela 8 – Características dos participantes.....84

Tabela 9 – Características dos estudos.....86

Tabela 10 – Análise da qualidade metodológica pela escala PEDro.....93

Tabela 11 – Mudança média e delta percentual da hipertrofia muscular e força....95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
CCI	Coeficiente de correlação intraclasse
CPK	Creatinofosfoquinase
DMIT	Dor muscular de início tardio
DP	Duplo produto
ECR	Ensaio clínico randomizado
GEE	Equação de estimativa generalizada
FC	Frequência cardíaca
GRADE	*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*
LDH	Lactato desidrogenase
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PAD	Pressão arterial diastólica
PAM	Pressão arterial média
PAS	Pressão arterial sistólica
RIR	Repetições em reserva
CMJ	Salto vertical com contramovimento
TE	Tamanho do efeito
TF	Treinamento de força
TFF	Treinamento de força até a falha muscular momentânea
TFNF	Treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea
UMs	Unidades motoras
VFC	Variabilidade da frequência cardíaca
VTT	Volume total de trabalho
10-RM	10 repetições máximas

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ	Coeficiente de correlação de Spearman
I^2	Grau de inconsistência entre os diferentes estudos que estão sendo combinados
Q (*Cochran*)	Medida estatística usada para avaliar a heterogeneidade
α	Nível de significância
λ	Parâmetro matemático de suavização
$1-\beta$	Poder estatístico
$\Delta\%$	Variação percentual entre dois valores
R^2	Variância compartilhada
τ^2	Variância estimada entre os estudos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....13

2 OBJETIVOS.....18

3 ARTIGO 1 - A FALHA MUSCULAR MOMENTÂNEA PROMOVE MAIOR ESTRESSE FISIOLÓGICO SISTÊMICO, MAS NÃO MELHORA O DESEMPENHO FUNCIONAL: UM ESTUDO FISIOLÓGICO MULTIMODAL.....18

3.1 RESUMO.....19

3.2 PONTOS-CHAVE.....20

3.2.1 Maior custo sistêmico.....20

3.2.2 Janela de recuperação prolongada.....20

3.2.3 Proximidade da falha como principal determinante.....20

3.2.4 Eficiência vs. Exaustão.....20

3.2.5 Sustentabilidade prática.....21

3.3 INTRODUÇÃO.....21

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....23

3.4.1 Abordagem experimental ao problema.....23

3.4.2 Participantes.....24

3.4.3 Medidas antropométricas e composição corporal.....26

3.4.4 Teste de 10-RM.....26

3.4.5 Coleta sanguínea e análise.....27

3.4.6 Protocolo do CMJ.....28

3.4.7 Monitoramento hemodinâmico.....29

3.4.8 Avaliação da VFC.....29

3.4.9 Processamento e análise dos sinais.....30

3.4.10 Marcadores psicofisiológicos subjetivos.....30

3.4.11 Protocolo experimental.....32

3.4.12 Análise estatística dos dados.....32

3.5 RESULTADOS.....33

3.5.1 Confiabilidade das medidas e controle experimental.....33

3.5.2 Carga externa e desempenho na sessão.....34

3.5.3 PSE e RIR.....38

3.5.4 Estresse metabólico e respostas hormonais agudas....41
3.5.5 Lesão tecidual e DMIT....43
3.5.6 Função neuromuscular e recuperação global....47
3.5.7 Respostas cardiovasculares....48
3.5.8 Controle autonômico cardíaco....57
3.5.9 Associação entre marcadores de lesão tecidual e desempenho neuromuscular....57
3.6 DISCUSSÃO....58
3.7 CONCLUSÃO....65
4 ARTIGO 2 - FALHAR OU NÃO FALHAR? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM METANÁLISE DO TREINAMENTO DE FORÇA ATÉ A FALHA MUSCULAR MOMENTÂNEA VERSUS NÃO-FALHA PARA HIPERTROFIA MUSCULAR E FORÇA....66
4.1 RESUMO....66
4.2 PONTOS-CHAVE....67
4.2.1 Hipertrofia muscular equivalente....67
4.2.2 Vantagem do TFNF para a força....67
4.2.3 Certeza da evidência e necessidade de rigor metodológico....67
4.3 INTRODUÇÃO....68
4.4 MATERIAIS E MÉTODOS....70
4.4.1 Critérios de elegibilidade....70
4.4.2 Fontes de informação....71
4.4.3 Estratégia de busca....72
4.4.4 Processo de seleção....73
4.4.5 Processo de coleta de dados....74
4.4.6 Lista de dados....75
4.4.7 Avaliação do risco de viés e da qualidade metodológica dos estudos....76
4.4.8 Medidas de efeito....77
4.4.9 Métodos de síntese....77
4.4.10 Avaliação de vieses de publicação....79
4.4.11 Avaliação da certeza....79
4.5 RESULTADOS....80
4.5.1 Seleção dos estudos....80

4.5.2 Características dos estudos.....83
4.5.3 Avaliação do risco de viés e qualidade metodológica dos estudos.....90
4.5.4 Resultados de estudos individuais.....94
4.5.5 Resultados das sínteses.....99
4.5.6 Vieses de publicação.....103
4.5.7 Certeza da evidência.....107
4.6 DISCUSSÃO.....109
4.7 CONCLUSÃO.....113
4.8 OUTRAS INFORMAÇÕES.....113
5 CONCLUSÃO GERAL.....114
REFERÊNCIAS.....115
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....129
APÊNDICE B – *String* de busca da revisão sistemática com metanálise utilizada em cada base de dados eletrônicos.....130
APÊNDICE C – Lista completa e a justificativa pormenorizada para a exclusão dos 13 artigos recuperados via bases de dados eletrônicas.....135
ANEXO A – Artigo publicado na revista *Scientific Reports*.....145
ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Juiz de Fora.....146
ANEXO C – Registro Internacional de Revisões Sistemáticas - PROSPERO.....154

1 INTRODUÇÃO GERAL

O treinamento de força (TF) consolidou-se na literatura científica como uma intervenção primária e indispensável, tanto para a otimização do desempenho esportivo quanto para a profilaxia clínica e manutenção da saúde musculoesquelética (Ashton *et al.*, 2020; Westcott, 2012). A imposição sistemática de tensão mecânica sobre o tecido muscular deflagra uma plasticidade morfofuncional que é expressa cronicamente pelo aumento da área de secção transversa muscular e pela remodelação da arquitetura neural. Como consequência, essa plasticidade otimiza a capacidade de geração de força e potência de saída (Spiering *et al.*, 2008; Wackerhage *et al.*, 2019). Contudo, a magnitude e a eficiência da tradução desse estímulo mecânico em adaptações crônicas reais não ocorrem de maneira arbitrária; elas exigem uma estruturação rigorosa da dose de exercício imposta ao sistema neuromuscular.

O controle da dose-resposta adaptativa tem-se fundamentado, historicamente, na manipulação das variáveis que compõem o TF, tais como volume total de trabalho (VTT), intensidade aplicada nos exercícios resistidos, frequência semanal e intervalo de recuperação entre as séries (Currier *et al.*, 2026; Schoenfeld *et al.*, 2021). Embora a literatura mais recente estabeleça o VTT como um dos principais determinantes da sinalização anabólica e dos ganhos hipertróficos (Schoenfeld *et al.*, 2019; Schoenfeld *et al.*, 2017), a atenção investigativa tem-se concentrado em uma variável de controle dinâmico com profundo impacto sistêmico: a proximidade da falha muscular momentânea (Refalo *et al.*, 2022; Robinson *et al.*, 2024).

A decisão metodológica de prolongar uma série até a falha muscular momentânea ou de interrompê-la de forma voluntária, preservando repetições em reserva (RIR), altera drasticamente o estresse mecânico e o acúmulo de subprodutos metabólicos (Vieira *et al.*, 2022). Dessa forma, o nível de esforço imposto ao final de cada série extrapola a mera quantificação do trabalho mecânico, posicionando-se como um elemento regulatório central que determina a magnitude da fadiga aguda e, fundamentalmente, a viabilidade e otimização das adaptações neuromusculares crônicas (Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021).

O debate em torno da obrigatoriedade do TF até a falha muscular momentânea (TFF) confunde-se com a própria evolução neurofisiológica e metodológica do TF. Durante décadas, consolidou-se, na prática e em parte da literatura, a premissa de

que o TFF seria o único meio de assegurar o recrutamento do *pool* completo de unidades motoras (UMs) do músculo estimulado (Willardson, 2007). Esse postulado tradicional ancora-se no princípio do tamanho que estabelece uma hierarquia fixa para a excitação das UMs, iniciando com as de menor limiar de excitabilidade e predominantemente oxidativas, progredindo de forma ordenada até as de maior limiar e glicolíticas à medida que a demanda por força aumenta (Henneman *et al.*, 1965, 1965).

O TFF era tratado como uma condição indispensável, a partir da interpretação meramente linear explicitada, sob a justificativa de que, sem a fadiga completa, as UMs de alto limiar de excitabilidade, detentoras do maior potencial de adaptações hipertróficas e de força, permaneceriam subestimadas (Willardson, 2007). Entretanto, estudos recentes mostram que o recrutamento neural não depende de um estímulo de “tudo ou nada” (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021), pois, conforme a série é executada, mesmo que haja uma interrupção planejada com manutenção de RIR, as alterações metabólicas locais e a fadiga do sistema nervoso central combinam-se para aumentar os estímulos neurais. Dessa forma, as UMs com maior limiar de excitabilidade passam a ser recrutadas bem antes que o músculo chegue ao colapso total (Beausejour *et al.*, 2024; Hammert *et al.*, 2026).

Essa perspectiva contemporânea sugere que o TF sem alcançar a falha muscular momentânea (TFNF) proporciona estímulo fisiológico suficiente para favorecer a sinalização hipertrófica e o ganho de força. Isso torna o TFF um gerador de fadiga residual desproporcional ao benefício adaptativo adicional (Grgic *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2022). Desse modo, o desenho contemporâneo dos programas de TF contrapõe a antiga necessidade dogmática do TFF ao gerenciamento estratégico e contínuo do esforço (Fisher *et al.*, 2022; Hammert *et al.*, 2026).

A operacionalização desse gerenciamento estratégico depende do mapeamento minucioso do custo biológico e perceptivo imposto pelos diferentes níveis de esforço (Refalo *et al.*, 2022). O TFF, quando comparado ao TFNF, altera profundamente o ambiente celular, gerando uma resposta sistêmica aguda que atua como o principal marcador do estresse fisiológico imposto ao organismo (Vieira *et al.*, 2022). Do ponto de vista neuromuscular, o TFF resulta em uma acentuada perda de velocidade de execução que se traduz na depressão imediata da contratilidade muscular, frequentemente quantificada pela redução na altura do salto vertical com contramovimento (CMJ) (González-Badillo *et al.*, 2016; González-Hernández *et al.*,

2021; Morán-Navarro *et al.*, 2017; Refalo *et al.*, 2023). Acompanhando esse declínio funcional, a literatura demonstra que a proximidade da falha dita o comportamento da percepção subjetiva de esforço (PSE), cujos valores convergem para os limites máximos da escala, o que muitas vezes oculta a magnitude absoluta da carga externa utilizada (Moseley *et al.*, 2020; Refalo *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2019; Vasquez *et al.*, 2013). Em contrapartida, o TFNF, pautado no controle da RIR, mitiga o dano contrátil imediato e atenua o desconforto, configurando-se como uma estratégia de regulação que preserva a capacidade de gerar potência (Gorostiaga *et al.*, 2014).

Para além da fadiga mecânica, o TFF desdobra-se em uma perturbação metabólica contundente e em danos teciduais prolongados (González-Badillo *et al.*, 2016; González-Hernández *et al.*, 2021; Morán-Navarro *et al.*, 2017; Pareja-Blanco *et al.*, 2020). A incapacidade de manter o fluxo glicolítico necessário para a ressíntese energética nas repetições finais do TFF culmina em elevações substanciais na concentração de lactato sanguíneo. Isto é acompanhado por um ambiente endócrino transitoriamente alterado, caracterizado por picos na secreção de cortisol e flutuações nas concentrações de testosterona (Gorostiaga *et al.*, 2012; Linnamo *et al.*, 1998; Raastad *et al.*, 2000). Concomitantemente, a magnitude da tensão associada à exaustão pode induzir perturbações microestruturais no tecido muscular. Essas perturbações são evidenciadas pelo efluxo tardio de marcadores indiretos de lesão tecidual, como a creatinofosfoquinase (CPK) e a lactato desidrogenase (LDH) (González-Badillo *et al.*, 2016; González-Hernández *et al.*, 2021; Morán-Navarro *et al.*, 2017; Pareja-Blanco *et al.*, 2020). Esse rastro de estresse pode afetar diretamente a prontidão do indivíduo para os estímulos subsequentes, manifestando-se pelo declínio do estado de recuperação percebida e pelo aumento acentuado na dor muscular de início tardio (DMIT) (Santos *et al.*, 2019; Shibata *et al.*, 2019).

O impacto do TFF estende-se ainda à regulação do sistema nervoso autônomo e ao estresse cardiovascular. O esforço isométrico e a oclusão vascular inerentes às repetições finais, frequentemente exacerbados pela manobra de Valsalva, geram um aumento abrupto nas respostas hemodinâmicas (Macdougall *et al.*, 1985; Machado *et al.*, 2020). Esse fenômeno impõe uma sobrecarga mecânica direta às paredes arteriais e ao miocárdio, elevando o duplo produto (DP) por meio do incremento simultâneo da frequência cardíaca (FC), pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD) e pressão arterial média (PAM) (Tajra *et al.*, 2015). Após a cessação do exercício, o TFF provoca um atraso significativo na reativação

parassimpática, mensurada pela depressão dos índices de variabilidade da frequência cardíaca (VFC), refletindo um estado prolongado de ativação simpática (González-Badillo *et al.*, 2016; Pareja-Blanco *et al.*, 2016; Tajra *et al.*, 2015). Embora o efeito hipotensor pós-exercício seja uma resposta adaptativa esperada e desejável na prescrição do TF, a indução de uma fadiga autonômica severa altera a cinética dessa queda pressórica. Assim, justifica-se a necessidade de mapear minuciosamente esse custo biológico global, uma vez que a otimização dos desfechos agudos e crônicos depende da equalização exata entre o estímulo imposto e a capacidade de restabelecimento homeostático sistêmico (Refalo *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2022).

A compreensão detalhada dessa cinética de restabelecimento homeostático fundamenta o entendimento de como as alterações agudas regulam as adaptações no longo prazo. Sob uma perspectiva biológica clássica, preconizava-se que a magnitude da fadiga aguda determinaria, de forma proporcional, a dimensão das adaptações crônicas. Contudo, o paradigma contemporâneo da fisiologia do esforço demonstra que um maior estresse dentro da sessão de TF nem sempre se traduz em respostas neuromusculares superiores (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Robinson *et al.*, 2024; Vieira *et al.*, 2021). Quando os estímulos mecânico e metabólico são acompanhados por fadiga neuromuscular excessiva e por marcadores de lesão tecidual que se estendem por mais de 48 horas, o curso da recuperação é severamente prolongado (Refalo *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2022). Esse esgotamento das reservas biológicas compromete a capacidade do indivíduo de tolerar e sustentar a carga de trabalho nas sessões subsequentes de um microciclo, afetando diretamente uma das variáveis mais determinantes para o ganho de massa muscular: o VTT acumulado (Schoenfeld *et al.*, 2019; Schoenfeld *et al.*, 2017).

O paradoxo associado à imposição sistemática do TFF reside na possível incompatibilidade entre aumentar a fadiga aguda e preservar a consistência do estímulo ao longo do processo de treinamento. Nesse contexto, embora o TFF possa elevar a carga interna da sessão, sua aplicação recorrente pode comprometer a eficiência mecânica, reduzir a capacidade de sustentar o desempenho entre as sessões e dificultar a progressão do TF (Schoenfeld; Grgic, 2019; Sousa *et al.*, 2024). Essa restrição fisiológica tem sido parcialmente refletida em estudos longitudinais, os quais indicam que, quando o VTT é equalizado, protocolos de TFNF podem promover incrementos semelhantes na hipertrofia muscular e na força em comparação ao TFF (Grgic *et al.*, 2021). No entanto, a interpretação desse corpo de evidências permanece

limitada pela heterogeneidade metodológica entre os estudos, incluindo diferenças no nível de treinamento dos participantes, nas estratégias de equalização do VTT, no número de exercícios utilizados, na validade ecológica das sessões experimentais e nas definições operacionais adotadas para os *endpoints* das séries (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Robinson *et al.*, 2024; Vieira *et al.*, 2021).

Além disso, a compreensão acerca do impacto exato do TFF permanece historicamente fragmentada. A literatura, em grande parte, tem tratado a fadiga aguda e as adaptações crônicas de longo prazo como fenômenos independentes em seus delineamentos. Investigações prévias concentram-se predominantemente ou na caracterização estrita da fadiga mecânica e metabólica imediata, ou na avaliação longitudinal isolada das alterações morfológicas e funcionais. Consequentemente, consolida-se uma lacuna epistemológica crítica: a ausência de uma abordagem integrada que conecte, de forma robusta, o mapeamento multissistêmico da fadiga aguda à síntese quantitativa global das evidências crônicas. A prescrição ótima da intensidade do esforço exige não apenas a mensuração do estresse gerado, mas a demonstração quantitativa de que esse desgaste fisiológico agudo se traduz em eficiência adaptativa ao longo do processo de treinamento.

Diante desse cenário, torna-se necessário recorrer a níveis superiores de evidência científica, capazes de integrar criticamente esses achados e esclarecer em que condições o TFF representa uma estratégia necessária, redundante ou potencialmente contraproducente (Fisher *et al.*, 2022; Hammert *et al.*, 2026). Diante dessas lacunas conceituais e experimentais, a necessidade de unificar, ponderar e analisar de forma abrangente o impacto real de ambas as abordagens justifica o desenvolvimento dos dois eixos centrais desta tese. Para tanto, o delineamento de um estudo cruzado, randomizado e com medidas repetidas, apresenta-se como a etapa inicial indispensável para mapear com precisão o curso temporal da fadiga aguda do TFF quando comparado ao TFNF. Complementarmente, uma revisão sistemática com metanálise consolida o segundo eixo investigativo, configurando-se como a ferramenta metodológica necessária para sintetizar globalmente as evidências longitudinais disponíveis. Em conjunto, essas duas abordagens permitem estimar o tamanho do efeito (TE) da proximidade da falha sobre os desfechos de longo prazo, estabelecendo um norte sobre o manejo ótimo da intensidade do esforço para os ganhos de hipertrofia muscular e força.

2 OBJETIVOS

Portanto, a presente tese de doutorado tem como objetivo geral investigar a influência da proximidade da falha muscular momentânea sobre o contínuo condicionamento-fadiga, interligando as respostas fisiológicas e perceptuais agudas à consolidação das adaptações neuromusculares crônicas.

Para alcançar esse propósito, a investigação foi estruturada em dois eixos complementares:

- EIXO 1 (ARTIGO 1): A FALHA MUSCULAR MOMENTÂNEA PROMOVE MAIOR ESTRESSE FISIOLÓGICO SISTÊMICO, MAS NÃO MELHORA O DESEMPENHO FUNCIONAL: UM ESTUDO FISIOLÓGICO MULTIMODAL.

  Objetivo: comparar o efeito de uma sessão de TF envolvendo múltiplos exercícios para o corpo inteiro, realizado até a falha muscular momentânea ou sem sua ocorrência, sobre as respostas mecânicas, perceptivas, metabólicas, neuromusculares, cardiovasculares e autonômicas em homens experientes em TF.

- EIXO 2 (ARTIGO 2): FALHAR OU NÃO FALHAR? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM METANÁLISE DO TREINAMENTO DE FORÇA ATÉ A FALHA MUSCULAR MOMENTÂNEA VERSUS NÃO-FALHA PARA HIPERTROFIA MUSCULAR E FORÇA.

  Objetivo: investigar, por meio de uma revisão sistemática com metanálise, se o treinamento de força realizado até a falha muscular momentânea promove adaptações superiores, semelhantes ou inferiores às promovidas pelo treinamento sem falha muscular momentânea sobre a hipertrofia muscular e a força de homens e mulheres saudáveis.

3 ARTIGO 1 - A FALHA MUSCULAR MOMENTÂNEA PROMOVE MAIOR ESTRESSE FISIOLÓGICO SISTÊMICO, MAS NÃO MELHORA O DESEMPENHO FUNCIONAL: UM ESTUDO FISIOLÓGICO MULTIMODAL.

O artigo encontra-se publicado na revista *Scientific Reports* (Qualis A1; fator de impacto: 4,9; link de acesso: https://www.nature.com/articles/s41598-026-59113-6), DOI: 10.1038/s41598-026-59113-6 (ANEXO A).

3.1 RESUMO

A proximidade da falha muscular momentânea é reconhecida como um determinante central da carga interna e das respostas fisiológicas ao treinamento de Força (TF). Contudo, a maior parte das evidências deriva de protocolos experimentais simplificados, com poucos exercícios e desfechos isolados, limitando a extrapolação para sessões completas de TF com maior validade ecológica. O objetivo deste estudo foi comparar o efeito de uma sessão de TF envolvendo múltiplos exercícios para o corpo inteiro, realizada até a falha muscular momentânea ou sem sua ocorrência, sobre as respostas mecânicas, perceptivas, metabólicas, neuromusculares, cardiovasculares e autonômicas em homens experientes em TF. Foi conduzido um ensaio cruzado, randomizado e com medidas repetidas, no qual seis homens recreacionalmente treinados em força (25,50 ± 3,33 anos; 77,82 ± 6,26 kg; 174,50 ± 5,05 cm) realizaram duas sessões experimentais compostas por seis exercícios, com três séries por exercício. No TFF, foram realizadas três séries com 100% da carga correspondente a 10 repetições máximas (10-RM); no TFNF, as séries foram de 10 repetições com 85% de 10-RM, sendo monitorados quanto às variáveis perceptivas, metabólicas, hormonais, neuromusculares, cardiovasculares e autonômicas, bem como aos marcadores indiretos de lesão tecidual, com avaliações realizadas até 72 horas após o TF. As análises foram realizadas por meio de equações de estimativas generalizadas (GEE), com ênfase nas interações condição × tempo. O TFF apresentou maior PSE em todos os exercícios em comparação ao TFNF ($p < 0,001$), além de menor número de repetições por série e menor volume em parte dos exercícios ($p < 0,05$), sem diferença no VTT da sessão ($p > 0,05$). A perturbação metabólica foi maior no TFF, com concentrações superiores de lactato (6,63 vs. 5,91 $mmol \cdot L^{-1}$; $p = 0,003$), maiores concentrações de cortisol (19,66 vs. 17,22 $\mu g \cdot dL^{-1}$; $p < 0,001$) e menores concentrações de testosterona no período pós-TF (439,8 vs. 480,3 $ng \cdot dL^{-1}$; $p = 0,010$). O TFF também resultou em maiores níveis de CPK (437,6 vs. 278,0 $U \cdot L^{-1}$; $p < 0,001$), LDH (191,8 vs. 174 $U \cdot L^{-1}$; $p < 0,001$), maior DMIT ($p < 0,05$) e recuperação neuromuscular mais lenta, evidenciada por menor desempenho no

CMJ (38,7 vs. 40,3 cm; $p < 0,001$) ao longo de 24–72 horas. Em contraste, o TFNF apresentou recuperação percebida mais rápida ($p < 0,001$) e preservação autonômica semelhante ao TFF, sem diferenças nos índices de VFC ($p > 0,05$). As respostas cardiovasculares durante o TF e no período imediatamente pós-TF foram maiores no TFF ($p < 0,05$), sem efeitos residuais tardios entre as condições. Conclui-se que o TFF gera maior estresse sistêmico e retarda a recuperação, sem se traduzir em vantagens funcionais agudas. Esses achados reforçam que a proximidade da falha, e não a execução até a falha muscular momentânea, constitui o principal determinante das respostas fisiológicas. Assim, o TFNF apresenta maior eficiência global e constitui uma estratégia mais sustentável para contextos que demandam alta frequência de TF e gestão precisa da fadiga.

3.2 PONTOS-CHAVE

3.2.1 Maior custo sistêmico

O TFF, em uma sessão de corpo inteiro, exacerba o estresse metabólico e hormonal, como evidenciado por concentrações significativamente maiores de lactato e cortisol e por níveis mais elevados de marcadores indiretos de lesão muscular quando comparado ao TFNF, mesmo com VTT semelhantes.

3.2.2 Janela de recuperação prolongada

O TFF prejudica o desempenho neuromuscular e aumenta a DMIT por até 72 horas, enquanto o TFNF permite recuperação funcional mais rápida e maior prontidão para sessões subsequentes de TF.

3.2.3 Proximidade da falha como principal determinante

Os achados demonstram que o TFNF, e não o TFF, determina a magnitude da resposta fisiológica aguda e a cinética da recuperação em homens treinados.

3.2.4 Eficiência vs. exaustão

O TFNF apresenta uma relação estímulo-fadiga mais favorável, mantendo desfechos funcionais agudos semelhantes ao TFF, porém com custo fisiológico e PSE significativamente menor.

3.2.5 Sustentabilidade prática

Para atletas e profissionais que demandam alta frequência de TF, o TFNF emerge como uma estratégia mais sustentável para o manejo preciso da fadiga, permitindo a manutenção do VTT com menor efeito residual associado ao TFF.

3.3 INTRODUÇÃO

A manipulação estratégica do volume, da intensidade e do nível de esforço durante o TF constitui um determinante central das adaptações neuromusculares e funcionais relacionadas à hipertrofia muscular e à força (Schoenfeld *et al.*, 2021; Schoenfeld *et al.*, 2017; Suchomel *et al.*, 2018). Ao longo dos anos, o debate científico se concentrou na necessidade de se atingir a falha muscular momentânea como uma estratégia para maximizar o recrutamento de UMs de alto limiar e elevar o estresse metabólico, fatores teoricamente associados a maiores ganhos de força (Andersen *et al.*, 2024). Contudo, evidências recentes sugerem que a prescrição do TF baseada na proximidade da falha muscular momentânea constitui uma alternativa metodologicamente robusta para modular o estresse adaptativo sem os custos fisiológicos da exaustão total (Hammert *et al.*, 2026), uma vez que a proximidade da falha muscular, por si só, é suficiente para influenciar a magnitude do estímulo adaptativo, bem como a resposta endócrina, a cinética de recuperação e o acúmulo de fadiga (Refalo *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2022). Nesse contexto, a distinção entre o TFF e o TFNF torna-se essencial para equilibrar o estímulo necessário para o desempenho com a capacidade de recuperação dos sistemas nervoso central e periférico (Rodríguez-Rosell *et al.*, 2018; Weakley *et al.*, 2020).

Evidências prévias demonstraram que o TFF impõe maior estresse metabólico e fisiológico em comparação ao TFNF, provocando maiores elevações nas concentrações sanguíneas de lactato e amônia (Gorostiaga *et al.*, 2014; Weakley *et al.*, 2020), conduzindo a um curso temporal de recuperação mais prolongado, frequentemente exigindo entre 48 e 72 horas para a restauração do desempenho

mecânico, avaliado por meio da velocidade de execução e do CMJ (Morán-Navarro *et al.*, 2017; Refalo *et al.*, 2023), devido a uma fadiga neuromuscular mais pronunciada. Paralelamente, o TFF está associado a maior PSE e desconforto, mesmo quando o VTT é equalizado (Refalo *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2019), além de potencializar marcadores indiretos de lesão tecidual, como a DMIT, e reduções transitórias da força (Shibata *et al.*, 2019).

Apesar do consistente embasamento fornecido por revisões sistemáticas recentes indicando que o TFF e o TFNF promovem adaptações similares em força e hipertrofia quando o VTT é equalizado (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2021), persiste uma dúvida recorrente no que se refere à compreensão das respostas agudas e sistêmicas integradas decorrentes dessas estratégias de TF. A maior parte das evidências disponíveis provém de protocolos centrados em exercícios isolados ou grupamentos musculares específicos, como o agachamento ou o supino, o que limita a validade ecológica e a extrapolação para sessões de TF representativas da prática (González-Badillo *et al.*, 2016; González-Hernández *et al.*, 2021; Gorostiaga *et al.*, 2014; Morán-Navarro *et al.*, 2017; Pareja-Blanco *et al.*, 2020; Refalo *et al.*, 2023, 2025). Nessa linha, a predominância de modelos experimentais simplificados e amostras heterogêneas restringe a generalização dos resultados, sugerindo que os efeitos da proximidade da falha podem depender da tarefa, do exercício selecionado e do contexto de aplicação (Vieira *et al.*, 2022). Adicionalmente, destaca-se a necessidade de investigações que adotem uma abordagem multidimensional, integrando marcadores neuromusculares, fisiológicos e autonômicos, a fim de elucidar de forma mais abrangente a cinética de recuperação após sessões compostas por múltiplos exercícios e grupamentos musculares (Refalo *et al.*, 2022). Desse modo, a escassez de evidências que monitorem simultaneamente esses marcadores em condições ecologicamente válidas limita o refinamento das estratégias de prescrição do TF, particularmente no que se refere à otimização do equilíbrio entre estímulo adaptativo e fadiga acumulada.

Diante das lacunas identificadas na literatura, o presente estudo teve como objetivo comparar o efeito de uma sessão de TF envolvendo múltiplos exercícios para o corpo inteiro, realizada até a falha muscular momentânea ou sem sua ocorrência, sobre as respostas mecânicas, perceptivas, metabólicas, neuromusculares, cardiovasculares e autonômicas em homens experientes em TF. Diferentemente de investigações baseadas em exercícios isolados ou em grupamentos musculares

específicos (González-Badillo *et al.*, 2016; González-Hernández *et al.*, 2021; Gorostiaga *et al.*, 2014; Morán-Navarro *et al.*, 2017; Pareja-Blanco *et al.*, 2020; Refalo *et al.*, 2023, 2025), esta pesquisa adotou um modelo experimental com maior validade ecológica, envolvendo múltiplos exercícios e grupamentos musculares. O propósito adicional foi examinar o impacto do estresse sistêmico acumulado sobre a cinética de recuperação ao longo de 72 horas, por meio do monitoramento integrado de marcadores indiretos de lesão tecidual, respostas hormonais e modulação autonômica cardíaca. Nesse contexto, hipotetizou-se que o TFF induziria maior magnitude de fadiga e prolongaria o restabelecimento homeostático em comparação ao TFNF, contribuindo para uma compreensão mais abrangente dos efeitos fisiológicos dessa estratégia em condições representativas da prática.

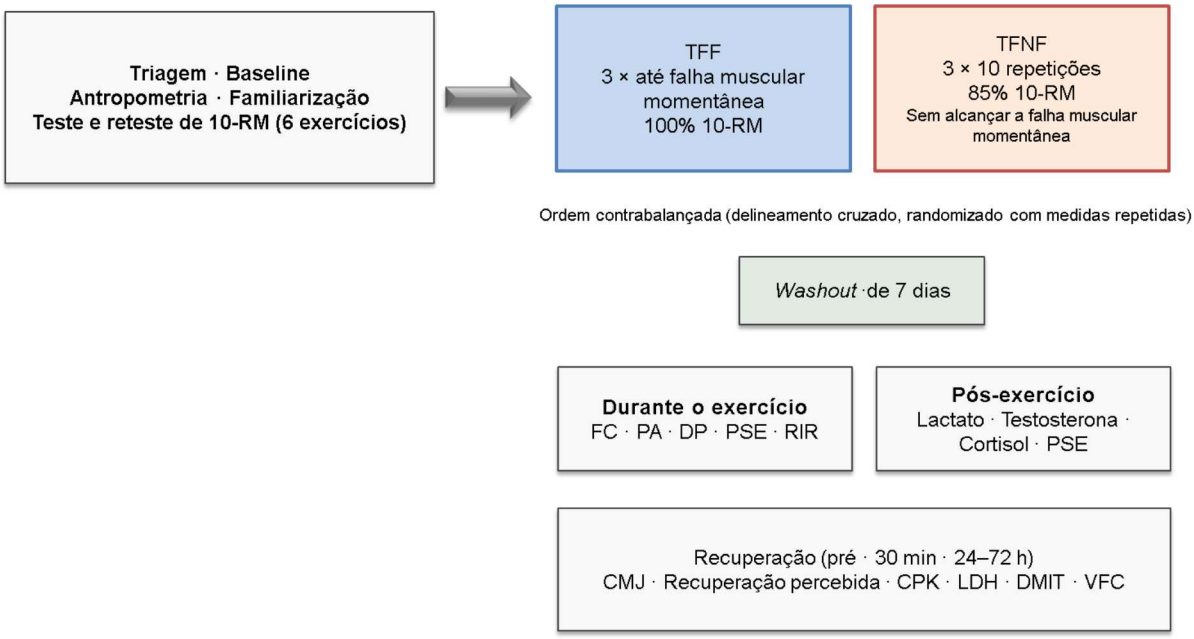
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 Abordagem experimental ao problema

Um ensaio cruzado, randomizado e com medidas repetidas foi adotado no presente estudo e conduzido ao longo de cinco visitas experimentais (Figura 1). Na primeira visita, os participantes foram submetidos à avaliação antropométrica e à familiarização com todos os procedimentos experimentais. Na segunda e terceira visitas, foram realizados, respectivamente, o teste e o reteste de 10-RM para a determinação das cargas utilizadas nos protocolos de TF nos exercícios *leg press* 45°, supino reto com barra, remada neutra, agachamento guiado, rosca bíceps e rosca tríceps. Posteriormente, os participantes foram randomizados, com ordem de entrada contrabalançada, para executar dois protocolos distintos: a) TFF, composto por três séries realizadas até o número máximo de repetições com 100% da carga correspondente a 10-RM; e b) TFNF, composto por três séries de 10 repetições com 85% da carga correspondente a 10-RM. A ordem das condições experimentais foi definida por meio de uma sequência aleatória gerada por computador (www.randomization.com), em proporção de 1:1, com alocação dos participantes em duas sequências possíveis (TFF→TFNF ou TFNF→TFF). A alocação foi realizada por um pesquisador não envolvido na coleta de dados e permaneceu oculta até a conclusão das avaliações iniciais. Para garantir o contrabalanceamento, um número equivalente de participantes iniciou o protocolo por cada uma das condições

experimentais. A quarta e a quinta visitas corresponderam à aplicação dos protocolos experimentais, com um período de *washout* de sete dias entre as condições. A ordem dos exercícios foi padronizada e mantida constante entre as sessões, e foi adotado um intervalo de recuperação de 120 segundos entre as séries e entre os exercícios. Todos os procedimentos foram realizados no mesmo horário do dia para cada participante, a fim de minimizar a influência das variações circadianas. Os participantes foram instruídos a abster-se do consumo de bebidas alcoólicas, suplementos alimentares e alimentos com potencial efeito ergogênico, bem como a não realizar exercícios físicos durante o período da intervenção.

Figura 1 – Desenho experimental do estudo.



Legenda: RM, repetições máximas; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; FC, frequência cardíaca; PA, pressão arterial; DP, duplo produto; PSE, percepção subjetiva de esforço; RIR, repetições em reserva; CMJ, salto com contramovimento; CPK, creatinofosfoquinase; LDH, lactato desidrogenase; DMIT, dor muscular de início tardio; VFC, variabilidade da frequência cardíaca.
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

3.4.2 Participantes

As características demográficas e antropométricas dos participantes são apresentadas na Tabela 1. A amostra foi composta por seis homens universitários recreacionalmente treinados. O tamanho amostral foi determinado a priori por meio

do software G*Power (v. 3.1.9.2; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Alemanha), utilizando-se uma análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas (*repeated measures, within factors*), a fim de determinar o número mínimo de participantes necessários para o estudo (Faul *et al.*, 2007). Adotando-se os procedimentos propostos por Beck (2013), utilizou-se um TE de Cohen (d) = 0,96, α = 0,05 e poder estatístico (1 − β) = 0,90. Esse cálculo indicou que uma amostra de seis participantes seria suficiente para atingir poder estatístico de 96%.

O TE foi derivado dos resultados compilados por Vieira *et al.* (2022) em sua revisão sistemática com metanálise. Especificamente, foi utilizado o tamanho de efeito reportado para desfechos biomecânicos, uma vez que esse domínio inclui o desempenho no CMJ. Considerando que o CMJ foi uma variável central para o monitoramento da fadiga neuromuscular no presente estudo, o uso de um tamanho de efeito derivado de evidências específicas da área forneceu uma base metodológica para a definição da dimensão amostral selecionada. Os critérios de inclusão compreenderam: a) ausência de patologias musculoesqueléticas ou cardiovasculares diagnosticadas; b) experiência contínua em TF superior a dois anos; c) frequência semanal mínima de cinco sessões de TF; d) não utilização de agentes farmacológicos ou suplementos alimentares com potencial ergogênico que pudessem interferir no desempenho neuromuscular; e) resposta negativa a todos os itens do *Physical Activity Readiness Questionnaire* (Shephard, 1988).

Todos os participantes foram informados sobre os riscos e os benefícios do protocolo antes de assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A). A investigação foi conduzida de acordo com a Declaração de Helsinque (World Medical Association, 2013) e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Juiz de Fora (parecer nº 7.862.829; ANEXO B).

Tabela 1. Características demográficas e antropométricas dos participantes.

Características	**Participantes (n = 6)**
Idade (anos)	25,50 (3,33)
Massa corporal (kg)	77,82 (6,26)
Estatura (cm)	174,50 (5,05)
Índice de massa corporal (kg/m^2)	25,53 (1,20)
Percentual de gordura (%)	9,49 (3,71)
Tempo de treinamento (anos)	6,33 (3,83)

Legenda: valores apresentados como média (desvio-padrão).

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

3.4.3 Medidas antropométricas e composição corporal

Para a caracterização da amostra, a estatura foi mensurada por meio de um estadiômetro de parede (Sanny®, São Bernardo do Campo, Brasil), enquanto a massa corporal total foi determinada por meio de uma balança mecânica calibrada (Filizola®, São Paulo, Brasil). A composição corporal foi estimada por meio de um instrumento de ultrassonografia (BodyMetrix™ BX2000; IntelaMetrix, Inc., Livermore, CA, EUA) com frequência de 2,5 MHz (Miclos-Balica *et al.*, 2021; Wagner *et al.*, 2019). A densidade corporal foi calculada conforme as equações propostas por Jackson e Pollock (1978), considerando três locais anatômicos: tórax, abdômen e coxa e, para estimar o percentual de gordura usou-se a seguinte fórmula: $\frac{4,95}{\text{densidade corporal}} - 4,5 \times 100$ (Siri, 1993). Todas as avaliações foram realizadas por um único avaliador experiente, a fim de reduzir a variabilidade entre avaliadores e assegurar a confiabilidade das medidas.

3.4.4 Teste de 10-RM

A determinação das cargas de treinamento foi realizada por meio de testes de 10-RM nos exercícios *leg press* 45°, supino reto com barra, remada neutra, agachamento guiado, rosca bíceps e rosca tríceps. Para cada exercício, foram permitidas até cinco tentativas com o objetivo de identificar a carga correspondente a 10-RM, com intervalos de recuperação de quatro minutos entre as tentativas do mesmo exercício e de 10 minutos entre exercícios distintos, em conformidade com as diretrizes da *National Strength and Conditioning Association* (Haff; Triplett, 2016). Um

reteste foi conduzido após 48 horas com o objetivo de verificar a estabilidade das cargas, sendo considerada a carga final de 10-RM a maior carga obtida em qualquer uma das duas ocasiões.

Os procedimentos de confiabilidade e seus respectivos coeficientes de correlação intraclasse (CCI) são apresentados em seção específica (RESULTADOS seção 3.5.1). Para minimizar erros de mensuração, os participantes receberam instruções prévias sobre a técnica correta de execução e foram monitorados pelos pesquisadores durante os testes. Caso ocorresse qualquer alteração no padrão de movimento, as tentativas eram interrompidas. Antes de cada exercício, foi realizado um aquecimento específico padronizado, composto por três séries progressivas: 10 repetições com carga leve (1 minuto de intervalo), cinco repetições com carga moderada (2 minutos de intervalo) e três repetições com carga elevada (2–4 minutos de intervalo). As cargas de aquecimento foram incrementadas em aproximadamente 5–10% nos exercícios de membros superiores e 10–20% nos exercícios de membros inferiores.

3.4.5 Coleta sanguínea e análise

As coletas sanguíneas foram realizadas em momentos distintos, de acordo com a cinética dos biomarcadores. Para a determinação das concentrações de testosterona, cortisol e lactato, as amostras foram obtidas no momento pré-TF e aos 3, 15 e 30 minutos pós-TF. A atividade enzimática da CPK e da LDH foi analisada no momento pré-TF e após 24, 48 e 72 horas. Previamente à punção inicial, os participantes permaneceram em repouso por 30 minutos para estabilização hemodinâmica. As amostras foram coletadas da veia antecubital utilizando agulhas de calibre 25 × 0,8 mm (Precision Glide, Becton Dickinson, New Jersey, EUA) e seringas de 10 mL (Medaxo, São Paulo, Brasil).

O sangue foi distribuído em tubos de coleta a vácuo (Vacuette®, Greiner Bio-One, São Paulo, Brasil) contendo ativador de coágulo (tampa vermelha) para as análises de testosterona, cortisol, CPK e LDH, ou fluoreto de sódio (tampa cinza) para a análise do lactato. As amostras foram mantidas em banho-maria a 37 °C até a retração do coágulo ou à temperatura ambiente, conforme a especificidade do tubo. Subsequentemente, o material foi centrifugado a 3.000 $r \cdot min^{-1}$ por 15 minutos, sendo o soro e o plasma resultantes fracionados em alíquotas de 250 µL (Kacil, Pernambuco,

Brasil) e armazenados a −80 °C até a análise final. A atividade da CPK e da LDH foi determinada por meio de kits comerciais (Labtest Diagnóstica, Lagoa Santa, Brasil) em analisador automático (Labmax 240 Premium, Lagoa Santa, Brasil). As concentrações de testosterona e cortisol foram determinadas por ensaio imunoenzimático (ELISA), utilizando kits específicos (Monobind Inc., Lake Forest, CA, USA) em uma leitora de microplacas (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Todas as coletas foram realizadas por um enfermeiro experiente, e as amostras foram analisadas em duplicata, com coeficientes de variação intra-ensaio inferiores a 5%.

3.4.6 Protocolo do CMJ

O desempenho neuromuscular foi monitorado por meio do CMJ em diferentes momentos: pré-TF, 30 minutos, 24, 48 e 72 horas pós-TF. Inicialmente, os participantes realizaram um aquecimento específico padronizado, composto por cinco saltos submáximos separados por intervalos de 10 segundos. Subsequentemente, foram executados três saltos máximos sobre uma plataforma de força (Cefise, São Paulo, Brasil), com resolução de 0,5 kgf (5 N) e frequência de amostragem de 600 Hz, respeitando-se 20 segundos de recuperação entre as tentativas (González-Badillo *et al.*, 2016).

A execução técnica seguiu rigorosamente os procedimentos descritos por Linthorne (2001). A partir da posição ortostática, os participantes realizaram um movimento descendente (fase excêntrica) o mais rapidamente possível, até atingirem 90° de flexão dos joelhos, monitorados por goniometria manual (Starrett®, Athol, EUA). Imediatamente após, iniciou-se a fase concêntrica, executada vigorosamente até a decolagem vertical, com os tornozelos em máxima flexão plantar durante o voo. Na aterrissagem, o contato inicial ocorreu com a região anterior do pé, com o objetivo de favorecer a dissipação das forças e a proteção articular, seguido pelo retorno à posição vertical inicial. A altura do salto (*H*) foi calculada com base na velocidade de decolagem vertical do centro de massa, conforme o método validado por Hatze (1998):

$$H = \frac{v_0^2}{2g}$$

Em que v_0 representa a velocidade vertical de decolagem do centro de massa e g corresponde à aceleração da gravidade (9,81 m·s⁻²). A aquisição dos dados foi

realizada por meio do software *Vertical Jump Power* (Cefise, São Paulo, Brasil). Em conformidade com as diretrizes de confiabilidade para medidas repetidas (Cormack *et al.*, 2008) e com as recomendações atuais sobre os parâmetros a serem reportados em avaliações de CMJ (Anicic *et al.*, 2023), utilizou-se a média da altura obtida nas três tentativas para as análises estatísticas subsequentes.

3.4.7 Monitoramento hemodinâmico

As variáveis hemodinâmicas PAS, PAD e PAM foram avaliadas no momento pré-TF, nos intervalos entre as séries dos exercícios e aos 10, 20 e 30 minutos, bem como 24, 48 e 72 horas pós-TF. A PAM foi estimada por meio da seguinte equação: PAM = PAD + [0,333 × (PAS − PAD)] (Whelton *et al.*, 2018). As aferições foram realizadas no braço esquerdo dos participantes, por meio do método auscultatório, por uma enfermeira que acompanhou as coletas, seguindo rigorosamente as recomendações da *American Heart Association* (Whelton *et al.*, 2018). Utilizou-se um esfigmomanômetro aneroide (Premium, Duque de Caxias, Brasil) e um estetoscópio clínico (Littmann, Saint Paul, EUA), previamente calibrados. A FC foi monitorada simultaneamente às medidas de pressão arterial (PA), com exceção do período de recuperação aguda pós-TF. Para essa finalidade, utilizou-se um transmissor torácico (H10, Polar Electro Oy, Kempele, Finlândia) posicionado no terço inferior do esterno e sincronizado a um receptor de pulso (V800, Polar Electro Oy, Kempele, Finlândia) para o registro e o armazenamento dos dados batimento a batimento. Adicionalmente, o estresse cardiovascular foi quantificado por meio do duplo produto (DP), calculado pelo produto da PAS (mmHg) e da FC (bpm) (DP = PAS × FC) (Gobel *et al.*, 1978).

3.4.8 Avaliação da VFC

A modulação autonômica cardíaca foi avaliada por meio da VFC nos momentos: pré, 24, 48 e 72 horas pós-TF. Os intervalos R-R foram registrados batimento a batimento utilizando um sensor cardíaco (H10; Polar Electro Oy, Kempele, Finlândia) sincronizado a um receptor de pulso (V800; Polar Electro Oy, Kempele, Finlândia). Este sistema foi previamente validado para a análise de intervalos R-R em repouso, apresentando alta correlação com o eletrocardiograma (padrão-ouro) (Giles *et al.*, 2015). As avaliações ocorreram em sala silenciosa com controle de temperatura

(22 ± 2 °C) e umidade relativa do ar (50 ± 10%). Os participantes foram instruídos a permanecerem em decúbito dorsal (posição supina), utilizando abafadores de ruído para minimizar interferências externas. Foi orientado que os voluntários respirassem de forma espontânea e natural durante os 15 minutos de gravação do sinal.

3.4.9 Processamento e análise dos sinais

Após a coleta, os dados foram exportados para o software Kubios *HRV Analysis* (v. 3.0.2; University of Eastern Finland, Kuopio, Finlândia). Para a análise, selecionou-se o período de maior estabilidade do sinal, correspondente aos 5 minutos finais de cada registro (do 10º ao 15º minuto), garantindo a estacionariedade dos dados conforme recomendado pela Task-Force (1996). Aplicou-se um algoritmo de correção de artefatos e o método de suavização (*smoothness priors*; λ = 500) para a remoção de tendências não lineares das séries temporais (Tarvainen *et al.*, 2014). No domínio do tempo, foram analisados o SDNN e o RMSSD. A opção por estes índices fundamenta-se na sua superioridade estatística e aplicabilidade clínica em comparação aos índices do domínio da frequência.

O RMSSD foi priorizado como o principal marcador da modulação parassimpática por refletir predominantemente a atividade vagal cardíaca, apresentar menor sensibilidade a variações da frequência respiratória e demonstrar elevada confiabilidade em registros de curta duração (Buchheit, 2014; Penttilä *et al.*, 2001; Plews *et al.*, 2013; Task-Force, 1996). Complementarmente, o SDNN foi utilizado como indicador da VFC global, refletindo a integração sistêmica dos componentes autonômicos e a homeostase cardiovascular (Shaffer; Ginsberg, 2017; Task-Force, 1996). Além disso, os índices da VFC no domínio da frequência (LF, HF e razão LF/HF) não foram priorizados. Essa decisão baseou-se em evidências consistentes de que tais métricas apresentam elevada sensibilidade a fatores não controlados, como padrão respiratório, duração do registro, método de pré-processamento do sinal e estado fisiológico agudo, o que pode comprometer sua interpretação em contextos de exercício físico e recuperação pós-TF (Billman, 2013; Buchheit, 2014; Penttilä *et al.*, 2001).

3.4.10 Marcadores psicofisiológicos subjetivos

As respostas perceptivas avaliadas no presente estudo incluíram a PSE, recuperação percebida, DMIT e RIR. Todas as variáveis foram mensuradas por meio de escalas numéricas de 11 pontos, com amplitude de 0 a 10. O uso de escalas numéricas de classificação para os desfechos perceptivos baseou-se em evidências de que medidas contínuas ou quase contínuas apresentam maior sensibilidade e eficiência estatística do que escalas ordinais categóricas na avaliação da DMIT e de respostas perceptivas relacionadas (Vickers, 1999). A PSE foi avaliada utilizando a escala OMNI-RES, previamente validada para o TF (Robertson *et al.*, 2003), coletada imediatamente após cada série de exercício e 30 minutos após o término da sessão de TF.

Para a utilização da escala de OMNI-RES, os participantes receberam instruções padronizadas, sendo orientados a observar as ilustrações e descritores verbais para selecionar o valor que melhor representasse o seu esforço. Um valor de 0 correspondia a “extremamente fácil” e um valor de 10 a “extremamente difícil”, sendo permitida a seleção de valores intermediários conforme a intensidade da PSE. A recuperação percebida foi quantificada por meio de uma escala validada (Laurent *et al.*, 2011), onde 0 indicava “muito mal recuperado” (expectativa ruim de desempenho) e 10 “muito bem recuperado” (expectativa de desempenho otimizado). A DMIT foi avaliada por meio de uma escala previamente validada (Ferreira-Valente *et al.*, 2011), na qual 0 representava “sem dor” e 10 representava “dor insuportável”.

Os participantes foram instruídos a selecionar um único valor que melhor representasse a intensidade da dor nos músculos solicitados. Para a avaliação, os músculos eram motores primários dos exercícios realizados (quadríceps femoral, peitoral maior, latíssimo do dorso, bíceps braquial e tríceps braquial), e seguiu o protocolo estabelecidos na literatura (Nelson; Kokkonen, 2007), onde cada músculo era alongado passivamente até o limite máximo de sua amplitude articular. Tanto a recuperação percebida quanto a DMIT foram registradas nos momentos: pré, 30 minutos (apenas a recuperação percebida), 24, 48 e 72 horas pós-TF. Por fim, a RIR foi utilizada para estimar a proximidade da falha muscular momentânea, sendo previamente descrita na literatura (Helms *et al.*, 2016; Zourdos *et al.*, 2016), onde o valor 0 indicava que nenhuma repetição adicional seria possível e o valor 10 indicava a capacidade de realizar 10 ou menos repetições antes da falha. Todos os participantes passaram por um processo de familiarização para minimizar erros de interpretação e garantir a consistência das respostas.

3.4.11 Protocolo experimental

As sessões de TF foram conduzidas sob duas configurações distintas de nível de esforço, realizadas em ordem contrabalançada: a) TFF: composto por três séries realizadas até a falha muscular momentânea, utilizando uma carga correspondente a 100% de 10-RM; e b) TFNF: composto por três séries de 10 repetições fixas, utilizando uma intensidade de 85% da carga de 10-RM. No grupo TFF, a falha muscular momentânea foi definida como o ponto em que, apesar de tentar fazê-lo, um indivíduo é incapaz de completar a parte concêntrica da sua repetição atual com uma amplitude de movimento completa, sem se desviar da forma prescrita do exercício resistido.

No grupo TFNF, para garantir a natureza não exaustiva do protocolo e evitar a falha muscular, foi permitida uma redução de 5–10% na carga de trabalho, caso necessário. As séries foram separadas por 120 segundos de intervalo. A velocidade de execução foi inicialmente controlada por um metrônomo digital (MA-2; Korg Inc., Inagi, Tóquio, Japão), estabelecendo uma cadência de 2 segundos por repetição (1 segundo para a fase concêntrica e 1 segundo para a fase excêntrica). Entretanto, nos momentos em que a fadiga impediu a manutenção do ritmo prescrito, os participantes foram instruídos a realizar a fase concêntrica com a máxima velocidade intencional. Essa estratégia foi adotada para garantir o recrutamento de UMs de alto limiar e o esforço máximo, independentemente da redução na velocidade real da carga (BEHM; SALE, 1993). Todas as sessões de TF foram supervisionadas por pesquisadores experientes, os quais auxiliaram no ajuste das cargas e no monitoramento da execução dos protocolos.

3.4.12 Análise estatística dos dados

Os dados foram expressos como média ± desvio padrão. A distribuição Gaussiana dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965). Para as variáveis que atenderam aos pressupostos da distribuição (VTT por exercício e teste/reteste de 10-RM), utilizou-se o teste t de *Student* de amostras dependentes para comparar as condições (TFF vs. TFNF). Para as variáveis com distribuição não-Gaussiana (PSE e VTT da sessão), utilizou-se o teste de Wilcoxon

signed-rank. Para avaliar os efeitos das condições (TFF vs. TFNF), do tempo (pré, pós 10, 20, 30 minutos, 24, 48 e 72 horas) e a interação (condição × tempo) nas demais variáveis, foi utilizado o GEE (Liang; Zeger, 1986).

O teste post hoc de Bonferroni foi aplicado para identificar diferenças específicas quando necessário. A escolha pelo modelo GEE fundamentou-se em sua robustez para análises de medidas repetidas em amostras pequenas, permitindo o ajuste de diferentes distribuições de probabilidade e estruturas de correlação para os parâmetros da variável dependente (Rigby; Stasinopoulos, 2005). A confiabilidade das medidas foi avaliada pelo CCI (modelo de efeitos aleatórios de dois sentidos, concordância absoluta). Os valores de CCI foram interpretados como, fraco: <0.5; moderado: 0.50 - 0.74; bom: 0.75 - 0.9; e excelente se >0.9 de acordo com a escala de níveis de confiabilidade (Koo; Li, 2016).

A associação entre as variações da CPK, CMJ e recuperação percebida foi analisada pelo teste de coeficiente de correlação de Spearman (ρ), seguido pelo cálculo da variância compartilhada (R^2) e pelo teste de transformação *r*-para-*z* de Fisher para comparação entre coeficientes (Eid *et al.*, 2011). Todas as análises foram realizadas no software IBM SPSS Statistics (v. 25; Armonk, NY, USA) e as representações gráficas foram geradas no Prism (v. 8.0; GraphPad Software, San Diego, CA, USA), adotando-se um nível de significância de 5%.

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Confiabilidade das medidas e controle experimental

A confiabilidade das principais medidas utilizadas no estudo foi avaliada previamente com o objetivo de assegurar a estabilidade dos procedimentos experimentais e a reprodutibilidade dos desfechos analisados. As cargas obtidas nos testes e retestes de 10-RM apresentaram excelente concordância em todos os exercícios avaliados, assim como as medidas de desempenho do CMJ, independentemente da condição experimental. Em contraste, a recuperação percebida avaliada previamente aos testes e retestes de 10-RM apresentou baixa concordância indicando elevada variabilidade interindividual. Os CCI, respectivos intervalos de confiança e valores de p estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Confiabilidade das medidas de carga, recuperação percebida e desempenho neuromuscular.

Variável/Exercício	CCI	IC 95%	p-valor
10-RM l*eg press* 45°	0,99	0,92–0,99	<0,001
10-RM supino reto barra	0,97	0,82–0,99	0,001
10-RM remada neutra	0,97	0,85–0,99	0,002
10-RM agachamento guiado	0,97	0,85–0,99	0,002
10-RM rosca bíceps	0,97	0,84–0,99	0,002
10-RM rosca tríceps	0,95	0,63–0,99	0,013
Recuperação pré-teste vs. pré-reteste	-0,11	-1,11–0,74	0,895
CMJ TFF	0,98	0,93–0,99	<0,001
CMJ TFNF	0,97	0,87–0,99	<0,001

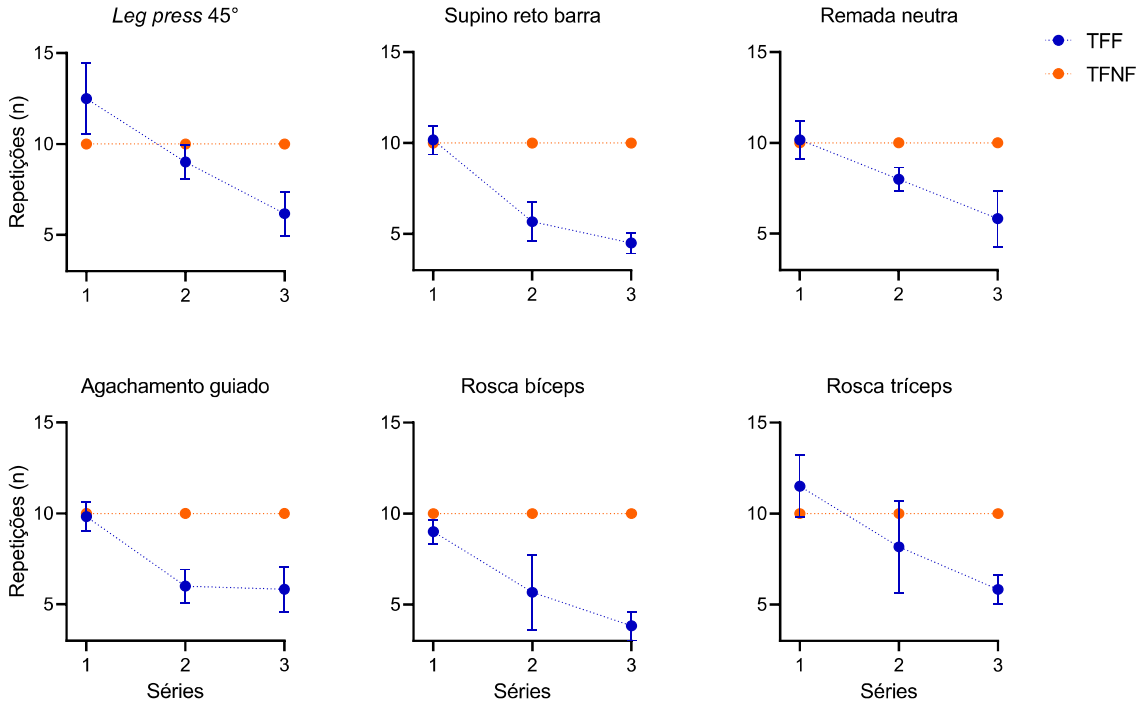
Legenda: 10-RM, dez repetições máximas; CMJ, salto com contra movimento; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; CCI, coeficiente de correlação intraclasse (concordância absoluta, modelo de efeitos aleatórios de dois fatores); IC 95%, intervalo de confiança 95%.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

3.5.2 Carga externa e desempenho na sessão

O número de repetições por série foi analisado por GEE com distribuição binomial negativa, considerando os efeitos da condição (TFF vs. TFNF) e série (1-3). Em todos os exercícios, houve efeito da condição (Wald χ^2 = 15,960 - 391,059; gl = 1; $p < 0,001$) e série (Wald χ^2 = 46,310 - 281,639; gl = 2; $p < 0,001$). Dessa forma indicando maior desempenho global na condição TFNF. As médias marginais estimadas (IC 95%) mostraram vantagem consistente do TFNF sobre o TFF com valores médios no TFF variando aproximadamente entre 5,80 e 8,85 repetições, enquanto a TFNF foi 10,00 repetições em todos os exercícios. O efeito da série caracterizou-se pela redução (S1 > S2 > S3; $p < 0,001$) ou por comparações específicas conforme o exercício com médias agregadas reportadas. Ademais, a interação condição × série foi frequentemente significativa (Wald χ^2 por série variando de 9,000 a 726,000; gl = 1; $p \leq 0,003$), assim sugerindo amplificação das diferenças entre as condições nas séries subsequentes, particularmente na S2 e S3 em parte dos exercícios (Figura 2).

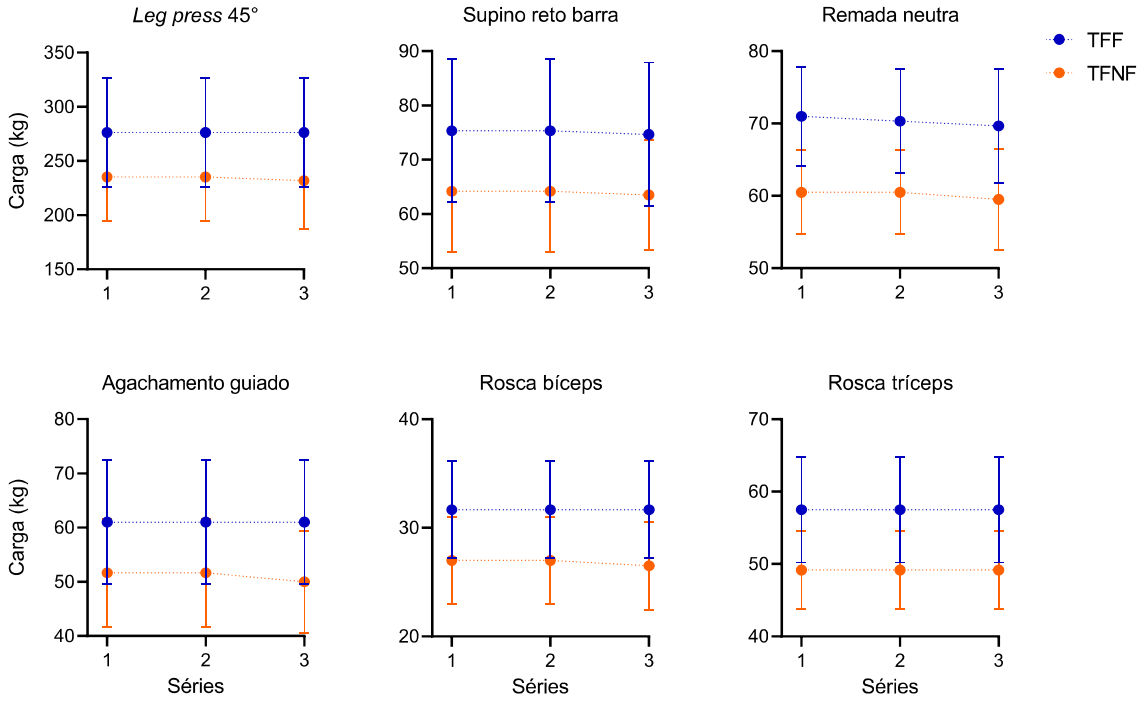
Figura 2. Número de repetições por série.



Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. TFF, treinamento de força até falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força até a não falha muscular momentânea.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

No que tange à carga externa, a análise foi feita utilizando um GEE com distribuição Gamma. Em todos os exercícios observou-se efeito da condição (Wald χ^2 = 357,175 - 999,187; gl = 1; p < 0,001), sem efeito da série (Wald χ^2 = 0,000 - 0,117; gl = 2; p = 0,943), assim indicando que a sessão de TFF foi executada com cargas mais altas e que as cargas se mantiveram essencialmente estáveis entre as séries. As médias marginais estimadas (IC 95%) evidenciaram maior carga no TFF em todos os exercícios. A interação condição × série foi significativa para todos os exercícios (Wald χ^2 por série variando de 59,987 a 721,636; gl = 1; p < 0,001) refletindo diferenças consistentes entre as condições ao longo das três séries executadas (Figura 3).

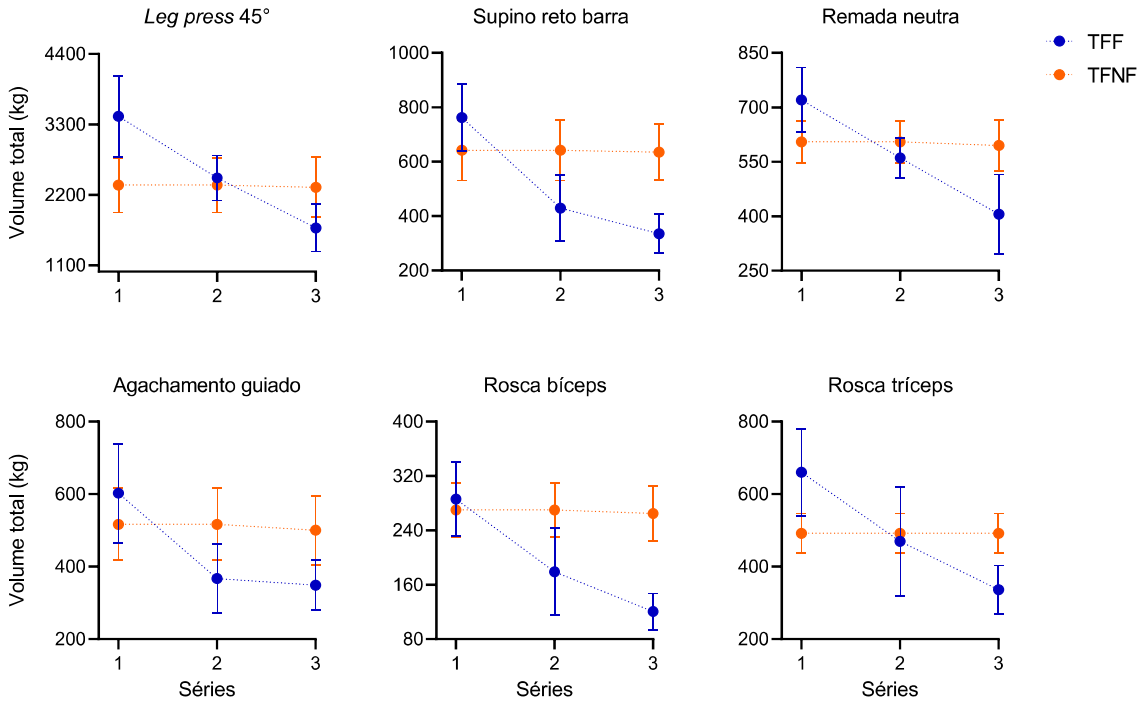
Figura 3. Carga externa por série.



Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. TFF, treinamento de força até falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força até a não falha muscular momentânea.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O VTT por série foi analisado por GEE com distribuição Gamma. Houve efeito da série com redução do VTT ao longo da sessão (Wald χ^2 = 8,893 - 27,080; gl = 2; p = 0,012) e, na maioria dos exercícios, efeito da condição favorecendo TFNF (Wald χ^2 = 10,257 - 116,564; gl = 1; p = 0,001). Em exercícios específicos (*leg press* 45° e rosca tríceps; p = 0,301 e 0,311, respectivamente), o efeito principal da condição não foi observado, embora ainda tenha ocorrido efeito da série e interação condição × série. As médias marginais (IC 95%) mostraram maior VTT médio no TFNF em exercícios como supino reto, remada neutra, agachamento guiado e rosca bíceps. A interação condição × série foi significativa de forma consistente (Wald χ^2 por série variando de 9,574 a 158,948; gl = 1; p ≤ 0,002), sugerindo que o impacto do TFF sobre o VTT se tornou mais evidente à medida que as séries avançaram (especialmente na S2-S3), compatível com a maior queda das repetições no TFF (Figura 4).

Figura 4. VTT por série.

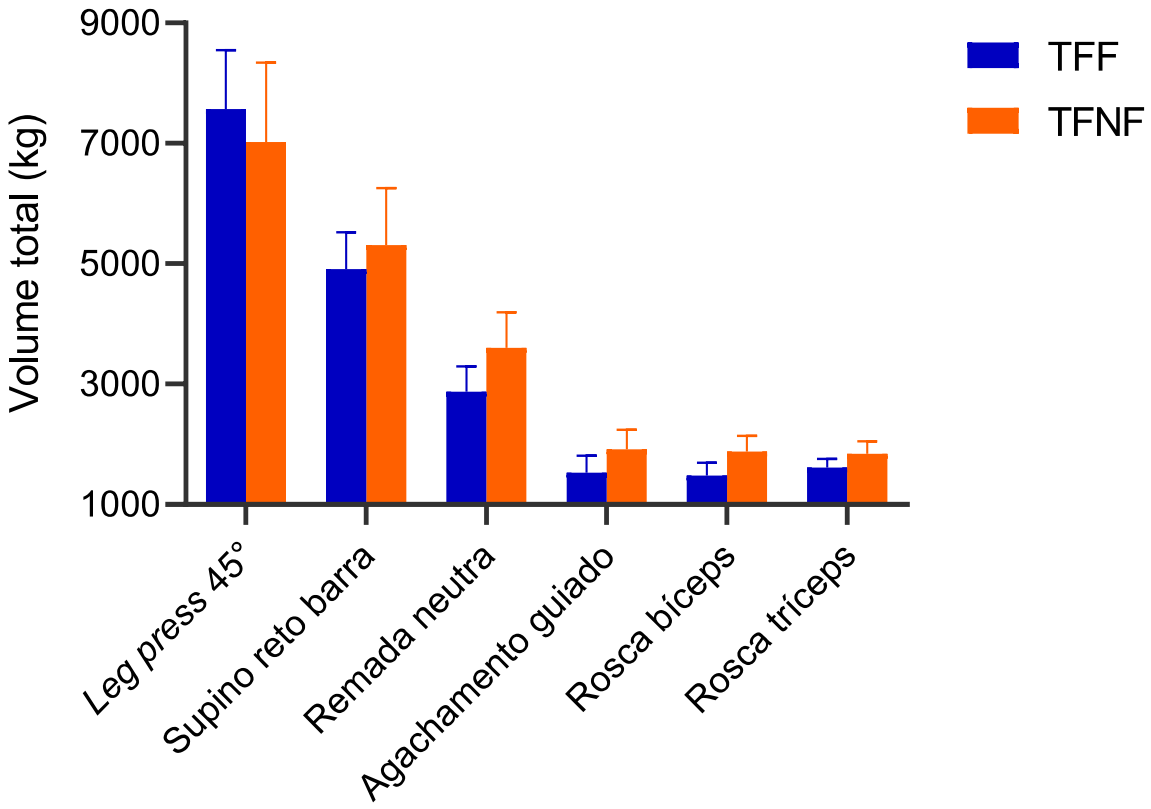


Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. VTT, volume total de trabalho; TFF, treinamento de força até falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força até a não falha muscular momentânea.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A Figura 5 mostra o VTT por exercício para ambas as condições. O teste t indicou maior VTT no TFNF na remada neutra (t = -2,558; p = 0,028; IC 95% da diferença -1358,476 a -93,523), no agachamento guiado (t = -2,330; p = 0,042; IC 95% -765,623 a -17,042), na rosca bíceps (t = -3,056; p = 0,012; IC 95% -685,897 a -107,435) e na rosca tríceps (t = -2,340; p = 0,041; IC 95% -446,426 a -10,906); não houve diferença estatisticamente significativa para o *leg press* 45° (t = 0,862; p = 0,409; IC 95% -872,905 a 1974,905) e supino reto barra (t = 0,917; p = 0,381; IC 95% -1378,875 a 574,875). Para o VTT da sessão, não foi observada diferença entre as condições (Mann-Whitney: z = -0,480; p = 0,631).

Figura 5. VTT por exercício.



Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. VTT, volume total de trabalho; TFF, treinamento de força até falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força até a não falha muscular momentânea; IC 95%.

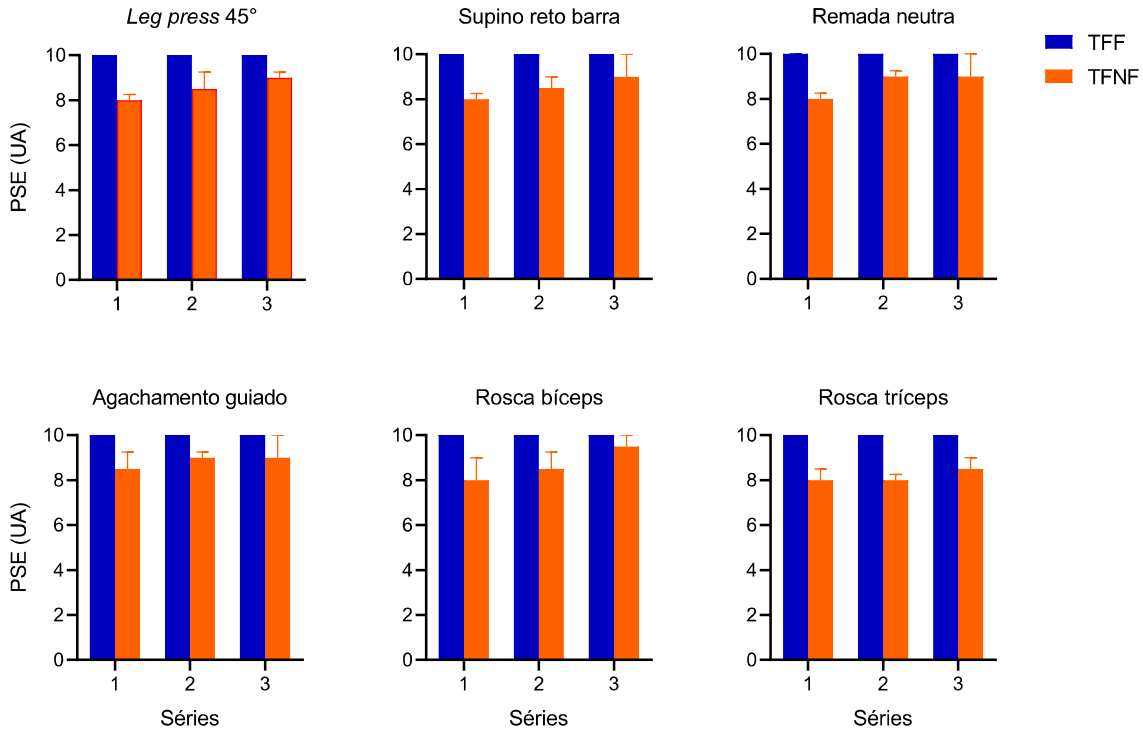
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.5.3 PSE e RIR

A PSE apresentou efeito estatisticamente significativo da condição em todos os exercícios (Wald χ^2 variando de 20,118 a 26,663; gl = 1; $p < 0,001$) indicando valores consistentemente mais elevados na condição TFF. A análise dos efeitos univariados demonstrou que independentemente do exercício a condição TFF apresentou valores de PSE próximos ao limite superior da escala (9,78 - 10,00 UA), enquanto a condição TFNF apresentou valores substancialmente menores (7,49 - 8,82 UA). O efeito do tempo não foi significativo na maioria dos exercícios (Wald χ^2 variando de 1,871 a 5,664; $p > 0,05$), com exceção da remada neutra e da rosca bíceps, nas quais foi observado um aumento significativo da PSE ao longo das séries ($p < 0,05$),

independentemente da condição. Ademais, a interação condição × série foi estatisticamente significativa em todos os exercícios (Wald χ^2 entre 4,523 e 17,707; $p < 0,05$), indicando que a condição TFF impôs uma PSE maior em cada uma das séries avaliadas, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6. PSE por série e exercício.

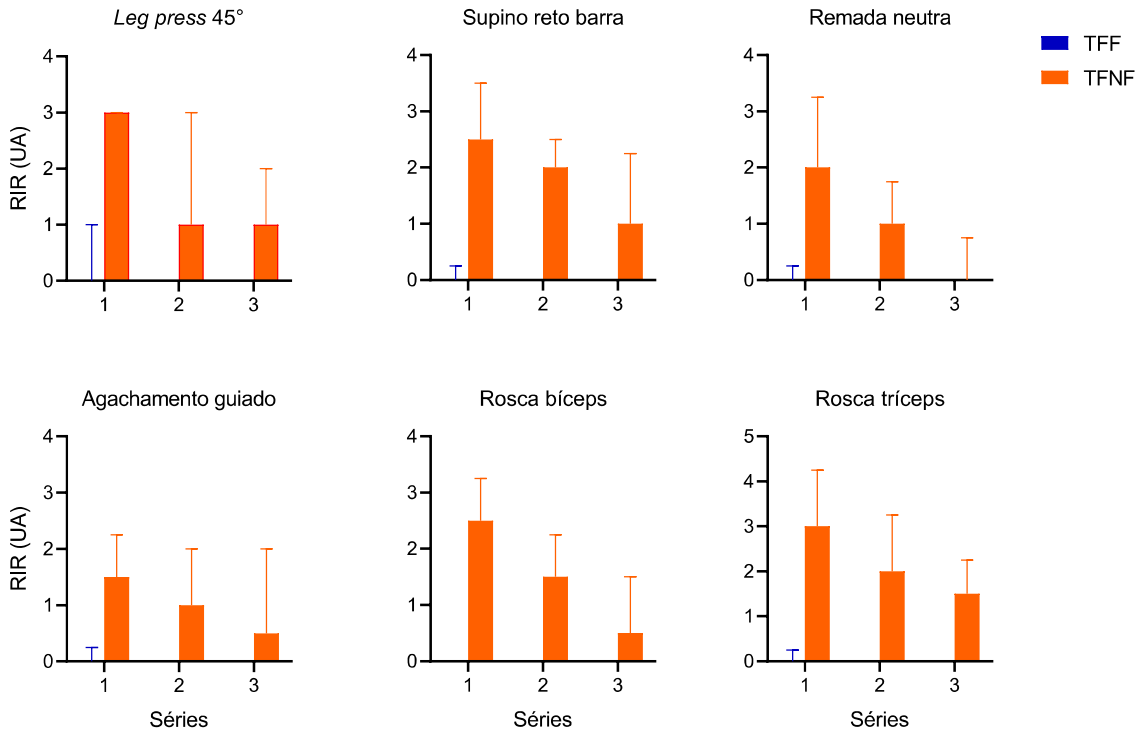


Legenda: Dados apresentados como mediana e intervalo interquartil. TFF, treinamento de força até falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força até a não falha muscular momentânea; PSE, percepção subjetiva de esforço.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em paralelo, a RIR apresentou um padrão inverso ao observado para a PSE. Modelos GEE com distribuição normal indicaram efeito estatisticamente significativo da condição em todos os exercícios (Wald χ^2 variando de 24,338 a 63,873; gl = 1; $p < 0,001$) com valores consistentemente mais elevados na condição TFNF. As análises univariadas demonstraram que a condição TFNF apresentou valores de RIR entre aproximadamente 1,17 e 2,28 repetições, enquanto a condição TFF manteve-se próxima de zero em todos os exercícios, confirmando a execução sistemática das séries para a falha muscular momentânea. O efeito do tempo foi significativo em

alguns exercícios (*leg press* 45°, supino reto barra e remada neutra; Wald χ^2 entre 8,158 e 11,373; $p < 0,05$), refletindo uma redução progressiva da RIR ao longo das séries, independentemente da condição. Além disso, foram observadas interações significativas condição × série na maioria dos exercícios (Wald χ^2 entre 5,172 e 59,647; $p < 0,05$), evidenciando que as diferenças entre TFF e TFNF já estavam presentes desde a primeira série e se mantiveram até a terceira, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7. RIR por série e exercício.



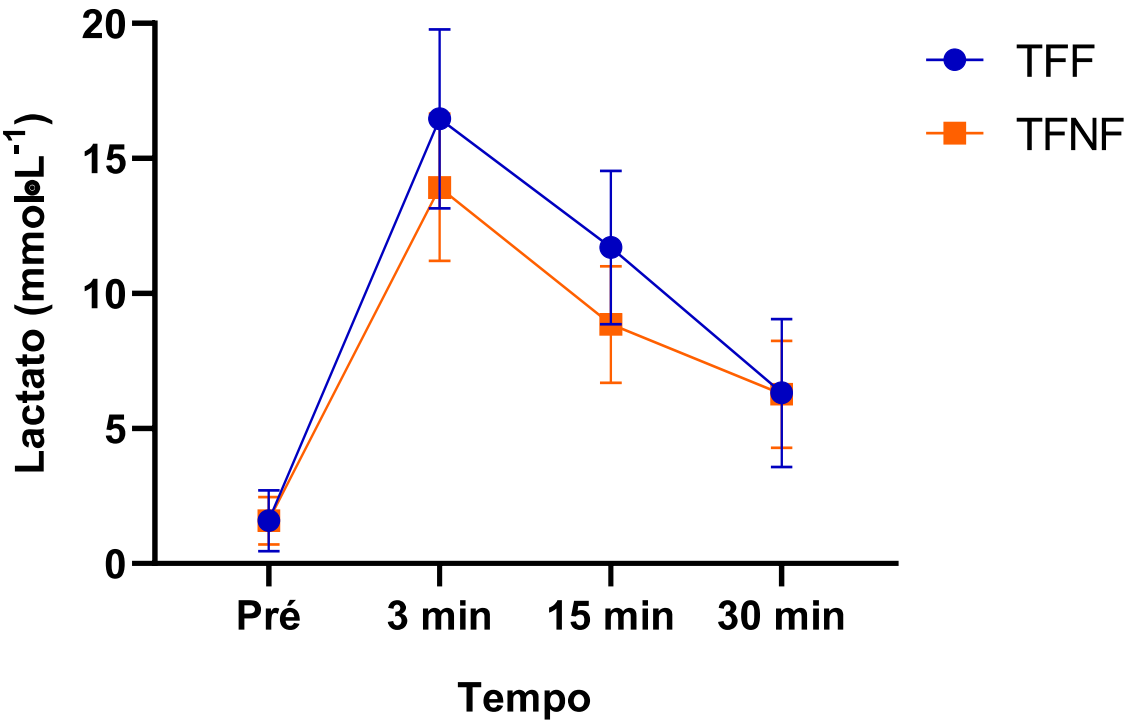
Legenda: Dados apresentados como mediana e intervalo interquartil. TFF, treinamento de força até falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força até a não falha muscular momentânea; PSE, percepção subjetiva de esforço.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

No nível da sessão, a PSE foi significativamente maior na condição TFF (Wilcoxon: $z = -2,855$; $p = 0,004$), com valores médios de 9,83 UA (IC 95%: 9,40 - 10,26) para TFF e 8,00 UA (IC 95%: 7,06 - 8,93) para TFNF.

3.5.4 Estresse metabólico e respostas hormonais agudas

Para o lactato sanguíneo, a análise por GEE com distribuição Gamma identificou efeitos principais significativos da condição (Wald χ^2=8,87; gl = 1; p = 0,003) e do tempo (Wald χ^2 = 220,29; gl = 3; p < 0,001). Em termos absolutos, a condição TFF apresentou concentrações médias superiores (6,63 mmol·L^{-1}; IC 95%: 5,67 - 7,74) em comparação à condição TFNF (5,91 mmol·L^{-1}; IC 95%: 5,23 - 6,69). A interação condição × tempo revelou que essas diferenças foram particularmente pronunciadas nos momentos iniciais pós-TF (3' e 15') indicando maior perturbação metabólica imediata associada ao TFF (Figura 8).

Figura 8. Concentração de lactato antes e após as sessões de TF.

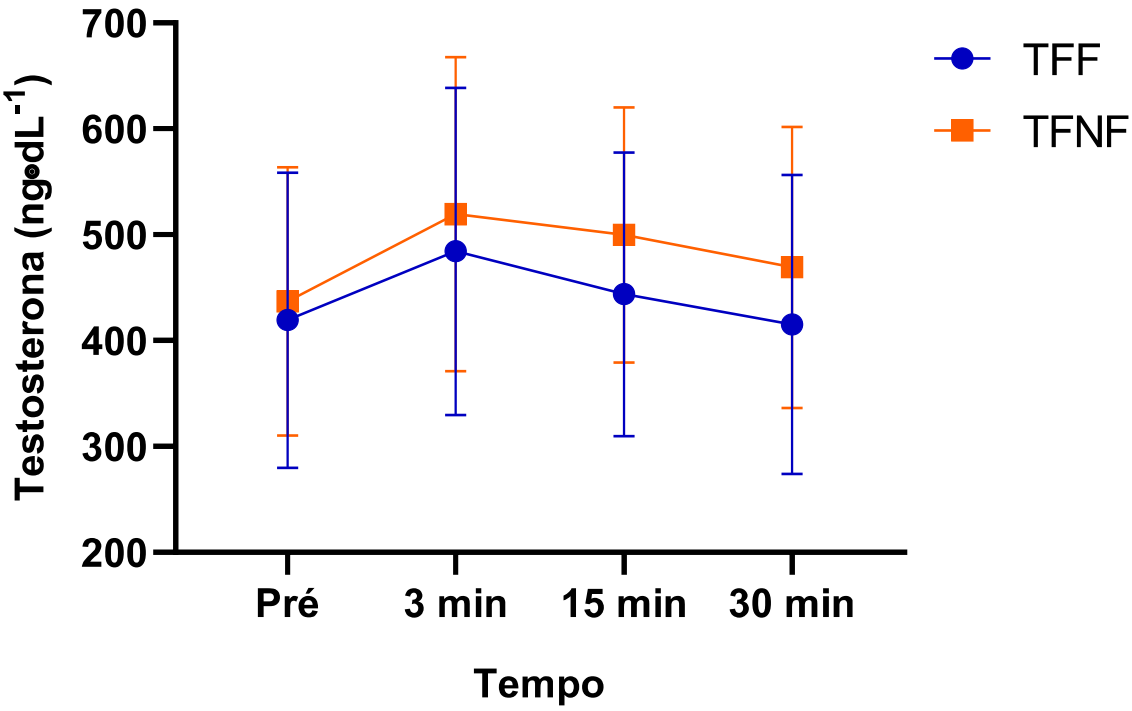


Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em relação à testosterona, foi observado efeito principal da condição (Wald χ^2 = 6,59; gl = 1; p = 0,010), sem efeito significativo do tempo (p = 0,701), sugerindo que

a resposta hormonal esteve predominantemente relacionada à estratégia de execução do TF. A condição TFNF apresentou concentrações médias mais elevadas (480,3 ng·dL⁻¹; IC 95%: 436,4 - 528,6) em comparação à condição TFF (439,8 ng·dL⁻¹; IC 95%: 392,9 - 492,2). A interação condição × tempo indicou diferenças significativas nos momentos finais do período pós-TF (15' e 30'), refletindo uma manutenção relativa mais favorável da testosterona na condição TFNF (Figura 9).

Figura 9. Concentração de testosterona antes e após as sessões de TF.

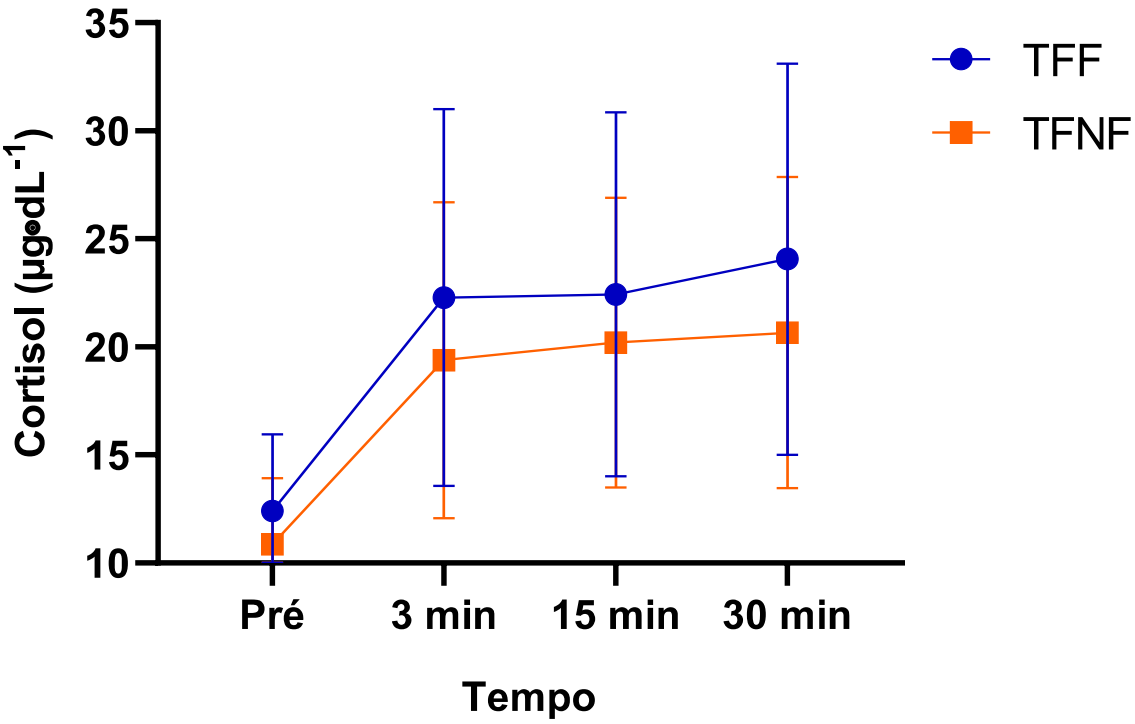


Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para o cortisol, a análise demonstrou efeitos principais significativos da condição (Wald $\chi^2 = 16,67$; gl = 1; $p < 0,001$) e do tempo (Wald $\chi^2 = 26,33$; gl = 3; $p < 0,001$). A condição TFF apresentou concentrações médias mais elevadas (19,66 µg·dL⁻¹; IC 95%: 17,35 - 22,28) em comparação à condição TFNF (17,22 µg·dL⁻¹; IC 95%: 15,31 - 19,36). A elevação do cortisol foi evidente após o exercício em ambas as condições. No entanto, a interação indicou que essa resposta foi mais acentuada

nos momentos iniciais pós-TF (pré vs. 3’ e 15’) na condição TFF, reforçando o maior impacto agudo (Figura 10).

Figura 10. Concentração de cortisol antes e após as sessões de TF.



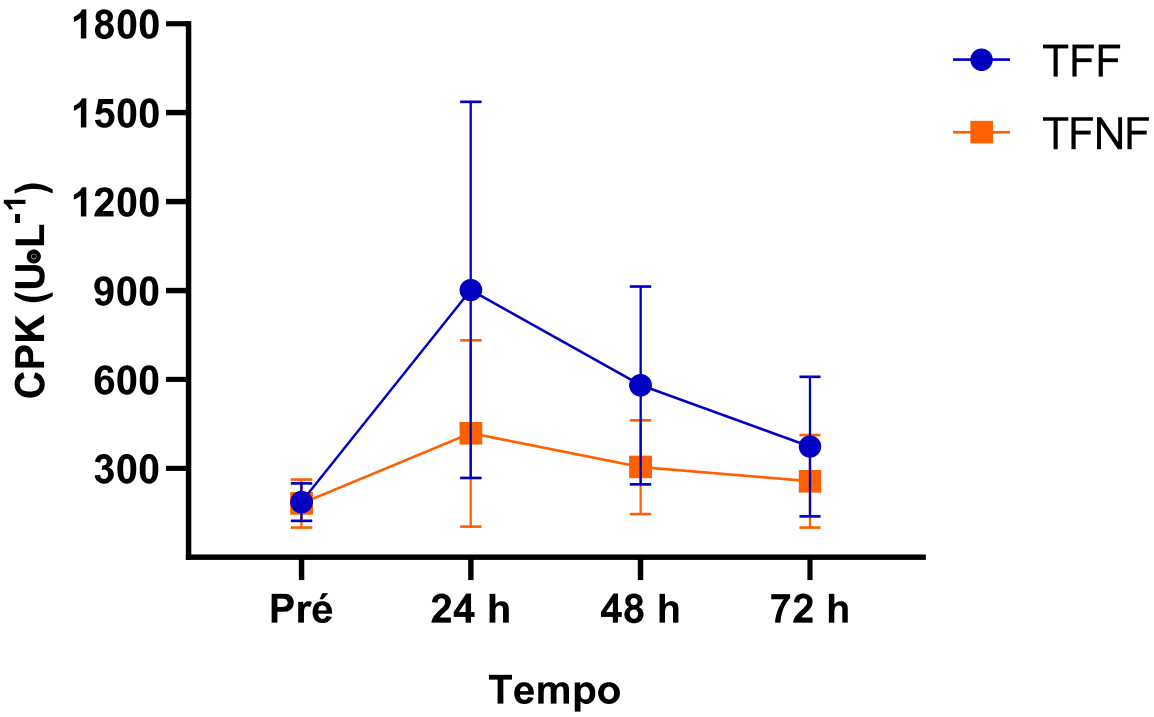
Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.5.5 Lesão tecidual e DMIT

A análise por GEE indicou que a condição TFF resultou em maior magnitude e prolongamento dos marcadores indiretos de lesão tecidual em comparação ao TFNF. Para a CPK, foram observados efeitos principais significativos da condição (Wald χ^2 = 28,549; gl = 1; p < 0,001) e do tempo (Wald χ^2 = 18,156; gl = 3; p < 0,001), com níveis médios mais elevados na condição TFF (437,58 $U \cdot L^{-1}$; IC 95%: 357,95 - 534,91) em relação a condição TFNF (278,00 $U \cdot L^{-1}$; IC 95%: 226,19 - 341,68). Independentemente da condição, a CPK aumentou significativamente do momento pré para 24-48 horas, caracterizando o pico tardio típico da lesão tecidual. A interação condição × tempo

revelou diferenças significativas nos momentos 24, 48 e 72 horas, com recuperação mais lenta após o TFF, conforme ilustrado na Figura 11.

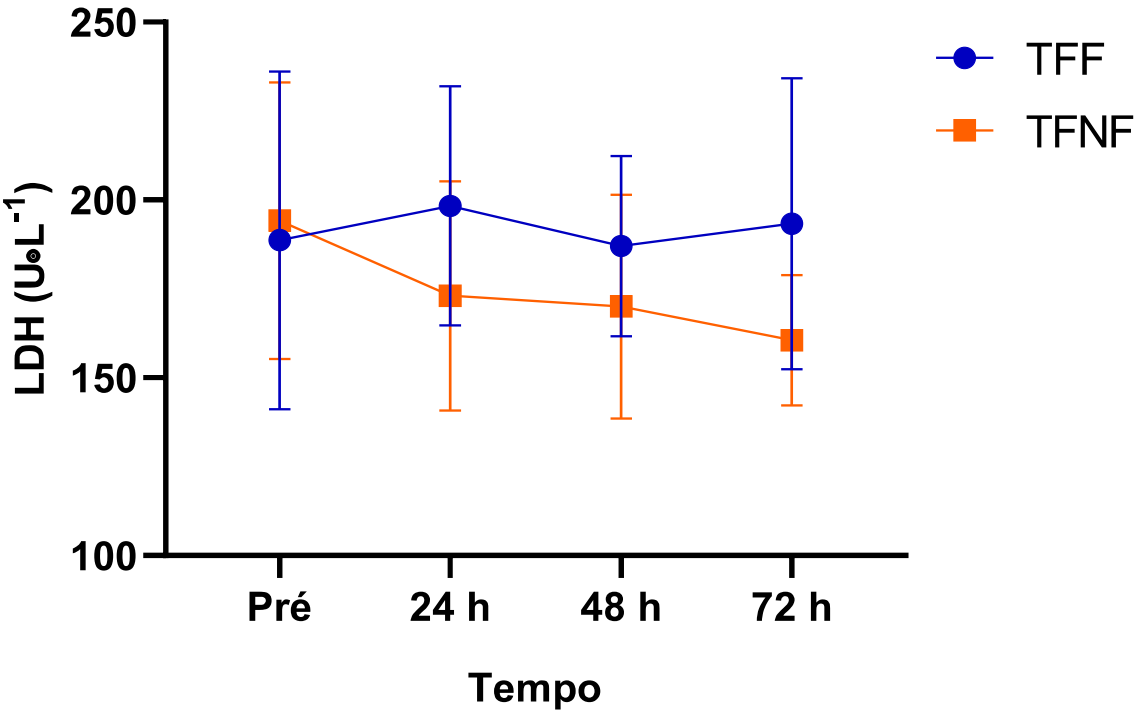
Figura 11. Nível de CPK antes e após as sessões de TF.



Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. CPK, creatinofosfoquinase; TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Resultados convergentes foram observados para LDH, com efeito principal significativo da condição (Wald χ^2 = 13,468; gl = 1; p < 0,001), indicando níveis consistentemente mais elevados após o TFF (191,78 $U \cdot L^{-1}$; IC 95%: 179,08 - 205,39) em comparação ao TFNF (173,99 $U \cdot L^{-1}$; IC 95%: 163,73 - 184,90). Embora não tenha sido identificado efeito principal do tempo, a interação condição × tempo foi significativa nos momentos 24, 48 e 72 horas, reforçando um perfil persistente de lesão tecidual associado ao TFF (Figura 12).

Figura 12. Nível de LDH antes e após as sessões de TF.

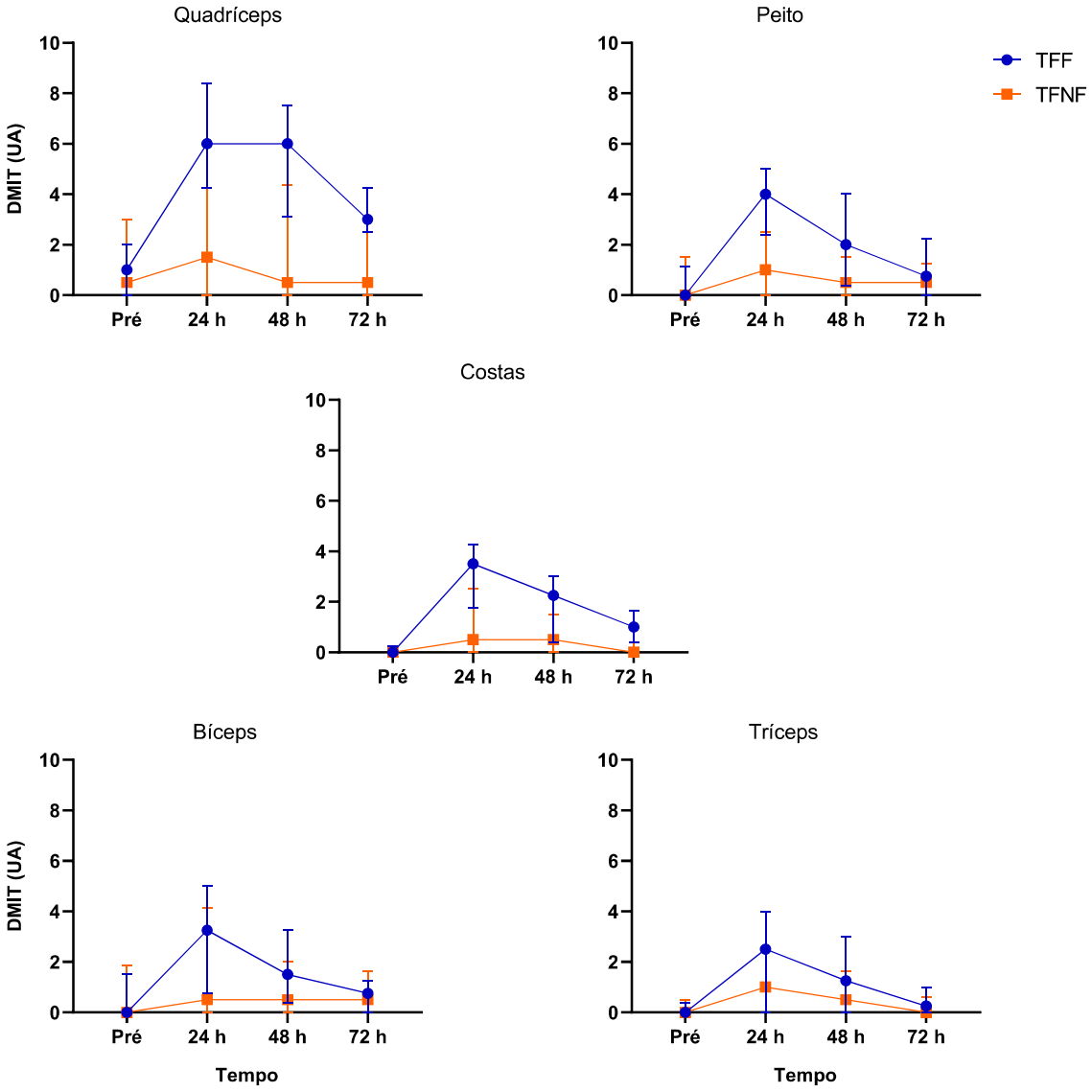


Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. LDH, lactato desidrogenase; TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

De forma geral, a DMIT apresentou respostas dependentes do grupamento muscular, moduladas principalmente pela condição e pela interação condição × tempo, em consonância com os marcadores indiretos de lesão tecidual. No quadríceps, observou-se efeito principal da condição (Wald χ^2 = 20,407; gl = 1; p < 0,001), com maiores valores no TFF em comparação ao TFNF, além de interação condição × tempo significativa ao longo de 24-72 horas pós-TF (p ≤ 0,005). Para o peitoral maior e o latíssimo do dorso, não houve efeito principal da condição (p ≥ 0,053), mas houve efeito significativo do tempo (p ≤ 0,033), acompanhado de interações condição × tempo em 24-48 horas para o peitoral maior e 24-72 horas para o latíssimo do dorso (p ≤ 0,033), indicando maior DMIT na condição TFF nesses momentos. Nos músculos bíceps e tríceps braquial, não foram observados efeitos principais isolados da condição ou tempo (p ≥ 0,089); contudo, a interação condição

× tempo foi significativa em 24-48 horas (p ≤ 0,028), com maiores valores de DMIT na condição TFF, conforme sintetizado na Figura 13.

Figura 13. DMIT por grupamento muscular antes e após as sessões de TF.



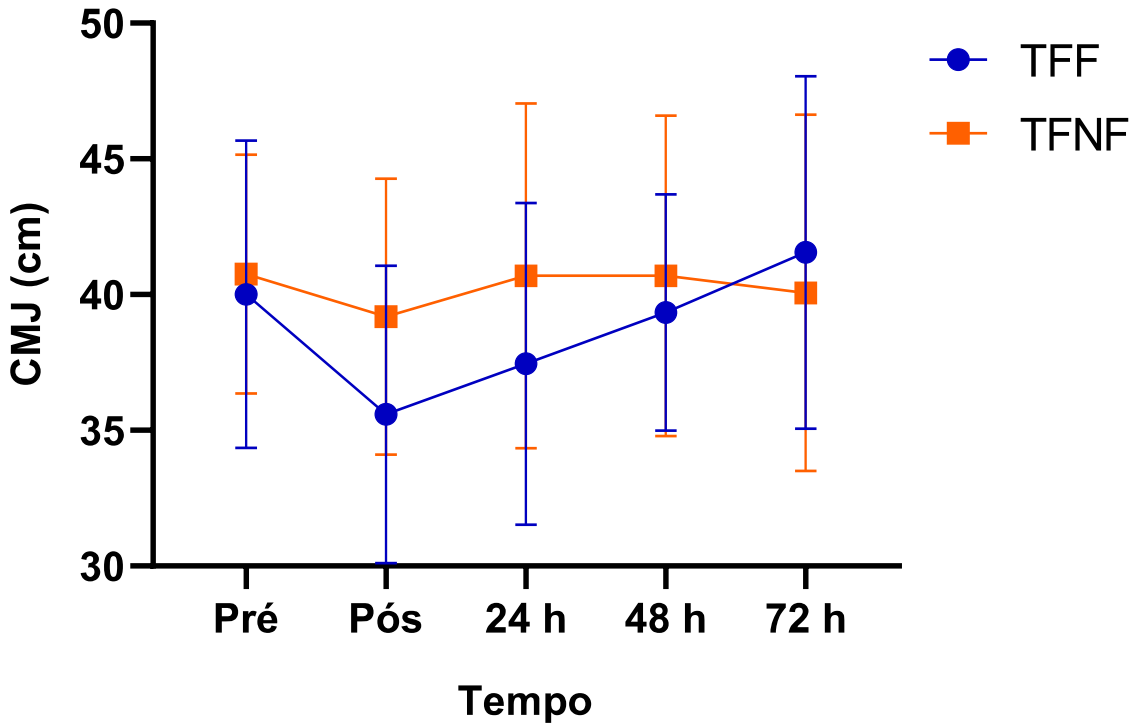
Legenda: Dados apresentados como mediana e intervalo interquartil. DMIT, dor muscular de início tardio; TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.5.6 Função neuromuscular e recuperação global

A função neuromuscular, avaliada pelo CMJ, foi modulada pela condição e pelo tempo. Observou-se efeito principal da condição (Wald $\chi^2 = 19,646$; gl = 1; $p < 0,001$), com valores superiores do CMJ no TFNF em comparação ao TFF (40,275 cm [IC 95%: 38,536 – 42,093] vs. 38,733 cm [IC 95%: 37,022 – 40,522], respectivamente). Também houve efeito significativo do tempo (Wald $\chi^2 = 217,103$; gl = 4; $p < 0,001$), refletindo a redução aguda do salto pós-TF e a recuperação progressiva ao longo das 72 horas pós-TF. A interação condição × tempo foi significativa ($p < 0,05$), indicando recuperação mais acelerada do CMJ na condição TFNF, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14. CMJ antes e após as sessões de treinamento TF.

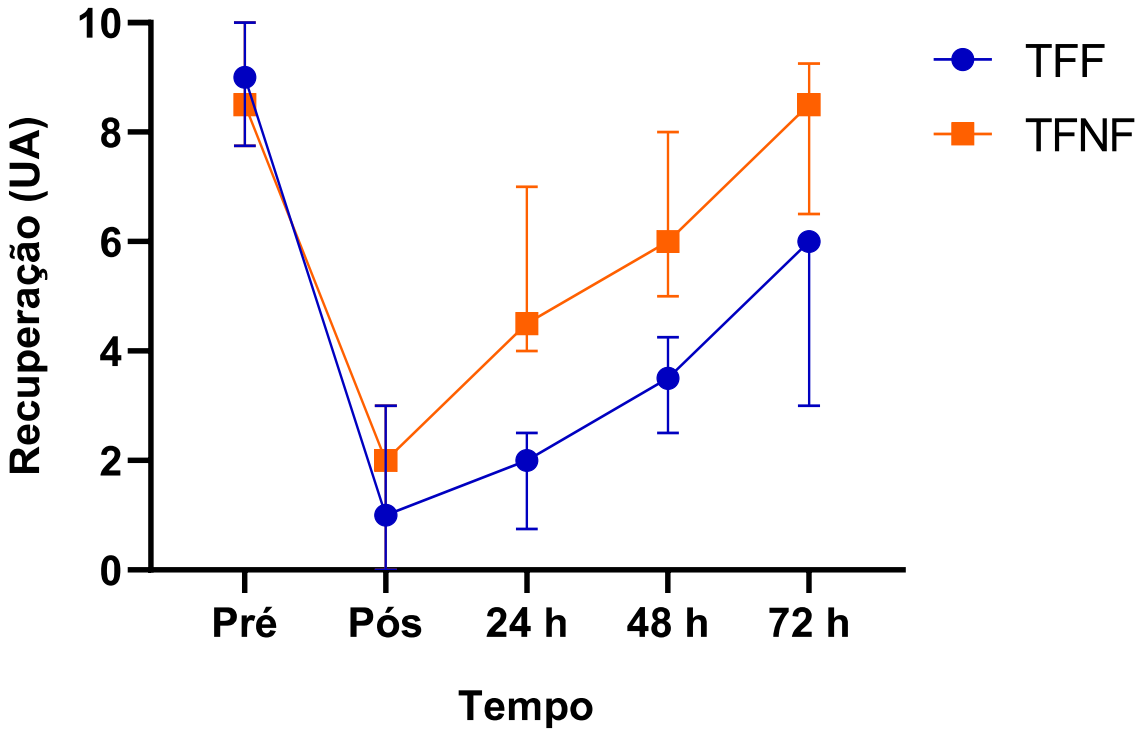


Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. CMJ, salto com contramovimento; TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A recuperação percebida apresentou efeito principal da condição (Wald χ^2 = 12,567; gl = 1; p < 0,001) e do tempo (Wald χ^2 = 217,103; gl = 4; p < 0,001). De forma consistente, a condição TFNF exibiu escores mais elevados de recuperação percebida ao longo do período analisado [TFNF = 5,19 UA (IC 95%: 4,53 - 5,96) vs. TFF = 3,25 UA (IC 95%: 2,66 - 3,96)]. A interação condição × tempo foi significativa (p < 0.01), evidenciando recuperação percebida mais rápida na condição TFNF, particularmente entre 24 e 72 horas pós-TF, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15. Recuperação percebida antes e após as sessões de TF.



Legenda: Dados apresentados como mediana e intervalo interquartil. TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.5.7 Respostas cardiovasculares

No repouso tardio, as variáveis cardiovasculares permaneceram globalmente estáveis, sem evidência de impacto residual diferencial entre as condições (Tabela 3). Não foram observados efeitos principais da condição ou do tempo, nem interação

condição × tempo, para FC (Wald $\chi^2 \leq 3,367$; gl = 1-3; $p \geq 0,406$), PAS (Wald $\chi^2 \leq 0,431$; gl = 1-3; $p \geq 0,594$), PAM (Wald $\chi^2 \leq 6,189$; gl = 1-3; $p \geq 0,103$) e DP (Wald $\chi^2 \leq 0,834$; gl = 1-3; $p \geq 0,593$). Para a PAD, foi identificado efeito significativo do tempo (Wald $\chi^2 = 10,940$; gl = 3; $p = 0,012$), sem efeito principal da condição ($p = 0,443$); a interação condição × tempo foi limitada, sem evidência de um padrão consistente ao longo do período de 24-72 horas.

Tabela 3. Respostas cardiovasculares no repouso tardio.

Variável	Condição	Pré	24 h	48 h	72 h
FC (bpm)	TFF	60,33 (52,11–68,56)	57,33 (52,70–61,96)	57,67 (53,99–61,34)	54,83 (51,36–58,31)
FC (bpm)	TFNF	60,50 (53,45–67,55)	56,00 (50,21–61,79)	57,17 (51,72–62,62)	57,00 (50,46–63,54)
PAS (mmHg)	TFF	116,83 (97,21–136,46)	116,33 (110,34–122,33)	117,00 (108,74–125,26)	120,00 (110,07–129,93)
PAS (mmHg)	TFNF	114,67 (103,43–125,90)	116,33 (105,43–127,23)	116,83 (107,77–125,90)	116,67 (108,10–125,24)
PAD (mmHg)	TFF	76,33 (58,75–93,91)	75,67 (68,97–82,36)	71,00 (61,73–80,27)	62,33 (55,13–69,53)
PAD (mmHg)	TFNF	74,33 (63,68–84,99)	70,67 (63,94–77,39)	70,33 (60,45–80,22)	64,67 (55,60–73,73)
PAM (mmHg)	TFF	89,82 (72,18–107,46)	89,21 (85,94–92,48)	86,32 (79,34–93,30)	81,54 (75,71–87,37)
PAM (mmHg)	TFNF	87,76 (79,86–95,66)	85,87 (81,29–90,46)	85,82 (77,03–94,61)	81,98 (74,01–89,96)
DP (bpm·mmHg)	TFF	7122,67 (5209,57–9035,76)	6656,33 (6229,17–7083,49)	6748,67 (6095,66–7401,68)	6574,00 (5977,20–7170,80)
DP (bpm·mmHg)	TFNF	6921,67 (5975,49–7867,85)	6519,00 (5527,58–7510,42)	6661,67 (6058,33–7265,01)	6635,00 (5909,73–7360,27)

Legenda: valores apresentados como média (IC 95%). FC, frequência cardíaca; PAS, pressão arterial sistólica; PAD, pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; DP, duplo produto; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF: treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; 24 h, 24 horas pós-TF; 48 h, 48 horas pós-TF; 72 h, 72 horas pós-TF; IC 95%: intervalo de confiança 95%.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Durante a execução dos exercícios, observou-se efeito principal da condição na FC em todos os exercícios (Wald χ^2 = 7,463 - 104,422; gl = 1; p ≤ 0,006) com valores mais elevados no TFF; sem efeito principal da série na maioria dos exercícios (p ≥ 0,281), enquanto a interação condição × série foi significativa de maneira recorrente, o DP também apresentou efeito principal da condição em todos os exercícios (Wald χ^2 = 8,317 - 39,431; gl = 1; p ≤ 0,004), com maiores valores no TFF e interação condição × série frequentemente significativa (p < 0,05). Para PAS, houve efeito principal da condição em todos os exercícios (Wald χ^2 = 4,396 - 6,525; gl = 1; p = 0,012 - 0,036), com valores superiores no TFF; o efeito da série foi discreto e observado apenas no *leg press* 45° (Wald χ^2 = 11,187; gl = 2; p = 0,004). Para PAD, o TFF também foi associado a valores mais elevados na maioria dos exercícios (Wald χ^2 = 5,365 - 13,267; gl = 1; p ≤ 0,021), com exceção dos exercícios rosca bíceps e rosca tríceps, nos quais o efeito principal da condição não foi observado (p = 0,139 e p = 0,641). Em paralelo, a PAM apresentou efeito principal da condição em todos os exercícios (Wald χ^2 = 4,294 - 11,827; gl = 1; p ≤ 0,038), com valores superiores no TFF e interações condição × série presentes em parte dos exercícios (Tabela 4).

Tabela 4. Respostas cardiovasculares durante os exercícios.

Exercício	Variável	Condição	Série 1	Série 2	Série 3
Leg press 45°	FC (bpm)	TFF	171,83 (159,22–184,45)	174,83 (160,97–188,70)	168,33 (151,93–184,73)
Leg press 45°	FC (bpm)	TFNF	152,83 (138,18–167,49)	147,50 (126,41–168,59)	148,83 (127,67–169,99)
Leg press 45°	DP (UA)	TFF	25293,00 (22507,06–28078,94)	24913,33 (23186,57–26640,09)	22435,67 (20001,11–24870,22)
Leg press 45°	DP (UA)	TFNF	21250,33 (18979,01–23521,66)	20034,33 (16447,59–23621,07)	19725,67 (17151,56–22299,77)
Leg press 45°	PAS (mmHg)	TFF	147,00 (138,22–155,78)	142,67 (136,93–148,40)	133,50 (123,48–143,52)
Leg press 45°	PAS (mmHg)	TFNF	139,00 (134,26–143,74)	135,67 (123,91–147,42)	132,83 (126,25–139,42)
Leg press 45°	PAD (mmHg)	TFF	73,17 (69,39–76,95)	73,67 (68,13–79,21)	70,83 (62,37–79,29)
Leg press 45°	PAD (mmHg)	TFNF	66,33 (57,89–74,77)	64,33 (54,91–73,76)	64,00 (54,34–73,66)
Leg press 45°	PAM (mmHg)	TFF	97,75 (92,95–102,55)	96,64 (92,91–100,37)	91,70 (85,98–97,42)
Leg press 45°	PAM (mmHg)	TFNF	90,53 (84,25–96,81)	88,09 (78,33–97,85)	86,92 (79,55–94,30)
Supino reto barra	FC (bpm)	TFF	171,17 (157,05–185,28)	168,83 (154,62–183,04)	167,00 (151,69–182,31)
Supino reto barra	FC (bpm)	TFNF	143,33 (122,22–164,44)	143,17 (123,15–163,18)	146,50 (126,54–166,46)
Supino reto barra	Duplo produto (UA)	TFF	25725,00 (21014,82–30435,18)	25708,67 (20922,00–30495,33)	24197,67 (20671,98–27723,35)
Supino reto barra	Duplo produto (UA)	TFNF	19763,00 (14957,41–24568,59)	19329,00 (14404,08–24253,92)	20378,33 (15245,72–25510,94)
Supino reto barra	PAS (mmHg)	TFF	150,33 (126,80–173,87)	152,00 (130,35–173,65)	145,00 (128,38–161,62)
Supino reto barra	PAS (mmHg)	TFNF	136,67 (123,55–149,79)	134,00 (115,99–152,01)	138,33 (116,91–159,75)
Supino reto barra	PAD (mmHg)	TFF	77,67 (69,33–86,00)	75,33 (64,91–85,76)	76,67 (66,33–87,01)
Supino reto barra	PAD (mmHg)	TFNF	70,00 (62,26–77,74)	68,17 (57,54–78,79)	73,33 (66,61–80,06)
Supino reto barra	PAM (mmHg)	TFF	101,86 (91,14–112,59)	100,86 (87,87–113,86)	99,42 (89,42–109,43)
Supino reto barra	PAM (mmHg)	TFNF	92,20 (84,02–100,38)	90,09 (81,08–99,10)	94,98 (84,70–105,25)
Remada neutra	FC (bpm)	TFF	169,50 (158,28–180,72)	166,17 (157,25–175,08)	159,83 (151,09–168,57)
Remada neutra	FC (bpm)	TFNF	153,33 (133,78–172,88)	158,67 (143,28–174,06)	159,33 (144,92–173,75)
Remada neutra	DP (UA)	TFF	22259,33 (20854,29–23664,37)	21545,67 (20254,89–22836,44)	19795,00 (18126,09–21463,91)
Remada neutra	DP (UA)	TFNF	19397,33 (15955,59–22839,08)	19305,00 (17330,67–21279,33)	19181,67 (17289,62–21073,72)
Remada neutra	PAS (mmHg)	TFF	131,67 (121,10–142,24)	130,00 (118,43–141,57)	124,00 (113,63–134,37)
Supino reto barra	Duplo produto (UA)	TFNF	19763,00 (14957,41–24568,59)	19329,00 (14404,08–24253,92)	20378,33 (15245,72–25510,94)
Supino reto barra	PAS (mmHg)	TFF	150,33 (126,80–173,87)	152,00 (130,35–173,65)	145,00 (128,38–161,62)
Supino reto barra	PAS (mmHg)	TFNF	136,67 (123,55–149,79)	134,00 (115,99–152,01)	138,33 (116,91–159,75)
Supino reto barra	PAD (mmHg)	TFF	77,67 (69,33–86,00)	75,33 (64,91–85,76)	76,67 (66,33–87,01)

Exercício	Variável	Condição	Série 1	Série 2	Série 3
Supino reto barra	PAD (mmHg)	TFNF	70,00 (62,26–77,74)	68,17 (57,54–78,79)	73,33 (66,61–80,06)
Supino reto barra	PAM (mmHg)	TFF	101,86 (91,14–112,59)	100,86 (87,87–113,86)	99,42 (89,42–109,43)
Supino reto barra	PAM (mmHg)	TFNF	92,20 (84,02–100,38)	90,09 (81,08–99,10)	94,98 (84,70–105,25)
Remada neutra	FC (bpm)	TFF	169,50 (158,28–180,72)	166,17 (157,25–175,08)	159,83 (151,09–168,57)
Remada neutra	FC (bpm)	TFNF	153,33 (133,78–172,88)	158,67 (143,28–174,06)	159,33 (144,92–173,75)
Remada neutra	DP (UA)	TFF	22259,33 (20854,29–23664,37)	21545,67 (20254,89–22836,44)	19795,00 (18126,09–21463,91)
Remada neutra	DP (UA)	TFNF	19397,33 (15955,59–22839,08)	19305,00 (17330,67–21279,33)	19181,67 (17289,62–21073,72)
Remada neutra	PAS (mmHg)	TFF	131,67 (121,10–142,24)	130,00 (118,43–141,57)	124,00 (113,63–134,37)
Remada neutra	PAS (mmHg)	TFNF	126,33 (114,06–138,60)	121,67 (117,18–126,15)	120,33 (118,27–122,40)
Remada neutra	PAD (mmHg)	TFF	75,00 (65,18–84,82)	69,00 (57,99–80,01)	67,00 (60,13–73,87)
Remada neutra	PAD (mmHg)	TFNF	68,33 (57,12–79,55)	64,00 (58,86–69,14)	66,67 (55,35–77,98)
Remada neutra	PAM (mmHg)	TFF	93,87 (87,22–100,52)	89,31 (83,87–94,75)	85,98 (81,09–90,87)
Remada neutra	PAM (mmHg)	TFNF	87,65 (78,55–96,75)	83,20 (78,66–87,75)	84,54 (76,49–92,58)
Agachamento guiado	FC (bpm)	TFF	176,33 (168,78–183,89)	171,83 (164,70–178,96)	168,50 (161,77–175,23)
Agachamento guiado	FC (bpm)	TFNF	165,33 (156,27–174,40)	160,33 (152,49–168,18)	162,33 (152,61–172,06)
Agachamento guiado	DP (UA)	TFF	21611,67 (18182,26–25041,07)	20364,00 (16599,68–24128,32)	19643,33 (16346,82–22939,84)
Agachamento guiado	DP (UA)	TFNF	18664,83 (17266,20–20063,47)	18913,33 (16918,33–20908,34)	17198,33 (14630,95–19765,71)
Agachamento guiado	PAS (mmHg)	TFF	122,67 (103,45–141,89)	119,00 (94,93–143,07)	117,00 (95,04–138,96)
Agachamento guiado	PAS (mmHg)	TFNF	113,00 (104,93–121,07)	118,33 (102,89–133,78)	106,67 (86,03–127,30)
Agachamento guiado	PAD (mmHg)	TFF	64,33 (54,45–74,22)	61,33 (53,30–69,37)	64,33 (55,79–72,88)
Agachamento guiado	PAD (mmHg)	TFNF	62,50 (58,11–66,89)	57,00 (53,07–60,93)	53,17 (47,44–58,89)
Agachamento guiado	PAM (mmHg)	TFF	83,76 (73,53–93,99)	80,54 (70,42–90,65)	81,87 (72,12–91,63)
Agachamento guiado	PAM (mmHg)	TFNF	79,32 (74,99–83,65)	77,42 (73,85–81,00)	70,98 (65,17–76,79)
Rosca bíceps	FC (bpm)	TFF	162,33 (152,95–171,71)	159,83 (152,14–167,53)	156,83 (146,44–167,23)
Rosca bíceps	FC (bpm)	TFNF	150,17 (137,17–163,16)	150,17 (138,62–161,71)	143,83 (132,58–155,09)
Rosca bíceps	DP (UA)	TFF	17923,83 (16245,82–19601,85)	17760,00 (16133,04–19386,96)	17598,17 (16008,24–19188,10)
Rosca bíceps	DP (UA)	TFNF	16652,33 (14503,61–18801,05)	15846,33 (13862,95–17829,72)	14932,67 (12550,43–17314,90)
Rosca bíceps	PAS (mmHg)	TFF	110,83 (97,32–124,34)	111,33 (99,49–123,18)	112,17 (106,21–118,12)
Rosca bíceps	PAS (mmHg)	TFNF	110,67 (103,44–117,90)	105,33 (97,86–112,80)	103,67 (89,41–117,93)
Rosca bíceps	PAD (mmHg)	TFF	61,33 (56,43–66,24)	64,67 (58,49–70,85)	65,00 (56,12–73,88)

Exercício	Variável	Condição	Série 1	Série 2	Série 3
Rosca bíceps	PAD (mmHg)	TFNF	60,67 (54,63–66,70)	62,83 (56,52–69,14)	58,67 (51,68–65,65)
Rosca bíceps	PAM (mmHg)	TFF	77,82 (70,91–84,72)	80,21 (75,05–85,36)	80,71 (75,82–85,59)
Rosca bíceps	PAM (mmHg)	TFNF	77,32 (71,74–82,90)	76,99 (71,95–82,03)	73,65 (65,66–81,65)
Rosca tríceps	FC (bpm)	TFF	161,67 (154,88–168,46)	156,33 (151,25–161,42)	155,50 (151,64–159,36)
Rosca tríceps	FC (bpm)	TFNF	143,33 (127,45–159,22)	146,33 (131,51–161,15)	146,00 (130,71–161,29)
Rosca tríceps	DP (UA)	TFF	19729,67 (15945,86–23513,47)	18010,67 (13851,97–22169,36)	17779,67 (14042,07–21517,26)
Rosca tríceps	DP (UA)	TFNF	15928,33 (12294,88–19561,79)	15486,33 (12981,42–17991,25)	15036,67 (12486,30–17587,03)
Rosca tríceps	PAS (mmHg)	TFF	121,83 (101,37–142,30)	115,00 (90,64–139,36)	114,17 (91,99–136,34)
Rosca tríceps	PAS (mmHg)	TFNF	110,33 (93,52–127,15)	105,67 (93,91–117,42)	102,67 (91,99–113,34)
Rosca tríceps	PAD (mmHg)	TFF	63,33 (54,76–71,90)	63,00 (57,73–68,27)	62,33 (59,54–65,12)
Rosca tríceps	PAD (mmHg)	TFNF	61,67 (53,77–69,57)	66,33 (61,12–71,55)	58,50 (54,01–62,99)
Rosca tríceps	PAM (mmHg)	TFF	82,81 (75,88–89,75)	80,32 (72,01–88,62)	79,59 (71,35–87,84)
Rosca tríceps	PAM (mmHg)	TFNF	77,87 (69,59–86,15)	79,43 (73,62–85,24)	73,21 (68,54–77,88)

Legenda: valores apresentados como média (IC 95%). FC, frequência cardíaca; PAS, pressão arterial sistólica; PAD, pressão arterial diastólica; PAM, pressão arterial média; DP, duplo produto; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

No período pós-TF, o efeito hipotensor foi modulado principalmente pela condição, com tempo desempenhando papel secundário. Para PAS, PAD e PAM, observou-se efeito principal da condição (Wald χ^2 = 8,765 - 23,185; gl = 1; $p \leq 0,003$), indicando valores superiores na condição TFF, enquanto o efeito do tempo não foi significativo ($p \geq 0,153$). A interação condição × tempo foi ausente ou restrita a efeitos pontuais, sem evidência de alteração substancial do padrão ao longo dos 30 minutos. Em conjunto, esses resultados indicam que, apesar da dinâmica temporal semelhante no pós-TF imediato, a condição TFF foi associada a maior magnitude da resposta pressórica nesse período, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Respostas cardiovasculares pós-TF.

Variável	Condição	10 min	20 min	30 min
PAS (mmHg)	TFF	110,00 (101,93–118,07)	107,00 (98,22–115,78)	109,33 (102,61–116,06)
PAS (mmHg)	TFNF	96,33 (85,60–107,07)	89,67 (78,85–100,48)	95,67 (88,97–102,36)
PAD (mmHg)	TFF	66,33 (57,89–74,77)	66,17 (55,88–76,46)	70,00 (58,50–81,50)
PAD (mmHg)	TFNF	62,67 (59,51–65,83)	57,33 (47,52–67,15)	63,00 (58,08–67,92)
PAM (mmHg)	TFF	80,87 (73,02–88,72)	79,76 (70,54–88,99)	83,10 (73,45–92,75)
PAM (mmHg)	TFNF	73,88 (68,73–79,02)	68,10 (58,46–77,74)	73,88 (70,19–77,56)

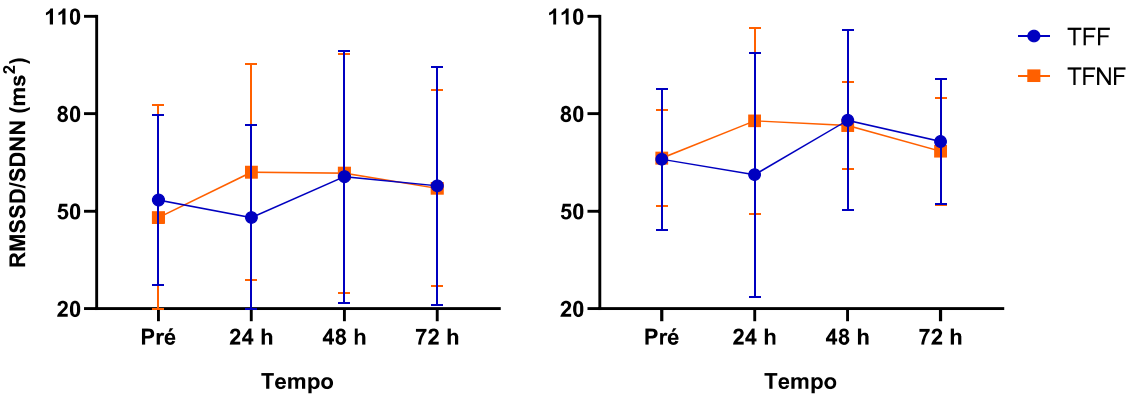
Legenda: valores apresentados como média (IC 95%). TF, treinamento de força; PAS, pressão arterial sistólica; PAD, pressão arterial diastólica; PAM, pressão arterial média; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF, treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; IC 95%, intervalo de confiança 95%.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

3.5.8 Controle autonômico cardíaco

A recuperação autonômica foi avaliada por índices de VFC ao longo de 72 horas pós-TF. Para a RMSSD, a análise por GEE com distribuição Gamma não identificou efeito principal da condição (Wald $\chi^2 = 0,132$; gl = 1; p = 0,716), do tempo (Wald $\chi^2 = 0,788$; gl = 3; p = 0,852), nem interação condição × tempo (Wald $\chi^2 = 1,813$; gl = 3; p = 0,612), indicando preservação semelhante da modulação parassimpática ao longo do período de recuperação após TFF e TFNF. Da mesma forma, a SDNN também não apresentou efeito significativo da condição (Wald $\chi^2 = 0,040$; gl = 1; p = 0,842), do tempo (Wald $\chi^2 = 3,068$; gl = 3; p=0,381) ou da interação condição × tempo (Wald $\chi^2 = 2,339$; gl = 3; p = 0,505), sugerindo que a VFC global permaneceu estável ao longo de 72 horas, independentemente da estratégia de execução do TF, conforme apresentado na figura 16.

Figura 16. Controle autonômico cardíaco antes e após as sessões de TF.



Legenda: Dados apresentados como média e IC 95%. TF, treinamento de força; TFF, treinamento de força até a falha muscular momentânea; TFNF: treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea; RMSSD: raiz quadrada da média do quadrado das diferenças; SDNN: desvio padrão dos intervalos NN; IC 95%: intervalo de confiança 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.5.9 Associação entre marcadores de lesão tecidual e desempenho neuromuscular

As correlações de Spearman entre as variáveis de lesão tecidual e desempenho neuromuscular estão detalhadas na Tabela 6. Observou-se uma

correlação negativa moderada e significativa entre os níveis de CPK e recuperação percebida ($r = -0,589$; $p < 0,01$), indicando uma variância compartilhada de 34%. De forma similar, a CPK apresentou correlação negativa moderada com o desempenho no CMJ ($r = -0,553$; $p < 0,01$), com uma variância compartilhada de 30%. Não foi encontrada associação significativa entre recuperação percebida e CMJ ($r = 0,223$; $p > 0,05$). Adicionalmente, o teste de transformação de Fisher (r-to-z) revelou que não houve diferença estatística na magnitude das associações da CPK com a recuperação percebida e o CMJ ($z = 0,068$; $p = 0,473$), demonstrando que a CPK se associou de forma equivalente a ambos os indicadores.

Tabela 6. Matriz de correlação de Spearman entre CPK, CMJ e recuperação percebida.

	CPK ($U \cdot L^{-1}$)	**CMJ (cm)**	**Recuperação percebida (UA)**
CPK ($U \cdot L^{-1}$)	-		
CMJ (cm)	-0,553	-	
Recuperação percebida (UA)	-0,589	0,223	-

Legenda: CPK: creatinofosfoquinase; CMJ: salto com contramovimento.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

3.6 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar o efeito de uma sessão de TF envolvendo múltiplos exercícios para o corpo inteiro, realizado até a falha muscular momentânea ou sem a sua ocorrência, sobre as respostas mecânicas, perceptivas, metabólicas, neuromusculares, cardiovasculares e autonômicas em homens experientes em TF. Para tal, um delineamento cruzado, randomizado com medidas repetidas foi adotado, partindo da hipótese de que o TFF causaria maior desequilíbrio metabólico e maior comprometimento das respostas perceptivas, cardiovasculares, autonômicas e neuromusculares em comparação ao TFNF. Os resultados confirmaram a hipótese, demonstrando que o TFF impôs maior custo fisiológico global, evidenciado por uma elevação superior da PSE, maior estresse metabólico, maior magnitude dos marcadores indiretos de lesão tecidual, maior comprometimento da função neuromuscular e respostas cardiovasculares mais acentuadas durante o exercício.

Os achados desta pesquisa estão alinhados com evidências prévias que demonstram que menor proximidade da falha ou menor perda de velocidade tendem a otimizar a relação estímulo–fadiga, favorecendo a recuperação e o desempenho (Pareja-Blanco *et al.*, 2020; Sánchez-Medina; González-Badillo, 2011), ao passo que o TFF está associado a um maior estresse sistêmico agudo, sem benefícios mecânicos proporcionais (Gorostiaga *et al.*, 2014; Morán-Navarro *et al.*, 2017). Dessa forma, os presentes resultados reforçam que o TFF constitui uma estratégia de elevada demanda orgânica, cuja aplicação deve ser criteriosamente ponderada no contexto da prescrição do TF, especialmente quando a otimização da recuperação, a sustentabilidade do estímulo e o controle da carga interna são prioridades (Schoenfeld, 2010; Schoenfeld; Grgic, 2019).

Em relação ao esforço percebido, o TFF resultou em uma resposta significativamente superior em comparação ao TFNF, conforme evidenciado por maiores valores de PSE e RIR próxima de zero, corroborando com o entendimento de que a proximidade da falha constitui o principal modulador da fadiga aguda no TF (Refalo *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2022). De fato, estudos experimentais demonstraram que a PSE aumenta de forma acentuada e não linear à medida que as séries se aproximam da falha momentânea, independentemente da carga utilizada (Párraga-Montilla *et al.*, 2020; Refalo *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2019; Vasquez *et al.*, 2013), o que reforça a sensibilidade da PSE como um marcador válido da carga interna e do estresse fisiológico imposto a partir da associação observada entre a sua elevação e a RIR próxima de zero durante o TFF (Martorelli *et al.*, 2021). Em contraste, o TFNF apresentou menores valores de PSE e maior distância da falha momentânea, evidenciando menor perturbação neuromuscular, o que está em consonância com evidências recentes que indicam que a interrupção deliberada das séries antes da falha momentânea, tipicamente entre 1 e 3 RIR, permite reduzir substancialmente a fadiga sem comprometer as adaptações hipertróficas, desde que o VTT seja adequadamente controlado (Grgic *et al.*, 2021; Robinson *et al.*, 2024; Vieira *et al.*, 2021).

À luz dos achados relacionados a um maior esforço percebido, torna-se fisiologicamente plausível esperar um maior estresse metabólico e estrutural associado ao TFF (Refalo *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2022). Os valores mais elevados de lactato, cortisol, CPK, LDH e DMIT observados no TFF indicam maior perturbação homeostática, mesmo sem um incremento proporcional no VTT. O aumento do lactato

sanguíneo sugere maior dependência das vias glicolíticas e maior perturbação do equilíbrio ácido-base intramuscular, fenômenos clássicos associados ao TFF (Gorostiaga *et al.*, 2014). Esse ambiente metabólico pode estimular aferentes musculares metabolossensíveis dos grupos III e IV, os quais respondem ao acúmulo de subprodutos intramusculares associados à fadiga, como íons hidrogênio, fosfato inorgânico e lactato, contribuindo para maior PSE, desconforto e limitação do desempenho durante o exercício (Amann; Dempsey, 2008; Borg, 1982; Kniffeki *et al.*, 1981; Mitchell *et al.*, 1983).

No que tange ao eixo endócrino, o maior aumento do cortisol no TFF é compatível com evidências de que sua concentração circulante se relaciona diretamente com a intensidade do exercício (Singh; Staines, 2015), refletindo numa maior ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, sobretudo em protocolos envolvendo múltiplos exercícios e grandes grupamentos musculares. Nesse sentido, Raastad *et al.* (2000) demonstraram o TFF quando comparado ao TFNF, promoveu maiores elevações no cortisol acompanhadas por aumentos concomitantes do hormônio adrenocorticotrófico, em um protocolo envolvendo exercícios multiarticulares e uniarticulares para membros inferiores. Tal resposta é consistente com a elevada demanda imposta por exercícios que recrutam grande quantidade de massa muscular, particularmente o quadríceps femoral (Ribeiro *et al.*, 2017).

Em contraste, o TFNF, particularmente quando realizado com cargas elevadas e maior VTT, parece favorecer uma resposta hormonal relativamente mais estável, com maiores concentrações de testosterona. Tal achado pode ser explicado por um menor predomínio do ambiente catabólico associado à hiperativação do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal, que pode exercer efeito inibitório agudo sobre o eixo hipotálamo–hipófise–gonadal, resultando numa redução temporária na secreção ou na manutenção dos níveis de testosterona circulante no período pós-TF (Adlercreutz *et al.*, 1986; Hackney, 2006). Além disso, a magnitude da resposta aguda da testosterona ao TF não parece ser primariamente modulada pela PSE ou RIR, mas sim pelo VTT. Assim, a maior testosterona observada no TFNF pode ser interpretada como reflexo de um ambiente fisiológico menos catabólico e um maior VTT como observado no presente estudo. Contudo, em consonância com evidências robustas, essas respostas hormonais agudas devem ser interpretadas com cautela, uma vez que elevações transitórias da testosterona pós-TF não apresentam associação

consistente com os ganhos hipertróficos crônicos (Morton *et al.*, 2016; West *et al.*, 2010).

No que se refere os marcadores indiretos de lesão tecidual, os maiores níveis de CPK após o TFF sugerem maior perturbação da integridade estrutural muscular, possivelmente ligada ao prolongamento do tempo sob tensão em condições avançadas de fadiga e da execução das repetições finais com menor eficiência mecânica (González-Hernández *et al.*, 2021; Morán-Navarro *et al.*, 2017; Pareja-Blanco *et al.*, 2020; Párraga-Montilla *et al.*, 2020; Refalo *et al.*, 2023). Esse aumento pode estar associado ao maior número de repetições realizas no TFF quando comparado ao TFNF, ampliando a exposição do tecido muscular, sobretudo às ações excêntricas, reconhecidamente relacionadas a lesão tecidual (Kang *et al.*, 2018). Contudo, a interpretação da CPK deve ser realizada com cautela, considerando sua elevada variabilidade interindividual, com indivíduos hiper- e hipo-respondedores (Clarkson, 1992; Koch *et al.*, 2014); bem como o efeito protetor da repetição de carga, que pode atenuar as respostas enzimáticas em exposições subsequentes ao mesmo estímulo mecânico (Chen *et al.*, 2019).

Diante das limitações da interpretação isolada da CPK, a avaliação da lesão tecidual deve ser conduzida de forma integrada, incorporando indicadores complementares, como a DMIT, perda transitória da força, inflamação local e outros marcadores indiretos como a LDH, além da associação com variáveis neuromusculares e perceptivas. Nessa perspectiva, os achados do presente estudo demonstram que o TFF promoveu maior magnitude de lesão tecidual, evidenciada pela maior intensidade e duração da DMIT concomitante com as elevações mais pronunciadas de CPK e LDH. Tal resposta é consistente com o modelo fisiológico clássico, no qual o dano mecânico às miofibrilas, em conjunto com as alterações na integridade do sarcolema e a subsequente resposta inflamatória, constitui o principal mecanismo subjacente ao desenvolvimento da DMIT (Clarkson; Hubal, 2002; Fridén; Lieber, 2001; Proske; Morgan, 2001).

Como análise complementar, associações negativas moderadas a fortes entre os níveis de CPK e a recuperação percebida ($r=-0,589$) e entre CPK e o desempenho no CMJ ($r=-0,553$), com aproximadamente 30–34% de variância compartilhada, indicando que maiores elevações desse marcador estiveram associadas tanto a pior percepção de recuperação quanto ao maior comprometimento do desempenho neuromuscular. Esses resultados reforçam a interpretação de que a lesão tecidual

induzida pelo exercício não se restringe ao desarranjo estrutural, mas apresenta repercussões funcionais diretas sobre o desempenho (Byrne *et al.*, 2004).

A maior redução na altura do CMJ, acompanhada de uma recuperação percebida mais lenta após o TFF indica maior comprometimento da capacidade de produção de força, variável reconhecidamente sensível à fadiga neuromuscular e a lesão tecidual induzida pelo TF (Allen *et al.*, 2008; Byrne *et al.*, 2004). Sob essa perspectiva, Refalo *et al.* (2023) demonstram que protocolos realizados em maior proximidade da falha (TRF > 1-RIR > 3-RIR) promovem reduções progressivamente maiores na velocidade de execução do supino reto em indivíduos treinados, evidenciando maior perturbação do desempenho neuromuscular. De forma consistente, estudos prévios também reportaram quedas na velocidade de execução (Morán-Navarro *et al.*, 2017; Pareja-Blanco *et al.*, 2020) e na força voluntária isométrica máxima (Linnamo *et al.*, 2005; Shibata *et al.*, 2019). Em conjunto, esses achados sugerem que o TFF intensifica tanto as alterações cinemáticas (CMJ), quanto alterações cinéticas relacionadas à capacidade de geração de força, refletindo um estado transitório de fadiga periférica associado a perturbações contráteis no complexo excitação-contração muscular.

Paralelamente, a recuperação percebida acompanhou os desfechos funcionais e bioquímicos, apresentando escores sistematicamente mais elevados no TFNF ao longo de 24-72 horas. Esse comportamento reforça a compreensão de que a percepção de recuperação constitui um marcador integrativo do estresse imposto pelo TF, incorporando manifestações da DMIT, limitações funcionais e o estado global de prontidão para o exercício, sendo particularmente sensível a protocolos que induzem a maior fadiga acumulada (Halson, 2014; Laurent *et al.*, 2011). Em contraste, os índices de VFC permaneceram estáveis ao longo das 72 horas, sem diferenças entre as condições. Embora reduções agudas no RMSSD tenham sido previamente observadas nas horas subsequentes ao TFF (Pareja-Blanco *et al.*, 2016), tais respostas refletem perturbações autonômicas imediatas ao exercício. No presente contexto, a avaliação em repouso e em janelas temporais mais prolongadas provavelmente captou a recuperação relativamente rápida do controle autonômico. Essa dissociação entre marcadores periféricos de dano e respostas autonômicas é amplamente descrito na literatura, indicando que a VFC representa predominantemente a recuperação do sistema nervoso autônomo, não

acompanhando necessariamente a magnitude da lesão tecidual ou da fadiga neuromuscular periférica (Buchheit, 2014; Stanley *et al.*, 2013).

Em continuidade com os achados de preservação funcional e autonômica no TFNF, as respostas cardiovasculares reforçam uma distinção entre estresse hemodinâmico agudo imposto durante o exercício e a ausência de efeitos tardios clinicamente significativos. Durante a execução das séries, o TFF promoveu maior estresse cardiovascular, caracterizado por elevações mais acentuadas da FC, PAS, PAD e DP, resposta fisiologicamente atribuída ao maior acúmulo metabólico, ativação simpática e manutenção prolongada da tensão muscular (Macdougall *et al.*, 1985). Evidências subsequentes corroboram com esse comportamento, demonstrando que a proximidade da falha constitui um dos principais determinantes da magnitude das respostas hemodinâmicas durante a sessão de TF (Machado *et al.*, 2020). De forma convergente, De Souza *et al.* (2013), observaram maior ativação cardiovascular aguda no TFF em comparação ao TFNF, sem alterações persistentes nos mecanismos de regulação cardiovascular em repouso, resultado que reforça a interpretação de que o maior estresse cardiovascular associado ao TFF permanece predominantemente restrito ao momento do exercício.

No período de recuperação tardia (24-72 horas), observa-se estabilidade das variáveis cardiovasculares, indicando que uma sessão isolada de TF não produz alterações hemodinâmicas residuais em indivíduos treinados. De modo semelhante, o efeito hipotensor pós-TF apresentou magnitude comparável entre TFF e TFNF, sugerindo que esse fenômeno depende majoritariamente do volume de massa muscular recrutada e do estímulo contrátil global do que propriamente da realização de séries até a falha muscular (Halliwill, 2001; Macdonald, 2002). Sob a perspectiva aplicada, tais achados indicam que, embora o TFF imponha maior sobrecarga cardiovascular durante o esforço, protocolos submáximos controlados, como o TFNF, preservam benefícios cardiovasculares agudos semelhantes com menor estresse hemodinâmico, configurando uma estratégia particularmente adequada para populações clínicas, idosos ou indivíduos com maior risco cardiovascular (De Souza *et al.*, 2013; Williams *et al.*, 2007).

Os resultados do presente estudo indicaram que o controle da proximidade da falha constitui um elemento central para a prescrição eficiente e segura do TF. Embora o TFF aumente a carga interna, o estresse metabólico e os indicadores de lesão tecidual, tais respostas não resultaram em benefícios funcionais proporcionais, sendo

acompanhados por maior fadiga residual e recuperação mais lenta do desempenho neuromuscular. Em contraste, o TFNF demonstrou melhor preservação do desempenho neuromuscular, recuperação mais rápida e menor sobrecarga cardiovascular, caracterizando-se como uma estratégia mais sustentável ao longo do processo de TF. Sob a perspectiva aplicada, esses resultados sustentam a adoção do TFNF em modelos de periodização que exijam maior frequência semanal, melhor gestão da fadiga e maior segurança fisiológica, especialmente, em atletas durante fases de alto VTT, praticantes recreacionais e populações clínicas. O TFF, por sua vez, deve ser empregado de maneira pontual e estratégica, preferencialmente em indivíduos treinados e em blocos curtos e específicos da periodização, e não como prática contínua de prescrição (Grgic *et al.*, 2021; Schoenfeld; Grgic, 2019). Nesse contexto, a manipulação da proximidade da falha por meio do conceito de RIR, operacionalizada pela PSE, configura uma ferramenta prática e fisiologicamente coerente para o monitoramento e ajuste da intensidade no TF.

Algumas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A amostra foi composta exclusivamente por homens jovens treinados, o que restringe a generalização dos resultados para as mulheres, diferentes faixas etárias e níveis de treinamento, embora o cálculo amostral realizado a priori, com elevada potência estatística (96%), sustente a robustez interna das comparações realizadas. O delineamento cruzado randomizado, com ordem contrabalançada e período de *washout* de sete dias, reduziu potenciais efeitos de ordem, ainda que não elimine completamente possíveis efeitos residuais inerentes às investigações fisiológicas multimodais. De forma complementar, o caráter agudo do experimento limita inferências sobre as adaptações crônicas relacionadas ao TF, além do VTT que não foi equalizado entre as condições devido a uma opção metodológica intencional para comparar respostas ecologicamente válidas entre o TFF vs. TFNF. As respostas endócrinas e os indicadores de lesão tecidual foram avaliados por marcadores indiretos (testosterona, cortisol, CPK e LDH), sem medidas diretas estruturais ou moleculares, enquanto a VFC foi obtida em condições padronizadas, porém fora do repouso matinal controlado, o que pode ter reduzido a sensibilidade para detectar alterações autonômicas discretas. Por fim, variáveis externas, como sono e ingestão alimentar, não foram rigidamente controladas, embora os participantes tenham sido orientados a manter suas rotinas habituais e evitar sessões adicionais de TF. Assim, as associações observadas devem ser interpretadas em caráter relacional, e não

causal. Ainda assim, o rigor metodológico, a familiarização prévia, o controle experimental e a aplicação de modelos estatísticos adequados conferem consistência e confiabilidade aos achados apresentados.

Estudos futuros devem ampliar esses achados por meio de delineamentos experimentais que combinem intervenções agudas e crônicas, permitindo compreender se as diferenças observadas na carga interna, no estresse fisiológico e na dinâmica de recuperação, efetivamente se traduzem em adaptações morfológicas e funcionais de longo prazo. Investigações envolvendo diferentes populações, como mulheres, indivíduos mais velhos, iniciantes e grupos clínicos, são igualmente necessários para determinar a aplicabilidade da manipulação da proximidade da falha em contextos com distintas capacidades de tolerância ao TF. Além disso, a incorporação de medidas diretas de função neuromuscular como a eletromiografia de superfície, associadas a técnicas de imagem muscular e a análise de marcadores inflamatórios, poderá esclarecer com maior precisão os mecanismos centrais e periféricos subjacentes às respostas observadas. Por fim, abordagens periodizadas que combinem estrategicamente o TFF com TFNF despontam como uma perspectiva promissora para otimizar o estímulo adaptativo, ao mesmo tempo que favorecem uma gestão mais eficiente da fadiga e da recuperação, ampliando a aplicabilidade prática dos modelos contemporâneos de prescrição do TF.

3.7 CONCLUSÃO

Conclui-se que o TFF aumenta substancialmente a carga interna, o estresse metabólico e a lesão tecidual, resultando em maior comprometimento funcional e recuperação mais prolongada, sem benefícios adicionais evidentes no desempenho agudo quando comparado ao TFNF. Em contraste, o TFNF demonstrou maior eficiência fisiológica, ao preservar o desempenho neuromuscular, favorecer recuperação mais rápida e manter respostas autonômicas semelhantes. Dessa forma, os achados indicaram que a manipulação da proximidade da falha, e não a execução sistemática até a falha, constitui o elemento central para uma prescrição mais eficiente, sustentável e segura do TF, especialmente em contextos que exijam elevada frequência de treinamento e adequada gestão da fadiga.

4 ARTIGO 2 - FALHAR OU NÃO FALHAR? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM METANÁLISE DO TREINAMENTO DE FORÇA ATÉ A FALHA MUSCULAR MOMENTÂNEA VERSUS NÃO-FALHA PARA HIPERTROFIA MUSCULAR E FORÇA.

O artigo encontra-se atualmente finalizado e aguardando a revisão de todos os coautores para ser submetido.

4.1 RESUMO

A necessidade de alcançar a falha muscular momentânea para otimizar as adaptações neuromusculares e morfológicas permanece como um dos temas mais debatidos na ciência do esporte. Esta revisão sistemática com metanálise teve como objetivo investigar se o TFF promove adaptações superiores, semelhantes ou inferiores ao TFNF sobre a hipertrofia muscular e força de homens e mulheres saudáveis. Buscas foram realizadas nas bases: CENTRAL - *Cochrane Central Register of Controlled Trials*, Embase (Elsevier), MEDLINE (via PubMed®), Scopus (Elsevier) e Web of Science - *Core Collection* (Clarivate Analytics). Foram elegíveis ensaios clínicos randomizados (ECRs) que compararam protocolos de TFF e TFNF com duração mínima de seis semanas em adultos saudáveis (≥18 anos). O risco de viés foi avaliado pela ferramenta Cochrane RoB 2 e a qualidade metodológica foi avaliada pela escala PEDro. A síntese quantitativa foi conduzida por meio de modelos de efeitos aleatórios, estimando-se a diferença de média padronizada com correção para pequenas amostras, Hedges' *g*, e respectivos intervalos de confiança de 95% (IC 95%). A certeza da evidência foi avaliada pela abordagem GRADE. Quinze ECRs preencheram os critérios de elegibilidade, englobando 481 participantes (maioria homens; 60% destreinados e 33,3% treinados). A avaliação do risco de viés revelou que todos os estudos apresentaram "algumas preocupações", principalmente devido a fragilidades no processo de randomização e na seleção dos resultados relatados, embora tenham demonstrado controle exemplar na execução dos protocolos. A qualidade metodológica média foi de 5/10, com limitações consistentes relacionadas à ausência de cegamento e sigilo de alocação. A metanálise para hipertrofia muscular (31 estimativas) não revelou diferenças estatisticamente significativas entre TFF e TFNF (TE = 0,03; IC 95%: -0,04 a 0,09; p = 0,430; I^2 = 0%). Para a força (29

estimativas), o modelo demonstrou uma superioridade estatisticamente significativa, de magnitude trivial, favorecendo o TFNF (TE = -0,07; IC 95%: -0,12 a -0,02; p = 0,006; I^2 = 0%). A certeza da evidência foi classificada como “baixa” para a hipertrofia muscular, limitada por risco de viés grave (ausência de cegamento e falhas no sigilo de alocação) e viés de publicação suspeito (ajustado via *Trim and Fill*); e “moderada” para a força. Portanto, os achados indicam que o TFF não promove ganhos de massa muscular superiores aos observados no TFNF. Adicionalmente, para força, o TFNF apresentou vantagem estatisticamente significativa, porém de magnitude trivial. Considerando a maior fadiga e o maior estresse neuromuscular frequentemente associados ao TFF, a prescrição do TFNF, especialmente quando guiada por RIR, parece representar uma estratégia ao menos tão eficaz e potencialmente mais sustentável para promover adaptações neuromusculares e morfológicas em adultos saudáveis. Registro: PROSPERO (CRD420261430235; ANEXO C).

4.2 PONTOS-CHAVE

4.2.1 Hipertrofia muscular equivalente

O TFF não proporciona ganhos de massa muscular superiores aos observados no TFNF, indicando que a interrupção prévia à falha muscular momentânea é uma estratégia igualmente eficaz para a hipertrofia muscular.

4.2.2 Vantagem do TFNF para a força

A sumarização meta-analítica indica que o TFNF promove aumentos estatisticamente superiores na força muscular (dinâmica, isométrica e isocinética) quando comparado ao TFF.

4.2.3 Certeza da evidência e necessidade de rigor metodológico

A confiança na evidência atual é classificada como baixa para a hipertrofia muscular (afetada por vieses de publicação e limitações de delineamento) e moderada para a força. Isso destaca a necessidade de futuros ensaios clínicos randomizados com maior rigor no sigilo de alocação e no cegamento dos avaliadores.

4.3 INTRODUÇÃO

O Treinamento de Força (TF) é amplamente reconhecido como a principal intervenção não farmacológica para promover o aumento da hipertrofia muscular e força (Currier *et al.*, 2026). O desenvolvimento e a manutenção dessas valências físicas são fundamentais não apenas para o aprimoramento do desempenho atlético, mas também para a saúde funcional, longevidade e qualidade de vida da população em geral (Ashton *et al.*, 2020; Suchomel *et al.*, 2018; Suchomel *et al.*, 2016; Westcott, 2012). Com o objetivo de otimizar as adaptações neuromusculares e morfológicas, a manipulação adequada das variáveis que compõem o TF tem sido amplamente investigada (Schoenfeld *et al.*, 2021). Dentre essas variáveis, a proximidade da falha, compreendida como a distância entre o término da série e o momento em que o indivíduo se torna incapaz de completar a fase concêntrica de uma repetição, isto é, a falha muscular momentânea, emergiu como uma das variáveis de prescrição mais debatidas na literatura científica recente (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2026). Essa distância é frequentemente operacionalizada pelo número de repetições em reserva, ou *repetitions in reserve* (RIR), e tem sido investigada por sua influência sobre a fadiga, o desempenho, a hipertrofia muscular e os ganhos de força (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2026).

A premissa fisiológica que fundamenta a prescrição do TFF baseia-se no princípio do tamanho, sob o pressuposto de que a fadiga progressiva é indispensável para o recrutamento das UMs de alto limiar (Willardson, 2007). Sob essa ótica, teoriza-se que a realização das séries até a falha muscular momentânea aumente a probabilidade de recrutamento de UMs de alto limiar e, consequentemente, de maior participação das fibras do tipo II, sobretudo à medida que a fadiga se acumula durante a série. Esse processo poderia ampliar a exposição das fibras musculares à tensão mecânica, considerada um dos principais estímulos para as adaptações hipertróficas e de força (Morton *et al.*, 2019; Wackerhage *et al.*, 2019). Em contrapartida, investigações recentes indicam que a ativação quase total do *pool* de UMs já é alcançada algumas repetições antes da falha muscular momentânea, questionando a real obrigatoriedade desse grau extremo de esforço (Beausejour *et al.*, 2024;

Sundstrup *et al.*, 2012). Além de possivelmente redundante do ponto de vista do recrutamento motor, o TFF impõe um estresse metabólico e mecânico desproporcional, exacerbando a fadiga neuromuscular periférica e central. Esse acúmulo agudo de fadiga não apenas prolonga substancialmente o tempo de recuperação necessário entre as sessões, mas também compromete a produção de força nas séries subsequentes, o que pode atenuar a carga de trabalho acumulada e, em longo prazo, prejudicar a magnitude das adaptações ao invés de potencializá-las (Refalo *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2022).

Apesar do debate mecanístico, a literatura atual apresenta uma notável inconsistência, com revisões sistemáticas e metanálises relatando achados divergentes sobre a superioridade ou a real necessidade de se treinar até a falha muscular momentânea (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2026). Essa heterogeneidade de resultados decorre, em grande parte, de profundas lacunas metodológicas e da falta de padronização nas terminologias adotadas nos desenhos experimentais, além de um processo falho de seleção dos estudos, que muitas das vezes incluem referências que não comparam diretamente o TFF versus TFNF, violando os critérios de elegibilidade por eles adotados (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2026). Primeiramente, a proximidade da falha é, em sua essência, uma variável contínua (frequentemente balizada por métricas como *estimated* RIR ou perda de velocidade) que tem sido erroneamente dicotomizada na literatura em modelos binários simplistas de “falha vs. não-falha”. Além disso, a própria operacionalização do limite da série oscila criticamente entre os estudos, transitando de forma ambígua entre a falha muscular momentânea objetiva e a mera interrupção voluntária, enquanto os delineamentos de “não-falha” raramente quantificam com precisão o quão distante do esgotamento a série foi de fato interrompida. Essas discrepâncias geram comparações altamente heterogêneas que obscurecem a verdadeira relação dose-resposta da variável, inviabilizando o estabelecimento de diretrizes robustas para a prescrição do TFF ou TFNF (Hammert *et al.*, 2026).

Diante desse cenário, e com o intuito de elucidar as atuais inconsistências que permeiam a literatura, o objetivo central desta revisão sistemática com metanálise foi: investigar se o TFF promove adaptações superiores, semelhantes ou inferiores ao TFNF sobre a hipertrofia muscular e força de homens e mulheres saudáveis. Para superar as limitações metodológicas prévias, a presente investigação propôs uma

sumarização quantitativa rigorosa, estratificando os achados com base em critérios precisos e de maneira estruturada. Nossa hipótese principal foi de que o TFF não promoveria ganhos superiores de hipertrofia muscular e força em relação TFNF, independentemente do *status* de treinamento ou de outros fatores de confusão. O esclarecimento dessa hipótese carrega substancial validade ecológica e aplicação clínica: confirmar que adaptações neuromusculares e morfológicas ótimas prescindem do esgotamento contrátil absoluto fornece respaldo para o desenho de programas de TF mais eficientes, seguros e toleráveis (Hammert *et al.*, 2026). Essa mudança de paradigma na prescrição não apenas otimiza o manejo da fadiga inter e intrassessão, mas também mitiga o desconforto agudo percebido, fatores cruciais para maximizar a aderência em longo prazo, tanto em populações atléticas quanto clínicas.

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 Critérios de elegibilidade

Os critérios de inclusão e exclusão desta revisão sistemática foram estabelecidos a priori com base na estratégia PICOS (População, Intervenção, Comparador, Desfechos e Desenho de Estudo), detalhados a seguir e resumidos na Tabela 1.

População: adultos saudáveis (≥ 18 anos), de ambos os sexos, independentemente do nível de experiência em TF. Foram excluídos indivíduos com limitações físicas, em reabilitação ativa, usuários de medicamentos que alterem o metabolismo ou a retenção hídrica, usuários de esteroides anabolizantes e atletas competitivos exclusivos de modalidades de *Endurance*; Intervenção: programas de TFF (duração ≥ 6 semanas) como intervenção primária. A falha muscular momentânea foi definida como a incapacidade de completar a fase concêntrica com a técnica e amplitude corretas. Excluíram-se intervenções com restrição de fluxo sanguíneo, eletroestimulação, vibração ou o uso de técnicas avançadas de TF (por exemplo, *drop sets*, *rest-pause*) que atuassem como variáveis de confusão; Comparador: protocolos de TFNF, conduzidos sob o mesmo delineamento experimental e com os mesmos exercícios do grupo intervenção. O controle da proximidade da falha deveria ser feito via RIR estimadas, percentuais de carga (por exemplo, zonas de 10-RM) ou perda de velocidade. Excluíram-se controles inativos,

modalidades não resistidas isoladas e comparadores ativos sem relato ou controle objetivo da margem de esforço; Desfechos: medidas de adaptações crônicas avaliando a hipertrofia muscular e força; Delineamento dos estudos: Ensaios clínicos randomizados (delineamento de grupos paralelos ou intra-sujeitos). Excluíram-se ensaios não randomizados, estudos observacionais, delineamentos agudos, estudos de braço único, relatos de caso, revisões e resumos de conferências.

Tabela 7. Critérios de elegibilidade baseados na estratégia PICOS.

Parâmetro	Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
População	Adultos saudáveis (≥ 18 anos) de ambos os sexos; treinados ou destreinados.	Limitações ortopédicas/cirurgias recentes, reabilitação ativa, uso de medicamentos que alteram metabolismo/retenção hídrica, uso de esteroides anabolizantes, atletas exclusivos de *endurance*.
Intervenção	TFF dinâmico; duração ≥ 6 semanas; falha como intervenção primária.	Uso de restrição de fluxo sanguíneo, eletroestimulação/vibração, uso de técnicas avançadas de TF.
Comparador	TFNF dinâmico (controlado via RIR, percentual de repetição máxima ou perda de velocidade); mesmos exercícios e delineamento do grupo intervenção.	Controle estritamente sedentário, modalidades alternativas, proximidade da falha não controlada/não reportada adequadamente.
Desfechos	Adaptações crônicas de hipertrofia muscular e força.	Não aplicável a desfechos específicos além da ausência das variáveis primárias
Delineamento do estudo	Ensaios clínicos randomizados (delineamento de grupos paralelos ou intra-sujeito/contralateral).	Ensaios não randomizados, estudos observacionais, estudos experimentais agudos, estudos de braço único, relatos de caso, revisões e resumos de congresso.

Legenda: TFF: treinamento de força até a falha muscular momentânea; TF: treinamento de força; TFNF: treinamento de força sem alcançar a falha muscular momentânea. RIR: *repetitions in reserve*
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

4.4.2 Fontes de informação

Para a identificação dos registros, buscas eletrônicas primárias foram conduzidas de forma abrangente nas seguintes bases de dados: MEDLINE (via PubMed), EMBASE (Elsevier), CENTRAL (*Cochrane Central Register of Controlled Trials*), Scopus (Elsevier) e *Web of Science - Core Collection* (Clarivate Analytics).

Como fonte suplementar de busca, foi realizada uma triagem manual minuciosa nas listas de referências de todas as revisões já publicadas sobre o tema (*backward citation searching*) com o intuito de identificar estudos adicionais que não foram recuperados nas bases eletrônicas (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2026). As buscas em todas as bases de dados e fontes consultadas foram executadas de forma padronizada pelo mesmo pesquisador (J.G.V.)[1] e finalizadas em 01 julho de 2026.

4.4.3 Estratégia de busca

As estratégias de busca eletrônica foram elaboradas de forma minuciosa e sensível, estruturadas mediante a combinação de descritores de vocabulário controlado específicos de cada base de dados (como termos *MeSH* para a MEDLINE e *Emtree* para a EMBASE) e termos de texto livre (sinônimos, palavras truncadas e acrônimos). A lógica da busca foi construída através dos operadores *booleanos "AND" e "OR"*, refletindo os componentes da estratégia PICOS. A estruturação dos domínios seguiu as diretrizes do manual da Cochrane (*Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*) (Higgins *et al.*, 2024), o qual orienta a formulação das estratégias de busca focando primariamente nos componentes de População (ou condição de saúde) e Intervenção. Contudo, devido à particularidade metodológica do assunto investigado, optou-se por adicionar um terceiro bloco referente à condição de execução do exercício. Dessa forma, a sintaxe foi dividida nestes três domínios principais:

1. População: englobando termos para adultos, voluntários saudáveis, atletas e níveis de experiência em treinamento (por exemplo, *adult*, *athlete*, *trained*, *untrained*);
2. Intervenção: agrupando terminologias referentes ao TF (por exemplo, *resistance training*, *strength training*, *weight lifting*).
3. Condição: focando na particularidade da execução até a falha muscular momentânea ou sua interrupção prévia (por exemplo, *muscle fatigue*, *momentary failure*, *repetitions in reserve*, *RIR*, *not to failure*).

[1] O acrônimo J.G.V. refere-se a João Guilherme Vieira, pesquisador principal e doutorando vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da UFJF.

Termos relacionados aos desfechos (força muscular e hipertrofia muscular) foram propositalmente omitidos da sintaxe de busca para maximizar a sensibilidade da pesquisa e evitar a perda de estudos relevantes. Em estrita conformidade com o Item 7 da diretriz PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021), as estratégias de busca completas, exatas e reprodutíveis, bem como os filtros aplicados e os resultados recuperados em cada uma das bases de dados em suas respectivas datas, são apresentadas integralmente no APÊNDICE A.

4.4.4 Processo de seleção

O processo de seleção dos estudos foi conduzido de maneira rigorosa e estruturada em duas fases principais, utilizando ferramentas de automação para otimizar o fluxo de trabalho e garantir o cegamento. Todos os registros identificados nas buscas eletrônicas iniciais foram exportados para o *software* gerenciador de referências *EndNote* (versão 20). Nesta etapa preliminar, o *software* foi empregado como ferramenta de automação não apenas para a identificação e remoção de registros duplicados, mas também para a exclusão prévia em massa de registros manifestamente inelegíveis. Para esta triagem automatizada, foram configurados *Smart Groups* (grupos inteligentes) de exclusão focados em três categorias: modelos animais ou *in vitro* (utilizando os termos: *rat* OR *rats* OR *mice* OR *murine* OR *animal* OR *bovine* OR *swine* OR *in vitro*); populações clínicas (*cancer* OR *tumor* OR *stroke* OR *parkinson* OR *alzheimer* OR *infection* OR *diabetes* OR *hypertension* OR *cerebral palsy*); e tipos de estudos não-originais (*review* OR *editorial* OR *letter* OR *comment* OR *scoping review* OR *meta-analysis* OR *case report*). Complementarmente, o painel de busca avançada (*Search Panel*) do *EndNote* foi utilizado para filtrar e remover registros associados a termos fora do escopo de intervenção, população ou delineamento do estudo (*cardiac rehabilitation*, *mice*, *cancer*, *stroke*, *creatine*, *supplementation*, *treadmill*, *cycling*, *aerobic*, *review*).

Após a desduplicação e exclusão automatizada, os registros únicos remanescentes foram importados para o aplicativo web dedicado a revisões sistemáticas, *Rayyan* (Ouzzani *et al.*, 2016). O uso dessa plataforma garantiu o cegamento total das decisões durante a triagem manual. Na primeira fase, dois

revisores[2] (J.G.V. e V.S.Q.) avaliaram de forma independente os registros (títulos e resumos) recuperados para determinar a elegibilidade preliminar com base nos critérios de inclusão.

Na segunda fase, as publicações (textos completos) dos estudos considerados potencialmente elegíveis na fase anterior foram recuperadas. Os mesmos dois revisores (J.G.V. e V.S.Q.) realizaram a leitura integral e independente dessas publicações, aplicando rigorosamente os critérios de exclusão para determinar a inclusão final. Quaisquer divergências ou discordâncias metodológicas entre os dois revisores, seja na fase de triagem de registros ou na seleção de publicações, foram resolvidas prioritariamente por meio de discussão para obtenção de consenso. Quando o consenso não foi alcançado, um terceiro revisor (O.K.)[3] atuou como árbitro para a decisão final. Todo o fluxo de seleção, quantificando o número de registros triados, publicações recuperadas e estudos incluídos, bem como as justificativas específicas para a exclusão das publicações na fase de texto completo foi documentado e será apresentado visualmente por meio do fluxograma recomendado pela diretriz PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021).

4.4.5 Processo de coleta de dados

A extração dos dados das publicações incluídas foi realizada utilizando uma planilha estruturada, padronizada e previamente pilotada. Para garantir a precisão, a reprodutibilidade e a integridade das informações, a coleta de dados foi conduzida de forma estritamente independente por dois revisores (J.G.V. e V.S.Q.). Quaisquer discrepâncias ou inconsistências identificadas durante o cruzamento das planilhas de extração individuais foram resolvidas prioritariamente por meio de discussão para a obtenção de um consenso entre os dois revisores. Nos casos em que o consenso não pôde ser estabelecido, um terceiro revisor (O.K.) foi acionado para atuar como árbitro e tomar a decisão final. Nos cenários em que as publicações não apresentavam os dados numéricos exatos necessários para a sumarização estatística (por exemplo,

[2] O acrônimo J.G.V. refere-se a João Guilherme Vieira, pesquisador principal e doutorando vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da UFJF; já o acrônimo V.Q.S. refere-se a Victor Sabino de Queiros, coautor do estudo e vinculado como professor na Universidade Estadual da Paraíba.

[3] O acrônimo O.K. refere-se a Okan Kamis, coautor convocado para atuar como árbitro na resolução de divergências. Okan Kamis e vinculado como professor na Aksaray University.

valores absolutos de média e desvio-padrão pré e pós-intervenção) ou careciam de detalhes metodológicos cruciais para a caracterização da amostra e das intervenções, os autores correspondentes dos estudos originais foram contatados via correio eletrônico para o fornecimento das informações faltantes ou confirmação dos dados publicados. Como ferramenta de automação auxiliar na coleta de dados, nos casos em que os resultados de interesse foram apresentados de forma exclusiva em formato gráfico (como gráficos de barras ou de linhas) e não houve sucesso na obtenção dos dados brutos com os autores, empregou-se um software de digitalização de imagens (*WebPlotDigitizer*, versão 4.6, Texas, EUA)[4] para extrair as estimativas quantitativas e as medidas de dispersão diretamente das figuras.

4.4.6 Lista de dados

Durante o processo de extração, os dados retirados de cada publicação elegível foram rigorosamente categorizados em três domínios principais: (1) características dos participantes; (2) características das intervenções de treinamento; e (3) resultados quantitativos para as sumarizações estatísticas. Foram extraídos os dados de identificação do estudo, delineamento experimental e a divisão dos grupos. Para a caracterização da amostra, coletou-se: tamanho amostral, proporção de distribuição entre os sexos, idade, estatura, massa corporal, índice de massa corporal, percentual de gordura e o *status* prévio de treinamento dos participantes. Em relação aos protocolos experimentais de TF, a extração englobou as seguintes variáveis de prescrição: número de séries, esquema de repetições, intensidade da carga, intervalo de descanso entre as séries, verificação da equalização do VTT, frequência semanal e a duração total do protocolo experimental. Adicionalmente, mapearam-se detalhadamente as variáveis morfológicas e neuromusculares analisadas, bem como os testes específicos aplicados para mensurá-las.

Para conduzir a síntese quantitativa das estimativas de efeito sobre a força muscular e a hipertrofia, foram extraídos sistematicamente os seguintes dados contínuos de cada estudo: tamanho da amostra, o valor da média e o respectivo desvio padrão, referentes tanto ao momento pré-intervenção quanto ao momento pós-intervenção. Esses dados numéricos foram coletados de forma pareada e obrigatória

[4] O uso do *WebPlotDigitizer* é o padrão-ouro atual em metanálises da área de ciências do esporte para extrair dados de gráficos quando os autores não respondem aos e-mails.

para os dois grupos de interesse: a intervenção (TFF) e o comparador (TFNF). Nos casos em que os autores originais apresentaram medidas de dispersão alternativas (por exemplo, erro padrão da média ou limites de intervalo de confiança de 95%), os valores foram convertidos matematicamente em desvios padrões.

4.4.7 Avaliação do risco de viés e da qualidade metodológica dos estudos

A avaliação do risco de viés dos ECRs incluídos foi realizada utilizando a ferramenta revisada da Colaboração Cochrane (Sterne *et al.*, 2019). A análise foi estruturada metodologicamente em cinco domínios fundamentais de risco: (1) viés decorrente do processo de randomização; (2) viés devido a desvios das intervenções pretendidas; (3) viés devido a dados de desfecho ausentes; (4) viés na mensuração do desfecho; e (5) viés na seleção do resultado relatado. O processo de avaliação foi conduzido de forma estritamente independente por dois revisores (V.S.Q. e J.E.F.)[5]. Quaisquer discordâncias nas classificações dos domínios ou no risco de viés geral foram resolvidas por meio de discussão estruturada para a obtenção de consenso. Nos casos em que o consenso não pôde ser estabelecido, um terceiro revisor (J.G.V.) atuou como árbitro para a decisão final. Para cada domínio individual, o risco de viés foi classificado em uma de três categorias: baixo risco de viés, algumas preocupações ou alto risco de viés, baseando-se nos algoritmos e nas respostas às questões sinalizadoras da ferramenta RoB 2 (Sterne *et al.*, 2019). O risco de viés global para cada estudo foi determinado seguindo os critérios da ferramenta: o estudo foi classificado como de alto risco global se pelo menos um domínio apresentasse alto risco de viés; com algumas preocupações se apresentasse tal classificação em pelo menos um domínio (sem nenhum alto risco); e com baixo risco global apenas se todos os domínios individuais fossem avaliados como de baixo risco. Como ferramenta de automação para a síntese visual das avaliações, empregou-se o aplicativo web robvis (https://www.riskofbias.info/welcome/robvis-visualization-tool). Por meio desta plataforma, foram geradas e extraídas as duas figuras representativas utilizadas na tese: o gráfico de semáforo, ilustrando as avaliações de cada domínio cruzadas por estudo individual, e o gráfico de barras de resumo, apresentando a proporção de

[5] O acrônimo V.Q.S. refere-se a Victor Sabino de Queiros, coautor do estudo e vinculado como professor na Universidade Estadual da Paraíba; já o acrônimo J.E.F. refere-se a José Elias Filho, coautor do estudo e vinculado como professor na Faculdade Sudamérica.

estudos com cada nível de julgamento do risco de viés, por domínio, para o conjunto completo da revisão.

Adicionalmente, a qualidade metodológica dos estudos incluídos foi avaliada utilizando a escala PEDro (*Physiotherapy Evidence Database*) (Moseley *et al.*, 2020). A escala PEDro é composta por 11 itens; contudo, o primeiro item (especificação dos critérios de elegibilidade) avalia a validade externa e não é contabilizado, resultando em um escore total que varia de 0 a 10 pontos. A extração das pontuações foi realizada de forma independente pelos mesmos dois revisores (V.S.Q. e J.E.F.), aplicando-se idêntico processo de resolução de discordâncias estabelecido para a ferramenta RoB 2, mediante discussão estruturada e intervenção do terceiro revisor (J.G.V.) nos casos em que o consenso primário não foi alcançado.

4.4.8 Medidas de efeito

Para quantificar a magnitude das alterações e comparar os efeitos crônicos do TFF vs. TFNF, a medida de efeito adotada para a sumarização de ambos os desfechos primários (força muscular e hipertrofia muscular) foi a diferença de média padronizada. A escolha dessa medida de efeito baseou-se na natureza contínua das variáveis e na considerável heterogeneidade dos métodos e unidades de medida reportados na literatura primária (por exemplo, quilogramas, pico de torque ou força isométrica para a força muscular; espessura em milímetros, área de secção transversa ou volume para a hipertrofia). Para evitar a superestimação do TE inerente a amostras pequenas, uma característica comum em ensaios clínicos na área das ciências do esporte, aplicou-se a correção para pequenas amostras, reportando-se as estimativas de efeito especificamente sob a forma do Hedges' *g*. Todas as estimativas de efeito sumarizadas e apresentadas na revisão foram acompanhadas de seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

4.4.9 Métodos de síntese

Os estudos elegíveis foram tabulados e agrupados em dois blocos de sumarização independente: hipertrofia muscular e força. Para a metanálise, foram extraídos o tamanho da amostra, as médias e os desvios-padrão dos momentos pré- e pós-intervenção para ambos os grupos: TFF e TFNF. Quando os estudos reportaram

medidas alternativas de dispersão, como erro-padrão ou intervalos de confiança, essas informações foram matematicamente convertidas em desvios-padrão para possibilitar a padronização dos dados. As sínteses quantitativas foram conduzidas quando havia dados compatíveis de pelo menos dois estudos para um mesmo desfecho. Considerando a presença de estudos com delineamentos entre sujeitos e intra-sujeito/contralaterais, as metanálises foram realizadas pelo método do inverso da variância genérica, a partir da inserção do TE e do respectivo erro-padrão de cada comparação. Para os estudos com delineamento entre sujeitos, o tamanho de efeito foi calculado a partir da diferença entre as mudanças pré- pós-treinamento dos grupos TFF e TFNF, padronizada pelo desvio-padrão agrupado das mudanças. Para os estudos intra-sujeito/contralaterais, o TE foi calculado considerando a natureza pareada dos dados. Quando a correlação pareada entre as condições não foi reportada, foi imputado um valor de r = 0,5 na análise principal, com análises de sensibilidade utilizando r = 0,3 e r = 0,7. A direção do efeito foi padronizada de modo que valores positivos indicassem efeito favorável ao TFF, enquanto valores negativos indicassem efeito favorável ao TFNF. As análises foram conduzidas utilizando modelos de efeitos aleatórios (Borenstein *et al.*, 2010), devido à heterogeneidade esperada entre os estudos quanto às características dos participantes, intervenções, desfechos e delineamentos experimentais. O estimador *restricted maximum likelihood* foi utilizado para estimar a variância entre estudos (Viechtbauer, 2005), e o ajuste *Knapp-Hartung* foi empregado para o teste dos coeficientes do modelo (Hartung; Knapp, 2001). Os resultados foram ilustrados visualmente por meio dos *forest plots*. A magnitude do TE foi interpretada como trivial (< 0,20), pequena (0,20 a 0,49), moderada (0,50 a 0,79) ou grande (≥ 0,80), segundo os critérios de Cohen (1988). A heterogeneidade estatística foi avaliada pelo teste *Q* de Cochran e quantificada pela estatística I^2, sendo valores de aproximadamente 25%, 50% e 75% interpretados como heterogeneidade baixa, moderada e alta, respectivamente (Higgins; Thompson, 2002; Higgins *et al.*, 2003). O nível de significância adotado foi de 5%, e as análises foram realizadas no software JASP (versão 0.98.1). Para explorar potenciais fontes de heterogeneidade, análises de subgrupo e/ou metarregressões foram planejadas considerando, quando disponíveis, variáveis moderadoras como *status* de treinamento, sexo, idade, duração da intervenção, equalização do VTT, intensidade da carga, proximidade da falha (TFNF), método de avaliação do desfecho e tipo de delineamento experimental. A robustez dos modelos estatísticos foi avaliada por meio

de análises de sensibilidade, incluindo a análise *leave-one-out*, a exclusão de estudos julgados com maior risco de viés e a variação dos coeficientes de correlação imputados para estudos intrasujeitos/contralaterais.

Além das sínteses metanalíticas, foi avaliado a magnitude das adaptações intra e entre os grupos de forma descritiva, para isso, foi calculado o delta percentual (Δ%) das mudanças nas variáveis de desfecho do momento pré- para o pós-treinamento. A variação percentual foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$\Delta\% = \left(\frac{\text{média pós} - \text{média pré}}{\text{média pré}}\right) \times 100$$

Onde média pós representa o valor médio da variável pós-treinamento e média pré representa o valor médio da variável no momento pré-treinamento.

4.4.10 Avaliação de vieses de publicação

O risco de viés de publicação e a presença de resultados faltantes nas sumarizações foram avaliados qualitativamente por meio da inspeção visual da assimetria em gráficos de funil (Egger *et al.*, 1997). Seguindo as recomendações da Colaboração Cochrane (Higgins *et al.*, 2024), essa análise foi conduzida estritamente para as metanálises que agruparam 10 ou mais estudos independentes, garantindo poder estatístico adequado para a diferenciação entre assimetria real e variação ao acaso (Sterne *et al.*, 2011). Para quantificar objetivamente a assimetria, empregou-se o teste de regressão de *Egger* (Egger *et al.*, 1997). Nos cenários em que o teste de *Egger* indicou viés de publicação estatisticamente significativo ($p < 0,05$), o método não-paramétrico de preenchimento e corte *trim-and-fill* foi aplicado com o objetivo de imputar o tamanho de efeito de potenciais estudos faltantes e recalcular a estimativa global ajustada (Duval; Tweedie, 2000).

4.4.11 Avaliação da certeza

A certeza da evidência para cada desfecho sumarizado (hipertrofia muscular ou força) foi avaliada utilizando a abordagem do sistema GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*) (Guyatt *et al.*, 2008). Por se tratar de uma metanálise de ensaios clínicos randomizados, a certeza na estimativa de efeito partiu inicialmente de uma classificação de alta certeza. A

qualidade global da evidência pôde ser rebaixada em um ou dois níveis com base na detecção de limitações em cinco domínios metodológicos preestabelecidos:

1. Risco de viés: presença considerável de estudos classificados com alto risco de viés.
2. Inconsistência: presença de heterogeneidade substancial, não explicada e com alta magnitude.
3. Evidência indireta: desvios importantes em relação à questão de pesquisa original.
4. Imprecisão: intervalos de confiança amplos que cruzassem a linha de efeito nulo ou um tamanho amostral ótimo de informação insuficiente.
5. Viés de publicação: suspeita forte ou evidência de assimetria nos resultados relatados.

Após a aplicação rigorosa destes critérios, o nível de certeza para a evidência de cada desfecho foi classificado em uma de quatro categorias: alta, moderada, baixa ou muito baixa. O perfil de evidências detalhado, contendo as estimativas de efeito absolutas e relativas, além das justificativas explícitas para os rebaixamentos de nível em cada domínio, foi documentado em uma tabela de resumo dos resultados gerada através do aplicativo *web* GRADEpro GDT.

4.5 RESULTADOS

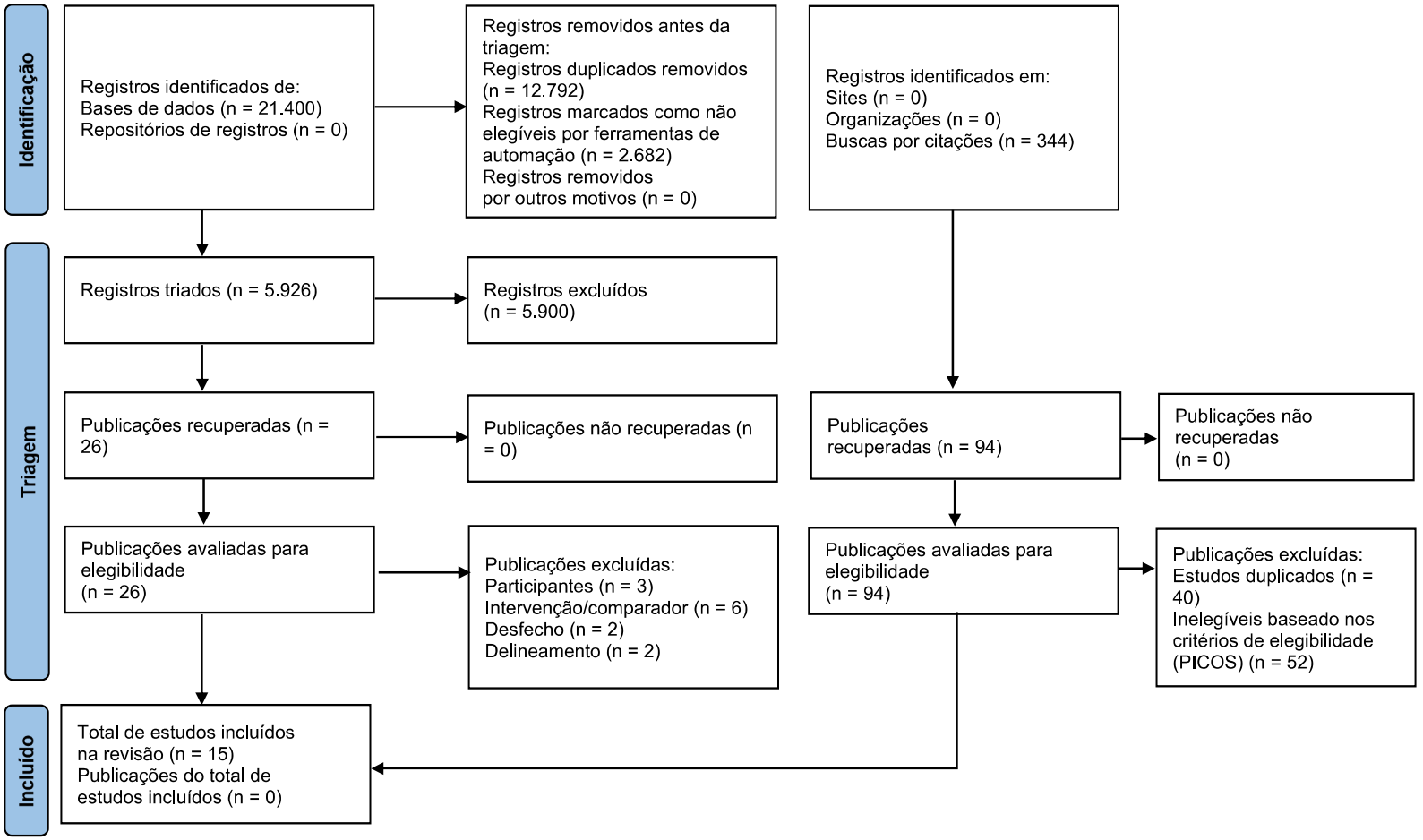
4.5.1 Seleção dos estudos

A busca inicial nas bases de dados eletrônicas resultou na identificação de 21.400 registros. Adicionalmente, 344 registros foram identificados por meio de outros métodos, como a busca ativa por citações (checagem nas revisões sistemáticas com metanálises já publicadas sobre o tópico). Antes da etapa de triagem, 12.792 registros duplicados foram removidos. Além disso, ferramentas de automação excluíram outros 2.682 registros, processo que incluiu a aplicação de grupos inteligentes (*Smart Groups*) e buscas avançadas para a exclusão de modelos animais e biologia *in vitro*, populações clínicas, delineamentos não originais e termos específicos fora do escopo. Após a remoção prévia, 5.926 registros seguiram para a triagem baseada na leitura de título e resumo. Nesta fase, 5.900 registros foram excluídos. Como resultado das etapas de triagem e buscas paralelas, um total de 120 publicações (26 provenientes

das bases de dados[6] e 94 identificadas por outros métodos) foram recuperadas com sucesso para a avaliação de elegibilidade na íntegra. Durante a análise do texto completo das 26 publicações provenientes das bases de dados, 13 foram excluídas devido a inadequações relacionadas aos participantes (n = 3), à intervenção ou comparador (n = 6), ao desfecho (n = 2) e ao delineamento do estudo (n = 2; APÊNDICE B). Das 94 publicações avaliadas a partir de outros métodos, 40 foram excluídas por se tratar de estudos duplicados (aparecer mais de uma vez nas diferentes revisões) e 52 por serem inelegíveis com base nos critérios PICOS estabelecidos. Portanto, 15 estudos preencheram rigorosamente todos os critérios de elegibilidade e foram incluídos na presente revisão sistemática com metanálise (Figura 1).

[6] A lista completa e a justificativa pormenorizada para a exclusão dos 13 artigos recuperados via bases de dados eletrônicas encontram-se disponíveis no Apêndice B.

Figura 17. Fluxograma PRISMA 2020 para revisões sistemáticas.



Fonte: elaborada pelo autor (2026).

4.5.2 Características dos estudos

Um total de 481 participantes foram incluídos nesta revisão, advindos de 15 ensaios clínicos randomizados. A maioria dos estudos avaliou exclusivamente indivíduos do sexo masculino (11 estudos; 73,33%) (Da Silva *et al.*, 2018; Izquierdo *et al.*, 2006; Karsten *et al.*, 2021; Kramer *et al.*, 1997; Lacerda *et al.*, 2020; Lasevicius *et al.*, 2022; Nóbrega *et al.*, 2018; Santanielo *et al.*, 2020; Teodoro *et al.*, 2019; Terada *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2019). Em contrapartida, dois estudos (13,33%) recrutaram apenas mulheres (Martorelli *et al.*, 2017; Sanborn *et al.*, 2000) e outros dois estudos (13,33%) incluíram participantes de ambos os sexos (Bergamasco *et al.*, 2022; Hermann *et al.*, 2025). Em relação ao *status* prévio de treinamento, houve uma predominância de amostras compostas por participantes destreinados (n = 9; 60,0%) (Bergamasco *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2018; Lacerda *et al.*, 2020; Lasevicius *et al.*, 2022; Martorelli *et al.*, 2017; Nóbrega *et al.*, 2018; Sanborn *et al.*, 2000; Teodoro *et al.*, 2019; Terada *et al.*, 2022). Cinco estudos (33,33%) envolveram participantes classificados como treinados (Hermann *et al.*, 2025; Karsten *et al.*, 2021; Kramer *et al.*, 1997; Santanielo *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2019) e apenas um trabalho (6,67%) recrutou atletas esportistas (Izquierdo *et al.*, 2006). O detalhamento minucioso das características sociodemográficas e antropométricas dos participantes está apresentado na Tabela 2.

Tabela 8. Características dos participantes.

Estudo	Participantes (n)	Sexo: H/M (%)	Idade (anos)†	Estatura (cm ou m)†	Massa corporal (kg)†	IMC (kg·m^{-2})†	Percentual de gordura (%)†	*Status* de treinamento
Bergamasco *et al.* (2022)ϕ	38	43,90/56,10	65,42 ± 4,84	162,68 ± 8,35	72,54 ± 10,87	27,56‡	NR	D
Da Silva *et al.* (2018)ϕ	52	100,00/0,00	66,20 ± 5,20	170,90 ± 0,83	82,20 ± 9,52	28,43 ± 3,88	25,17 ± 5,72	D
Hermann *et al.* (2025)	42	80,95/19,05	21,90 ± 3,80	172,50 ± 8,40	79,90 ± 15,00	NR	21,40 ± 8,30	T
Izquierdo *et al.* (2006)ϕ	29	100,00/0,00	24,33 ± 2,43	1,81 ± 0,01	80,79 ± 5,97	24,74 ± 2,17	12,16 ± 3,88	AE
Karsten *et al.* (2021)ϕ	18	100,00/0,00	23,50 ± 4,42	175,65 ± 8,22	77,21 ± 19,20	NR	NR	T
Kramer *et al.* (1997)	43	100,00/0,00	NRϒ	181,50 ± 6,10	79,00 ± 10,00	NR	14,04 ± 4,29ϕ	T
Lacerda *et al.* (2020)	10	100,00/0,00	23,70 ± 4,90	1,77 ± 0,09	80,10 ± 20,10	NR	20,50 ± 8,50	D
Lasevicius *et al.* (2022)ϕ	25	100,00/0,00	24,04 ± 4,76	176,02 ± 6,54	74,27 ± 12,63	NR	NR	D
Martorelli *et al.* (2017)	89	0,00/100,00	21,9 ± 3,3	1,61 ± 0,12	62,1 ± 17,1	NR	NR	D
Nóbrega *et al.* (2018)Ʊ	27	100,00/0,00	23,00 ± 3,60	176,00 ± 0,60	NR	24,30 ± 3,90	NR	D
Sanborn *et al.* (2000)	17	0,00/100,00	18-20γ	NR	66.04 ± 10.84ϕ	NR	NR	D
Santanielo *et al.* (2020)	14	100,00/0,00	23,10 ± 2,20	172,10 ± 5,10	74,40 ± 5,90	NR	NR	T
Teodoro *et al.* (2019)	36	100,00/0,00	67,10 ± 5,10	170,00 ± 6,62ϕ	80,90 ± 12,20ϕ	27,83 ± 3,76ϕ	24,96 ± 5,72ϕ	D
Terada *et al.* (2022)ϕ	27	100,00/0,00	20,04 ± 0,81	169,94 ± 5,71	62,77 ± 6,09	NR	NR	D
Vieira *et al.* (2019)	14	100,00/0,00	24,79 ± 1,85	175,75 ± 4,10	79,89 ± 9,13	25,87 ± 2,93	11,63 ± 5,76	T

Legenda: H: homem; M: mulher; NR: não reportado; T: treinado; D: destreinado; AE: atletas esportistas; †: valores expressos como média ± desvio padrão; ‡: valores expressos somente por média por ausência da reportação do desvio padrão; ϕ: valores expressos em média ± desvio padrão combinado a partir das seguintes fórmulas: $M_c = \frac{(N_1 \times M_1)+(N_2 \times M_2)}{N_1+N_2}$ e $DP_c = \sqrt{\frac{(N_1-1)DP_1^2+(N_2-1)DP_2^2+\frac{N_1 \times N_2}{N_1+N_2}(M_1-M_2)^2}{N_1+N_2-1}}$; ϒ: a idade (média ± erro padrão da média) foi reportada apenas para os 53 sujeitos inicialmente recrutados (20,3 ± 1,9 anos), enquanto as análises finais que incluíram 43 participantes, sem apresentação dos dados demográficos específicos dessa amostra; Ʊ: dados basais referem-se aos 32 participantes recrutados, mas apenas 27 foram incluídos nas análises finais; γ: valores expressos como amplitude de variação por ausência da reporta da média e do desvio padrão.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Quanto ao delineamento metodológico, 11 estudos (73,33%) adotaram um desenho entre sujeitos (grupos paralelos) (Bergamasco *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2018; Hermann *et al.*, 2025; Izquierdo *et al.*, 2006; Karsten *et al.*, 2021; Kramer *et al.*, 1997; Martorelli *et al.*, 2017; Sanborn *et al.*, 2000; Teodoro *et al.*, 2019; Terada *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2019), enquanto quatro investigações (26,67%) optaram por um delineamento intra-sujeito (modelo de membros contralaterais) (Lacerda *et al.*, 2020; Lasevicius *et al.*, 2022; Nóbrega *et al.*, 2018; Santanielo *et al.*, 2020). A duração das intervenções de TF apresentou uma amplitude de 6 a 20 semanas, sendo a frequência de duas sessões semanais a mais comum reportada entre os estudos. O treinamento direcionado exclusivamente para os membros inferiores foi o modelo mais frequente (n = 7; 46,67%), seguido por prescrições que combinavam membros superiores e inferiores de forma simultânea (n = 5; 33,33%) e treinamentos focados estritamente nos membros superiores (n = 2; 13,33%).

Ao analisar as comparações experimentais, sete estudos (46,67) realizaram a oposição direta entre um grupo ou membro alocado no TFF contra um grupo de TFNF. Por outro lado, oito estudos (53,33%) estratificaram a amostra de forma mais ampla, comparando um ou múltiplos protocolos TFF com múltiplos protocolos TFNF englobando variações de carga (por exemplo, 30% vs. 80% de 1-RM) ou de interrupção (voluntária vs. número fixo) (Bergamasco *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2018; Kramer *et al.*, 1997; Lasevicius *et al.*, 2022; Martorelli *et al.*, 2017; Nóbrega *et al.*, 2018; Teodoro *et al.*, 2019; Terada *et al.*, 2022). No que diz respeito ao controle da carga de trabalho, o VTT foi equalizado entre as condições experimentais em seis estudos (40%) (Izquierdo *et al.*, 2006; Karsten *et al.*, 2021; Lacerda *et al.*, 2020; Lasevicius *et al.*, 2022; Terada *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2019). Em cinco trabalhos (33,33%), o VTT permaneceu não equalizado (Hermann *et al.*, 2025; Kramer *et al.*, 1997; Nóbrega *et al.*, 2018; Sanborn *et al.*, 2000; Santanielo *et al.*, 2020), e em quatro estudos (26,67%) observou-se equalização apenas parcial, variando conforme a comparação do braço de alocação específico (Bergamasco *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2018; Martorelli *et al.*, 2017; Teodoro *et al.*, 2019). Uma descrição mais detalhada dos protocolos e exercícios prescritos pode ser encontrada na Tabela 3.

Tabela 9. Características dos estudos.

Estudo	Delineamento	Grupos	Séries	Repetições	Intensidade	Intervalo (s)†	Volume‡	Freq. sem.	Duração (sem.)	Exercícios§	Variáveis	Teste
Bergamasco *et al.* (2022)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 13)	3	NA	40% 1-RM	90	nEQUA	2	12	CE, LP, MCF	Hipertrofia muscular, força dinâmica e TDT – força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e CIVMB (dinamômetro isocinético)
		TFNF (VOL; n = 12)		NA	40% 1-RM	90	nEQUA	2	12	CE, LP, MCF	Hipertrofia muscular, força dinâmica e TDT – força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e CIVMB (dinamômetro isocinético)
		TFNF (FIX; n = 13)		10	40% 1-RM	90	nEQUA	2	12	CE, LP, MCF	Hipertrofia muscular, força dinâmica e TDT – força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e CIVMB (dinamômetro isocinético)
Da Silva *et al.* (2018)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 17)	2-3	~7,70-~22,20	65-75% 1-RM	120	EQUA TFNF 2	2	12	CE, LP	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF 1 (n = 20)	2-3	4-10	65-75% 1-RM	120	nEQUA	2	12	CE, LP	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF 2 (n = 15)	4-6	4-10	65-75% 1-RM	120	EQUA TFF	2	12	CE, LP	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
Hermann *et al.* (2025)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 23)	1	8-12	10-RM	120	NC	2	8	PF, RB, DM, SM, TP, RDH, ABG, LP45, CE	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (n = 19)	1	8-12	10-RM	120	NC	2	8	PF, RB, DM, SM, TP, RDH, ABG, LP45, CE	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
Izquierdo *et al.* (2006)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 14)	3	5-10	80-100% 6 a 10-RM	120	EQUA	2	11	SR, AP	Força dinâmica	1-RM
		TFNF (n = 15)	6	3-5	80-100% 6 a 10-RM	120	EQUA	2	11	SR, AP	Força dinâmica	1-RM

Estudo	Delineamento	Grupos	Séries	Repetições	Intensidade	Intervalo (s)†	Volume‡	Freq. sem.	Duração (sem.)	Exercícios§	Variáveis	Teste
Karsten *et al.* (2021)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 9)	4	10	~75% 1-RM	120	EQUA	2	6	PT1: SR, CH, SM, RDB, RBS, RC, EL, DB, EF; PT2: PF, CI, PL, TT, SF, TP, AP, LT, MF	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (n = 9)	8	5	~75% 1-RM	60	EQUA	2	6	PT1: SR, CH, SM, RDB, RBS, RC, EL, DB, EF; PT2: PF, CI, PL, TT, SF, TP, AP, LT, MF	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B, 1-RM
Kramer *et al.* (1997)	ECR entre sujeitos	TFF (SU; n = 16)	1	8-12	Intensidade que permitisse realizar no mínimo 8 repetições e não mais que 12 repetições até a falha muscular momentânea	120-180	nEQUA	3	14	2ª/6ª: AP, DI, SR, ABD; 4ª: MT, MCF, RC, ABD	Força dinâmica	1-RM
		TFNF (SM; n = 14)	3	10	Intensidade que permitisse realizar 10 repetições sem alcançar a falha muscular momentânea	120-180	nEQUA	3	14	2ª/6ª: AP, DI, SR, ABD; 4ª: MT, MCF, RC, ABD	Força dinâmica	1-RM
		TFNF (SMV; n = 13)	Semana 1-5: 1, 3, 3, 3 e 3; semana 7-10: 1, 3, 3 e 3; semana 11-14: 1, 3, 3 e 3	Semana 1-5: 10, 5, 5, 3 e 3; semana 7-10: 10, 5, 5 e 3; semana 11-14: 10, 5, 3 e 2	Intensidade que permitisse realizar o número alvo de repetições sem alcançar a falha muscular momentânea	120-180	nEQUA	3	14	2ª/6ª: AP, DI, SR, ABD; 4ª: MT, MCF, RC, ABD	Força dinâmica	1-RM
Lacerda *et al.* (2020)	ECR intra-sujeito	TFF (n = 10 membros)	3-4	Máximo de repetições possíveis	50-60% 1-RM	180	EQUA	2-3	14	CE unilateral	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e CIVM
		TFNF (n = 10 membros)	3-4	O número total de repetições na condição até a falha muscular momentânea foi dividido em múltiplas séries.	50-60% 1-RM	180	EQUA	2-3	14	CE unilateral	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e CIVM
Lasevicius *et al.* (2022)	ECR intra-sujeito	TFF (AC; n = 13 membros)	3	12,40 ± 3,10	80% 1-RM		EQUA	2	8	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ressonância magnética e 1-RM
		TFF (BC; n = 12 membros)	3	34,40 ± 7,70	30% 1-RM		EQUA	2	8	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ressonância magnética e 1-RM
		TFNF (AC; n = 13 membros)	5,50 ± 0,50	6,70 ± 1,60	80% 1-RM		EQUA	2	8	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ressonância magnética e 1-RM
		TFNF (BC; n = 12 membros)	5,40 ± 0,60	19,60 ± 4,10	30% 1-RM		EQUA	2	8	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ressonância magnética e 1-RM

Estudo	Delineamento	Grupos	Séries	Repetições	Intensidade	Intervalo (s)†	Volume‡	Freq. sem.	Duração (sem.)	Exercícios§	Variáveis	Teste
Martorelli *et al.* (2017)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 30)	3	Máximo de repetições possíveis	70% 1-RM	120	EQUA	2	10	RDH em pé	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isocinética (pico de torque)	Ultrassonografia modo B, 1-RM e dinamômetro isocinético
		TFNF 1 (n = 32)	4	7	70% 1-RM	120	EQUA	2	10	RDH em pé	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isocinética (pico de torque)	Ultrassonografia modo B, 1-RM e dinamômetro isocinético
		TFNF 2 (n = 27)	3	7	70% 1-RM	120	nEQUA	2	10	RDH em pé	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isocinética (pico de torque)	Ultrassonografia modo B, 1-RM e dinamômetro isocinético
Nóbrega *et al.* (2018)	ECR intra-sujeito	TFF (AC; n = 14 membros)	3	NC	80% 1-RM	120	nEQUA	2	12	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFF (BC; n = 13 membros)	3	NC	30% 1-RM	120	nEQUA	2	12	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (AC; n = 14 membros)	3	NC	80% 1-RM	120	nEQUA	2	12	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (BC; n = 13 membros)	3	NC	30% 1-RM	120	nEQUA	2	12	CE unilateral	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
Sanborn *et al.* (2000)	ECR entre sujeitos	TFF (SU; n = 9)	1	8-12	8 a 12-RM	NR	nEQUA	3	8	NC (1-RM: AP)	Força dinâmica	1-RM
		TFNF (SMV; n = 6)	3	Semana 1: 10; semana 2-4: 5; semana 5: 3; semana 6: 5; semana 7: 5; semana 8: 2	NC	NR	nEQUA	3	8	NC (1-RM: AP)	Força dinâmica	1-RM
Santanielo *et al.* (2020)	ECR intra-sujeito	TFF (n = 14 membros)	Leg press 45° unilateral (11,50 ± 5,10) e cadeira extensora unilateral (11,60 ± 5,20)	12,00 ± 2,10	75% 1-RM	120	nEQUA	2	10	LP45 unilateral, CE unilateral	Hipertrofia muscular e Força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (n = 14 membros)	Leg press 45° unilateral (11,50 ± 5,10) e cadeira extensora unilateral (11,60 ± 5,20)	10,40 ± 2,80	75% 1-RM	120	nEQUA	2	10	LP45 unilateral, CE unilateral	Hipertrofia muscular e Força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM

Estudo	Delineamento	Grupos	Séries	Repetições	Intensidade	Intervalo (s)†	Volume‡	Freq. sem.	Duração (sem.)	Exercícios§	Variáveis	Teste
Teodoro *et al.* (2019)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 13)	2-4	~6,50-22,20	65-80% 1-RM	120	EQUA	2	20	LP, CE	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e dinamômetro isocinético
		TFNF 1 (n = 12)	2-4	3-10	65-80% 1-RM	120	nEQUA	2	20	LP, CE	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e dinamômetro isocinético
		TFNF 2 (n = 11)	4-8	3-10	65-80% 1-RM	120	EQUA	2	20	LP, CE	Hipertrofia muscular, força dinâmica e força isométrica	Ultrassonografia modo B, 1-RM e dinamômetro isocinético
Terada *et al.* (2022)	ECR entre sujeitos	TFF (BC; n = 9)	3	~15,30-40,40	40% 1-RM	150	EQUA	2	8	SR	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (BC; n = 8)	3	~16,90-34,10	40% 1-RM	150	EQUA	2	8	SR	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
		TFNF (AC; n = 10)	3	~6,30-7,70	80% 1-RM	150	nEQUA	2	8	SR	Hipertrofia muscular e força dinâmica	Ultrassonografia modo B e 1-RM
Vieira *et al.* (2019)	ECR entre sujeitos	TFF (n = 6)	3	~8,80-12,80	10-RM	120	EQUA	3	8	SR, LP45, RHS, APG	Força dinâmica	1-RM
		TFNF (n = 8)	3	~9,80-10,00	90% 10-RM	120	EQUA	3	8	SR, LP45, RHS, APG	Força dinâmica	1-RM

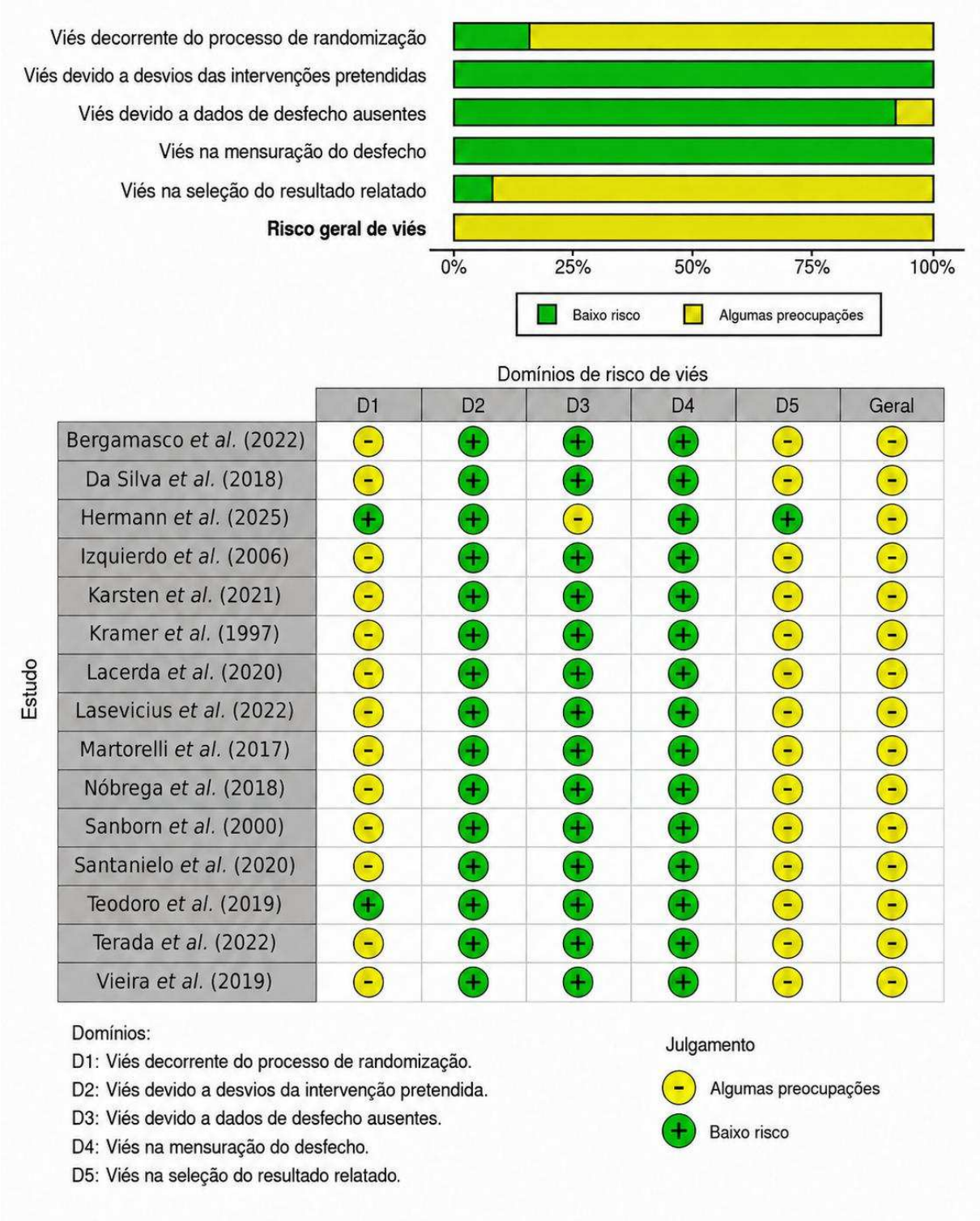
Legenda: ECR: ensaio clínico randomizado; VOL: interrupção voluntária; FIX: número fixo de repetições sem atingir a falha muscular momentânea; SU: série única; SM: séries múltiplas; SMV: séries múltiplas variadas; AC: alta carga; BC: baixa carga; NA: não aplicável; NC: não está claro; 1-RM: uma repetição máxima; 10-RM: dez repetições máximas; 6 a 10-RM: seis a dez repetições máximas; 8 a 12-RM: oito a doze repetições máximas; EQUA: equalizado; nEQUA: não equalizado; TDT: taxa de desenvolvimento de torque; CIVM: contração isométrica voluntária máxima; CIVMB: contração isométrica voluntária máxima realizada de forma balística; †: entre séries; ‡: entre intervenção e comparador. § Exercícios apresentados por siglas para compactação da tabela: ABD: abdominal; ABG: agachamento na barra guiada; AP: agachamento paralelo; APG: agachamento paralelo guiado; CE: cadeira extensora; CH: crucifixo com halteres; CI: crucifixo invertido; DB: desenvolvimento com barra; DI: desenvolvimento com impulso; DM: desenvolvimento na máquina; EF: elevação frontal com barra; EL: elevação lateral; LP: *leg press*; LP45: *leg press* 45°; LT: levantamento terra; MCF: mesa/cadeira flexora; MF: mesa flexora; MT: meio-terra; PF: puxada frontal; PL: pullover; RB: remada baixa; RC: remada curvada; RDB: rosca direta com barra; RDH: rosca direta com halteres; RBS: rosca bíceps sentado; RHS: remada *hammer* sentada; SF: supino fechado com barra; SM: supino máquina; SR: supino reto; TP: tríceps puxador; TT: tríceps testa com barra.
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

4.5.3 Avaliação do risco de viés e qualidade metodológica dos estudos

A avaliação do risco de viés dos 15 ECRs incluídos, conduzida de forma independente por meio da ferramenta Cochrane RoB 2, está integralmente sumarizada no gráfico de resumo e no gráfico de tráfego (Figura 2). A análise global revelou que todos os estudos da amostra (100%) foram julgados como apresentando “algumas preocupações”. Essa uniformidade reflete fragilidades metodológicas crônicas na literatura primária da área, concentradas predominantemente em dois domínios específicos: o processo de randomização (D1) e a seleção dos resultados relatados (D5). No domínio referente ao processo de randomização (D1), 13 dos 15 estudos (86,6%) receberam a classificação de “algumas preocupações”, primariamente pela ausência de clareza ou omissão deliberada na descrição dos métodos de sigilo de alocação.

As raras exceções de baixo risco metodológico neste critério foram os estudos de Hermann *et al.* (2025) e Teodoro *et al.* (2019). Adicionalmente, o domínio de viés na seleção do resultado relatado (D5) também configurou um gargalo metodológico substancial: 14 estudos (93,3%) foram avaliados com “algumas preocupações” devido à falta de protocolos de pesquisa pré-registrados ou de planos de análise estatística disponíveis publicamente que pudessem descartar categoricamente a ocorrência de relato seletivo. Por outro lado, os estudos incluídos demonstraram controle interno exemplar quanto à execução dos protocolos e avaliação das variáveis: os domínios referentes aos desvios das intervenções pretendidas (D2) e à mensuração dos desfechos (D4) obtiveram classificação de “baixo risco”. O viés decorrente de dados de desfecho faltantes (D3) também foi classificado como “baixo risco”, exceto, para o estudo de Hermann *et al.* (2025) que foi classificado como “algumas preocupações”.

Figura 18. Resumo geral do risco de viés.



Fonte: elaborada pelo autor (2026).

A avaliação da qualidade metodológica dos 15 estudos incluídos, revelou um escore total médio de 5,00 pontos, com a mediana e a moda também fixadas em 5,00 pontos. A pontuação total dos estudos variou de um mínimo de 3 pontos, no estudo Nóbrega *et al.* (2018), a um máximo de 7 pontos, alcançado pelo estudo de Izquierdo *et al.* (2006), considerando o total de 10 pontos válidos da escala. Na análise detalhada dos critérios individuais, observou-se que todos os estudos (100%) atenderam de forma unânime a quatro domínios: especificação dos critérios de elegibilidade (item 1 - não pontuável no escore final), alocação aleatória dos participantes (item 2), relato dos resultados das comparações estatísticas entre os grupos para pelo menos um desfecho-chave (item 10) e apresentação de medidas pontuais e de variabilidade (item 11). Além disso, a maioria dos estudos (n = 10; 66,67%) demonstrou que os grupos experimentais eram semelhantes na linha de base em relação aos indicadores prognósticos mais importantes (item 4). A obtenção de medidas de desfecho em mais de 85% dos participantes inicialmente alocados (item 8) foi alcançada por nove estudos (60%). Por outro lado, as principais limitações metodológicas encontradas na literatura incluída estiveram diretamente relacionadas aos procedimentos de cegamento e ocultação. Nenhum dos 15 ensaios clínicos (0,00%) foi capaz de realizar o cegamento dos participantes (item 5) ou dos pesquisadores responsáveis pela administração do protocolo de treinamento (item 6). O cegamento dos avaliadores responsáveis pela mensuração dos desfechos (item 7) foi reportado em apenas quatro estudos (26,67%) (Hermann *et al.*, 2025; Izquierdo *et al.*, 2006; Lacerda *et al.*, 2020; Santanielo *et al.*, 2020). O sigilo na alocação (item 3) também demonstrou uma fragilidade metodológica comum, sendo adequadamente reportado por apenas três estudos (Da Silva *et al.*, 2018; Hermann *et al.*, 2025; Teodoro *et al.*, 2019). Por fim, a análise por intenção de tratar ou a confirmação de que os participantes receberam a condição conforme a alocação inicial (item 9) foi verificada positivamente em apenas cinco dos estudos analisados (33,33%). Uma descrição detalhada da qualidade metodológica pode ser encontrada na Tabela 4.

Tabela 10. Análise da qualidade metodológica pela escala PEDro.

Estudo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**Total**
Bergamasco *et al.* (2022)	S	S	N	S	N	N	N	S	N	S	S	5
Da Silva *et al.* (2018)	S	S	S	S	N	N	N	N	N	S	S	5
Hermann *et al.* (2025)	S	S	S	S	N	N	S	N	N	S	S	5
Izquierdo *et al.* (2006)	S	S	N	S	N	N	S	S	S	S	S	7
Karsten *et al.* (2021)	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	S	5
Kramer *et al.* (1997)	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	S	5
Lacerda *et al.* (2020)	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	S	6
Lasevicius *et al.* (2022)	S	S	N	S	N	N	N	N	N	S	S	4
Martorelli *et al.* (2017)	S	S	N	S	N	N	N	S	S	S	S	6
Nóbrega *et al.* (2018)	S	S	N	N	N	N	N	N	N	S	S	3
Sanborn *et al.* (2000)	S	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	4
Santanielo *et al.* (2020)	S	S	N	S	N	N	S	N	N	S	S	5
Teodoro *et al.* (2019)	S	S	S	S	N	N	N	S	N	S	S	6
Terada *et al.* (2022)	S	S	N	S	N	N	N	S	N	S	S	5
Vieira *et al.* (2019)	S	S	N	S	N	N	N	N	N	S	S	4
Média												5,00
Mediana												5,00
Moda												5,00

Critérios da escala PEDro: 1. Os critérios de elegibilidade foram especificados; 2. Os participantes foram alocados aleatoriamente aos grupos, em estudos cruzados, os participantes foram alocados aleatoriamente à ordem em que receberam os tratamentos/intervenções; 3. A alocação dos participantes foi sigilosa; 4. Os grupos eram semelhantes no início do estudo em relação aos indicadores prognósticos mais importantes; 5. Houve cegamento de todos os participantes; 6. Houve cegamento de todos os terapeutas/pesquisadores responsáveis pela administração da terapia, intervenção ou protocolo; 7. Houve cegamento de todos os avaliadores que mensuraram pelo menos um desfecho-chave; 8. As medidas de pelo menos um desfecho-chave foram obtidas em mais de 85% dos participantes inicialmente alocados aos grupos; 9. Todos os participantes para os quais havia medidas de desfecho disponíveis receberam o tratamento ou condição controle conforme a alocação inicial; ou, quando isso não ocorreu, os dados de pelo menos um desfecho-chave foram analisados por intenção de tratar; 10. Os resultados das comparações estatísticas entre os grupos foram reportados para pelo menos um desfecho-chave; 11. O estudo apresentou tanto medidas pontuais quanto medidas de variabilidade para pelo menos um desfecho-chave. S = sim; N = não.

Fonte: elaborada pelo autor (2026).

4.5.4 Resultados de estudos individuais

Os resultados individuais referentes às alterações nas medidas de hipertrofia muscular e força reportados pelos estudos estão sumarizados na Tabela 5. Para cada desfecho investigado, a tabela apresenta a estatística sumária detalhada, incluindo os valores médios pré e pós-intervenção, a mudança média absoluta e a magnitude do efeito expressa pelo Δ% intra e entre os grupos (intervenção e comparador). As estimativas de efeito estão estruturadas e estratificadas por músculos ou regiões musculares específicas (por exemplo, vasto lateral, reto femoral, peitoral maior e bíceps braquial) e pelos respectivos testes de força executados (por exemplo, 1-RM no *leg press*, supino reto e agachamento paralelo, bem como testes isométricos e isocinéticos).

Tabela 11. Mudança média e delta percentual da hipertrofia muscular e força.

		Intervenção				Comparador			
Estudo	**Desfecho**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança média**	**Δ%**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança**	**Δ%**
Bergamasco *et al.* (2022)	Hipertrofia muscular VL	17,50	18,40	0,90	5,14%	18,00	18,40	0,40	2,22%
	Hipertrofia muscular VL	17,50	18,40	0,90	5,14%	17,70	18,10	0,40	2,26%
	Força dinâmica soma	318,30	393,00	74,70	23,47%	342,90	423,00	80,10	23,36%
	Força dinâmica soma	318,30	393,00	74,70	23,47%	328,00	397,80	69,80	21,28%
	Força isométrica	565,70	562,80	-2,90	-0,51%	605,40	656,10	50,70	8,37%
	Força isométrica	565,70	562,80	-2,90	-0,51%	574,00	635,80	61,80	10,77%
Da Silva *et al.* (2018)	Hipertrofia muscular VL	20,80	21,80	1,00	4,81%	20,70	20,80	0,10	0,48%
	Hipertrofia muscular VL	20,80	21,80	1,00	4,81%	21,80	23,30	1,50	6,88%
	Hipertrofia muscular VM	25,30	27,60	2,30	9,09%	25,60	26,20	0,60	2,34%
	Hipertrofia muscular VM	25,30	27,60	2,30	9,09%	28,60	30,10	1,50	5,24%
	Hipertrofia muscular VI	17,30	18,60	1,30	7,51%	15,80	15,40	-0,40	-2,53%
	Hipertrofia muscular VI	17,30	18,60	1,30	7,51%	17,80	19,40	1,60	8,99%
	Hipertrofia muscular RF	18,30	19,80	1,50	8,20%	19,20	19,30	0,10	0,52%
	Hipertrofia muscular RF	18,30	19,80	1,50	8,20%	19,50	20,20	0,70	3,59%
	Hipertrofia muscular QF	81,90	89,00	7,10	8,67%	81,90	82,50	0,60	0,73%
	Hipertrofia muscular QF	81,90	89,00	7,10	8,67%	87,90	94,60	6,70	7,62%
	Força dinâmica CE	84,00	103,00	19,00	22,62%	80,00	97,00	17,00	21,25%
	Força dinâmica CE	84,00	103,00	19,00	22,62%	81,00	105,00	24,00	29,63%
	Força dinâmica LP	176,00	251,00	75,00	42,61%	187,00	255,00	68,00	36,36%
	Força dinâmica LP	176,00	251,00	75,00	42,61%	208,00	302,00	94,00	45,19%

		Intervenção				Comparador			
Estudo	**Desfecho**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança média**	**Δ%**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança**	**Δ%**
Hermann *et al.* (2025)	Hipertrofia muscular medQF30%	52,30	55,30	3,00	5,74%	53,20	55,00	1,80	3,38%
	Hipertrofia muscular medQF50%	44,90	48,60	3,70	8,24%	44,60	46,30	1,70	3,81%
	Hipertrofia muscular medQF70%	34,90	38,20	3,30	9,46%	35,10	36,70	1,60	4,56%
	Hipertrofia muscular latQF30%	33,30	34,70	1,40	4,20%	32,20	33,00	0,80	2,48%
	Hipertrofia muscular latQF50%	38,40	40,80	2,40	6,25%	36,70	38,40	1,70	4,63%
	Hipertrofia muscular latQF70%	36,70	39,00	2,30	6,27%	35,40	37,60	2,20	6,21%
	Hipertrofia muscular BB	37,40	38,40	1,00	2,67%	35,80	37,40	1,60	4,47%
	Hipertrofia muscular TB	45,20	46,90	1,70	3,76%	41,80	42,30	0,50	1,20%
	Força dinâmica SR	78,30	83,70	5,40	6,90%	72,20	76,80	4,60	6,37%
	Força dinâmica AP	103,20	116,80	13,60	13,18%	101,30	113,90	12,60	12,44%
Izquierdo *et al.* (2006)	Força dinâmica SR	79,35	93,51	14,16	17,84%	79,08	90,57	11,49	14,53%
	Força dinâmica AP	167,79	198,74	30,95	18,45%	169,25	201,64	32,39	19,14%
Karsten *et al.* (2021)	Hipertrofia muscular VM	55,40	58,70	3,30	5,96%	60,10	60,50	0,40	0,67%
	Hipertrofia muscular FC	40,00	43,40	3,40	8,50%	42,50	44,60	2,10	4,94%
	Hipertrofia muscular DA	22,90	24,80	1,90	8,30%	23,70	25,90	2,20	9,28%
	Força dinâmica SR	71,00	80,60	9,60	13,52%	90,00	97,20	7,20	8,00%
	Força dinâmica AP	87,20	96,70	9,50	10,89%	102,20	113,30	11,10	10,86%
Kramer *et al.* (1997)	Força dinâmica AP	101,90	114,10	12,20	11,97%	98,50	123,70	25,20	25,58%
	Força dinâmica AP	101,90	114,10	12,20	11,97%	111,20	135,70	24,50	22,03%
Lacerda *et al.* (2020)	Hipertrofia muscular RF	-	-	-	15,89%	-	-	-	20,11%
	Hipertrofia muscular VL	-	-	-	15,06%	-	-	-	21,30%
	Força dinâmica	-	-	-	12,68%	-	-	-	15,02%
	Força isométrica	-	-	-	13,85%	-	-	-	14,96%

		Intervenção				Comparador			
Estudo	**Desfecho**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança média**	**Δ%**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança**	**Δ%**
(Lasevicius *et al.*, 2022)	Hipertrofia muscular QF	85,00	91,70	6,70	7,88%	85,10	91,50	6,40	7,52%
	Hipertrofia muscular QF	85,00	91,70	6,70	7,88%	85,80	88,00	2,20	2,56%
	Hipertrofia muscular QF	85,70	92,30	6,60	7,70%	85,10	91,50	6,40	7,52%
	Hipertrofia muscular QF	85,70	92,30	6,60	7,70%	85,80	88,00	2,20	2,56%
	Força dinâmica	75,50	99,30	23,80	31,52%	75,10	99,40	24,30	32,36%
	Força dinâmica	75,50	99,30	23,80	31,52%	75,00	86,50	11,50	15,33%
	Força dinâmica	76,10	89,20	13,10	17,21%	75,10	99,40	24,30	32,36%
	Força dinâmica	76,10	89,20	13,10	17,21%	75,00	86,50	11,50	15,33%
Martorelli *et al.* (2017)	Hipertrofia muscular FC	18,73	22,13	3,40	18,15%	18,94	20,70	1,76	9,29%
	Hipertrofia muscular FC	18,73	22,13	3,40	18,15%	19,95	20,50	0,55	2,76%
	Força dinâmica	17,17	22,03	4,86	28,31%	17,70	22,44	4,74	26,78%
	Força dinâmica	17,17	22,03	4,86	28,31%	16,44	21,09	4,65	28,28%
	Força isocinética 60°	26,81	27,26	0,45	1,68%	27,19	29,63	2,44	8,97%
	Força isocinética 60°	26,81	27,26	0,45	1,68%	24,57	27,08	2,51	10,22%
	Força isocinética 180°	21,74	21,63	-0,11	-0,51%	21,88	22,79	0,91	4,16%
	Força isocinética 180°	21,74	21,63	-0,11	-0,51%	19,06	21,68	2,62	13,75%
Nóbrega *et al.* (2018)	Hipertrofia muscular QF	22,61	24,51	1,90	8,40%	22,86	23,86	1,00	4,37%
	Hipertrofia muscular QF	22,61	24,51	1,90	8,40%	24,12	25,95	1,83	7,59%
	Hipertrofia muscular QF	23,42	25,55	2,13	9,09%	22,86	23,86	1,00	4,37%
	Hipertrofia muscular QF	23,42	25,55	2,13	9,09%	24,12	25,95	1,83	7,59%
	Força dinâmica	49,79	63,60	13,81	27,74%	48,54	64,64	16,10	33,17%
	Força dinâmica	49,79	63,60	13,81	27,74%	50,42	63,39	12,97	25,72%
	Força dinâmica	50,84	64,23	13,39	26,34%	48,54	64,64	16,10	33,17%
	Força dinâmica	50,84	64,23	13,39	26,34%	50,42	63,39	12,97	25,72%
Sanborn *et al.* (2000)	Força dinâmica	48,10	57,90	9,80	20,37%	53,30	69,20	15,90	29,83%

		Intervenção				Comparador			
Estudo	**Desfecho**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança média**	**Δ%**	**Média pré**	**Média pós**	**Mudança**	**Δ%**
Santanielo *et al.* (2020)	Hipertrofia muscular VL	32,90	37,20	4,30	13,07%	32,00	37,50	5,50	17,19%
	Força dinâmica LP	237,50	290,00	52,50	22,11%	237,50	299,90	62,40	26,27%
	Força dinâmica CE	55,60	73,30	17,70	31,83%	56,40	73,90	17,50	31,03%
Teodoro *et al.* (2019)	Hipertrofia muscular VL	20,13	21,58	1,45	7,20%	21,14	22,31	1,17	5,53%
	Hipertrofia muscular VL	20,13	21,58	1,45	7,20%	20,69	23,24	2,55	12,32%
	Hipertrofia muscular VM	24,55	27,17	2,62	10,67%	27,45	28,62	1,17	4,26%
	Hipertrofia muscular VM	24,55	27,17	2,62	10,67%	26,76	28,76	2,00	7,47%
	Hipertrofia muscular VI	17,43	18,92	1,49	8,55%	17,14	17,79	0,65	3,79%
	Hipertrofia muscular VI	17,43	18,92	1,49	8,55%	15,73	18,90	3,17	20,15%
	Hipertrofia muscular RF	17,94	19,21	1,27	7,08%	20,53	21,79	1,26	6,14%
	Hipertrofia muscular RF	17,94	19,21	1,27	7,08%	19,79	22,18	2,39	12,08%
	Força dinâmica CE	78,52	112,29	33,77	43,01%	81,57	111,56	29,99	36,77%
	Força dinâmica CE	78,52	112,29	33,77	43,01%	78,81	111,71	32,90	41,75%
	Força dinâmica LP	170,04	282,88	112,84	66,36%	200,94	324,51	123,57	61,50%
	Força dinâmica LP	170,04	282,88	112,84	66,36%	214,83	335,75	120,92	56,29%
	Força isométrica	182,15	219,46	37,31	20,48%	200,86	225,70	24,84	12,37%
	Força isométrica	182,15	219,46	37,31	20,48%	195,82	218,88	23,06	11,78%
Terada *et al.* (2022)	Hipertrofia muscular PM	30,00	36,40	6,40	21,33%	29,30	33,90	4,60	15,70%
	Hipertrofia muscular PM	30,00	36,40	6,40	21,33%	30,30	34,60	4,30	14,19%
	Hipertrofia muscular TB	29,20	34,10	4,90	16,78%	29,70	32,10	2,40	8,08%
	Hipertrofia muscular TB	29,20	34,10	4,90	16,78%	30,30	34,70	4,40	14,52%
	Força dinâmica	58,90	65,00	6,10	10,36%	59,70	70,90	11,20	18,76%
	Força dinâmica	58,90	65,00	6,10	10,36%	58,80	73,80	15,00	25,51%
Vieira *et al.* (2019)	Força dinâmica SR	91,50	100,80	9,30	10,16%	98,80	109,30	10,50	10,63%
	Força dinâmica LP	264,00	339,30	75,30	28,52%	305,00	377,50	72,50	23,77%

Legenda: VL: vasto lateral; VM: vasto medial; VI: vasto intermédio; RF: reto femoral; QF: quadríceps femoral; CE: cadeira extensora; LP: *leg press*; medQF30%: 30% do quadríceps femoral medial; medQF50%: 50% do quadríceps femoral medial; medQF70%: 70% do quadríceps femoral medial; latQF30%: 30% do quadríceps femoral lateral; latQF50%: 50% do quadríceps femoral lateral; latQF70%: 70% do quadríceps femoral lateral; BB: bíceps braquial; TB: tríceps braquial; SR: supino reto; AP: agachamento paralelo; FC: flexores do cotovelo; DA: deltoide anterior; PM: peitoral maior.

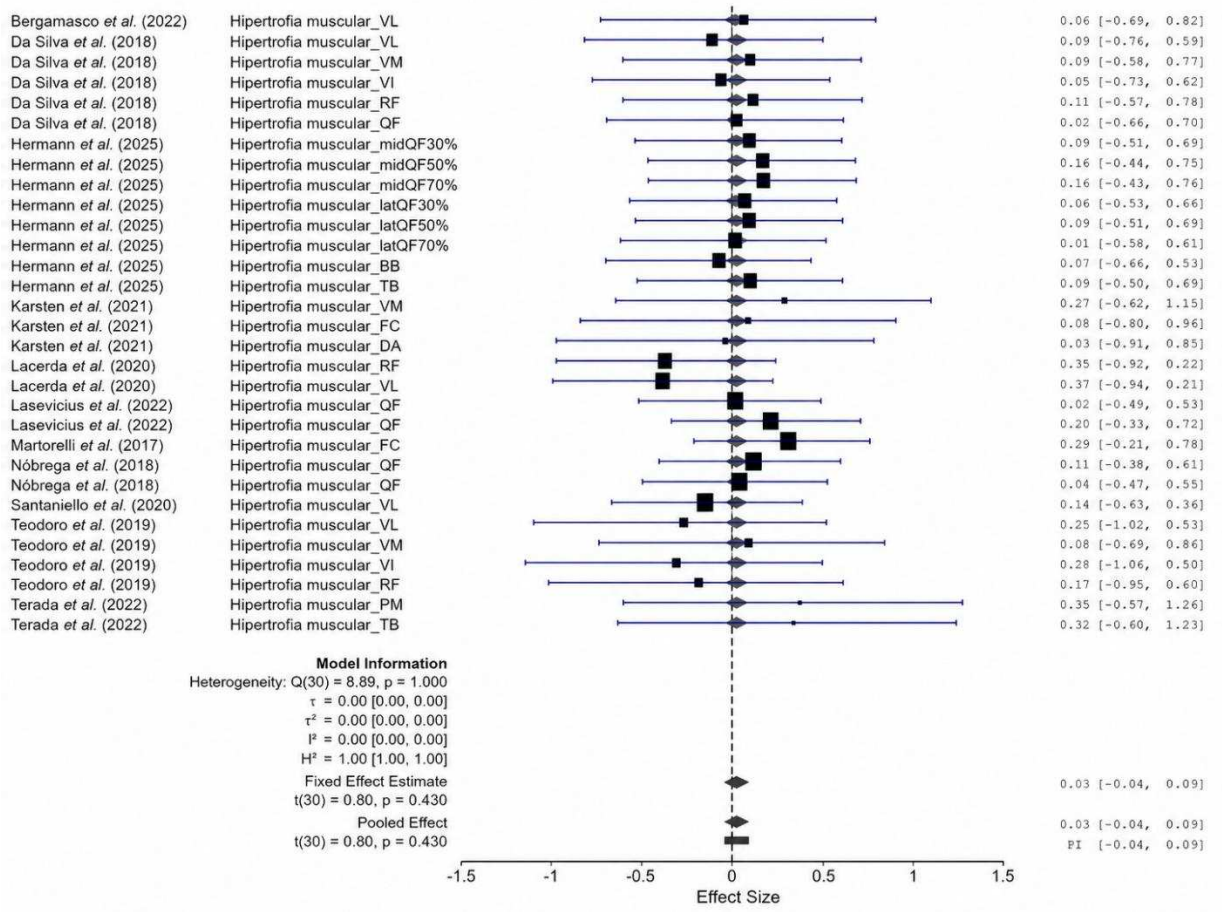
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

4.5.5 Resultados das sínteses

Conforme sumarizado nos tópicos anteriores, os estudos que contribuíram para as sínteses quantitativas apresentaram amostras heterogêneas em relação ao *status* de treinamento (treinados e destreinados) e à faixa etária (jovens e idosos), aplicando exercícios monoarticulares e multiarticulares. De forma geral, o risco de viés e a qualidade metodológica apontaram para limitações estruturais nos ensaios, decorrentes principalmente da impossibilidade prática de cegamento dos participantes e dos pesquisadores que administraram as intervenções de treinamento.

A síntese meta-analítica referente a hipertrofia muscular, contabilizou 31 comparações (Figura 3). O modelo não detectou diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de TFF vs. TFNF. O efeito combinado agrupado apresentou um TE estimado em 0,03 (IC 95%: -0,04 a 0,09; p = 0,430). A medida de heterogeneidade entre os estudos também foi nula para este desfecho (Q_{30} = 8,89; p = 1,00; τ^2 = 0,00; I^2 = 0,00%).

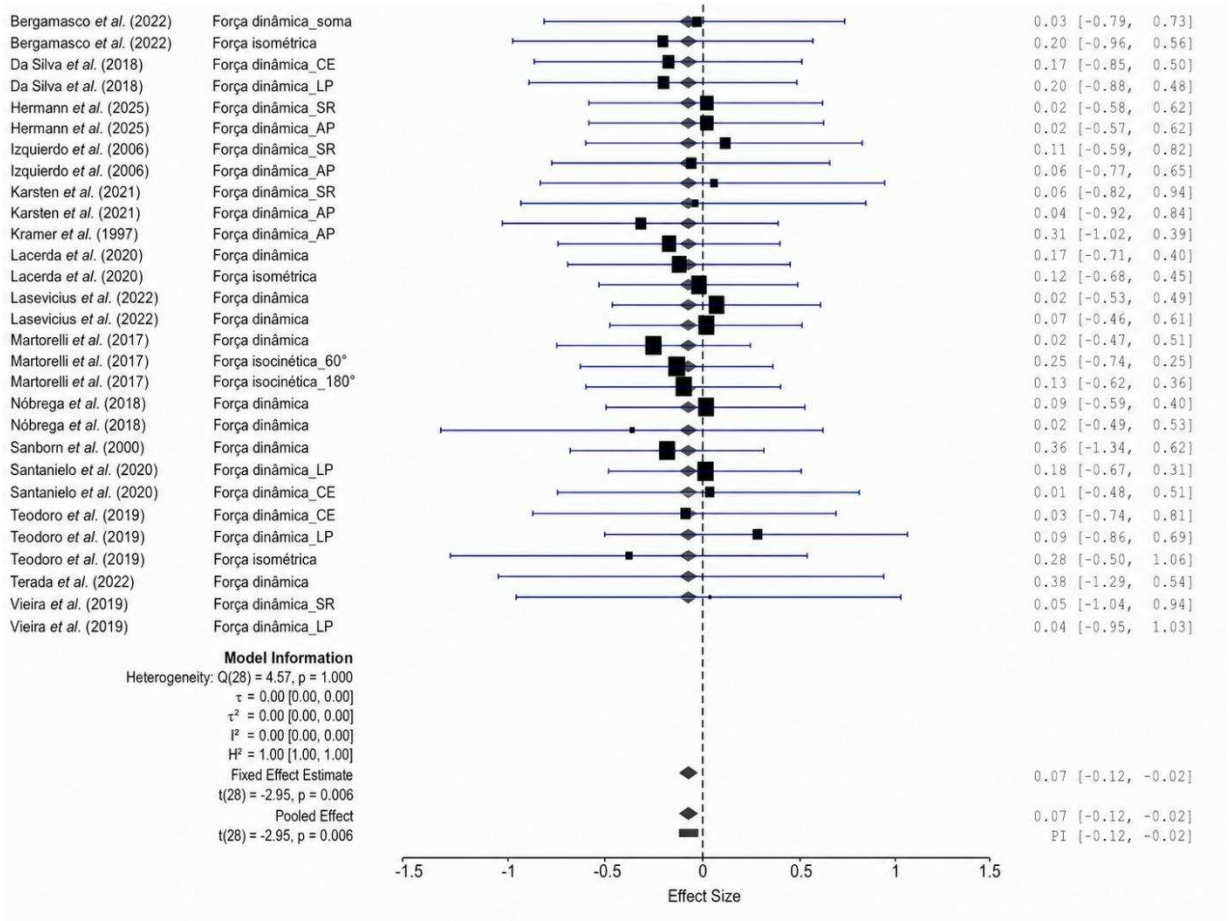
Figura 19. Gráfico de floresta para hipertrofia muscular.



Legenda: VL: vasto lateral; VM: vasto medial; VI: vasto intermédio; RF: reto femoral; QF: quadríceps femoral; medQF30%: 30% do quadríceps femoral medial; medQF50%: 50% do quadríceps femoral medial; medQF70%: 70% do quadríceps femoral medial; latQF30%: 30% do quadríceps femoral lateral; latQF50%: 50% do quadríceps femoral lateral; latQF70%: 70% do quadríceps femoral lateral; BB: bíceps braquial; TB: tríceps braquial; FC: flexores do cotovelo; DA: deltoide anterior; PM: peitoral maior.
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A meta-análise referente aos desfechos da força (dinâmica, isométrica e isocinética) reuniu um total de 29 estimativas de efeito independentes (Figura 4). Ao contrário do observado na hipertrofia muscular, o modelo detectou diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos favorecendo o TFNF de magnitude trivial, com um TE estimado de -0,07 (IC 95%: -0,12 a -0.02; p = 0,006). A análise de consistência demonstrou ausência total de heterogeneidade estatística entre os resultados dos estudos para este desfecho (Q_{28} = 4,57; p = 1,00; τ^2 = 0,00; I^2 = 0,00%).

Figura 20. Gráfico de floresta para força.



Legenda: CE: cadeira extensora; LP: *leg press*; SR: supino reto; AP: agachamento paralelo.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

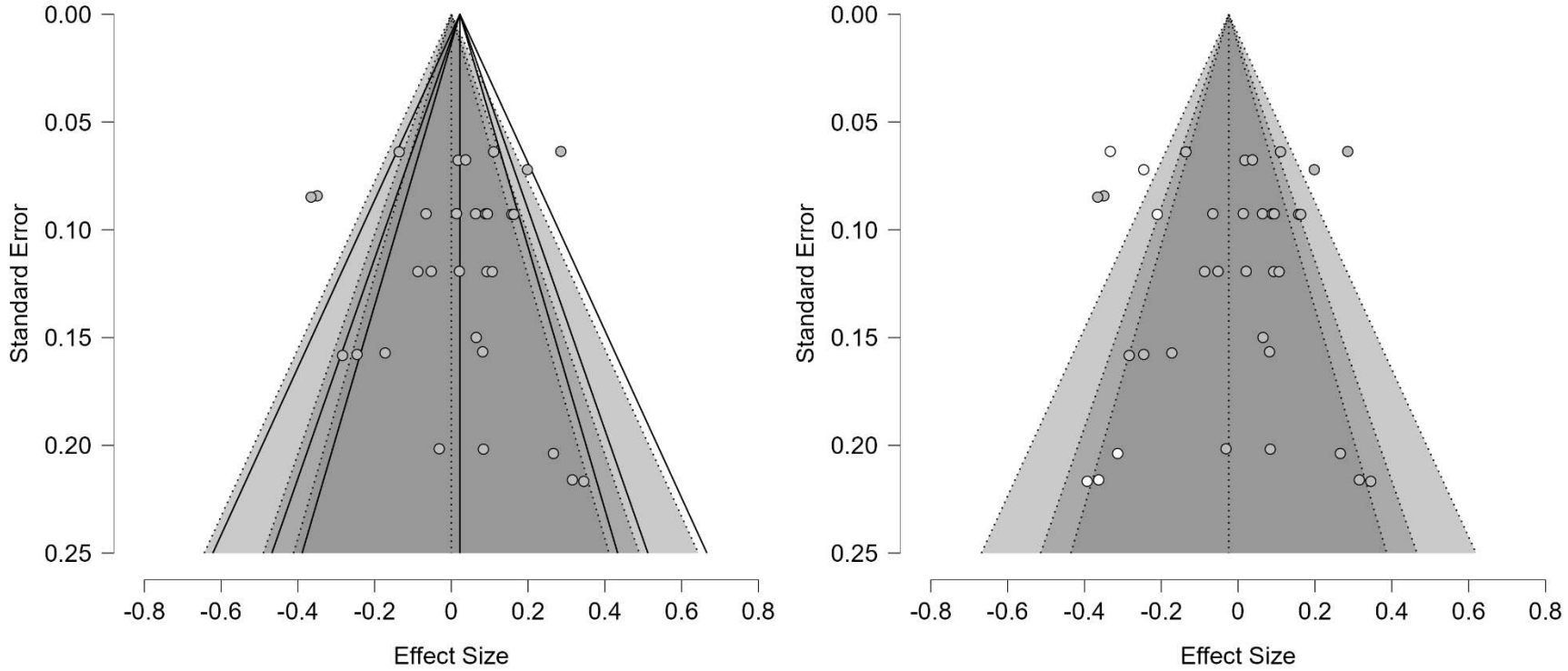
Dado que as medidas padronizadas de variabilidade inter-estudos (I^2 e τ^2) resultaram em zero e o teste *Q* de Cochran foi altamente não significativo para ambos os desfechos globais avaliados (hipertrofia muscular e força), conclui-se que a variância observada ocorreu inteiramente devido ao erro amostral. Portanto, conduzir investigações detalhadas de causas de heterogeneidade (como análises de subgrupos por *status* de treinamento ou grupamento muscular) não se fez metodologicamente justificado. Da mesma forma, a estabilidade e a precisão do modelo original dispensaram análises de sensibilidade adicionais, atestando a robustez da sumarização estatística principal.

4.5.6 Vieses de publicação

A avaliação do risco de viés de publicação (viés devido a resultados faltantes) foi conduzida por meio da inspeção visual de gráficos de funil e análises estatísticas complementares de preenchimento (*Trim and Fill*), aplicadas de forma independente a cada uma das meta-análises.

Na síntese referente à hipertrofia muscular, englobando 31 estimativas, a análise detectou indícios de assimetria no gráfico de funil (Figura 4). A aplicação do método estatístico *Trim and Fill* estimou a ausência de 6 estimativas (resultados possivelmente não publicados). Ao imputar teoricamente esses dados faltantes para balancear o gráfico, o TE ajustado passou para -0,02 (IC 95%: -0,08 a 0,04), mantendo-se sem diferença estatisticamente significativa (p = 0,463). Isso demonstra que, embora haja um risco moderado de viés de publicação (possível omissão de estudos com efeitos nulos ou favorecendo o grupo controle), o ajuste para essa falha não altera a direção nem a conclusão original da meta-análise de que as diferenças são nulas entre os protocolos.

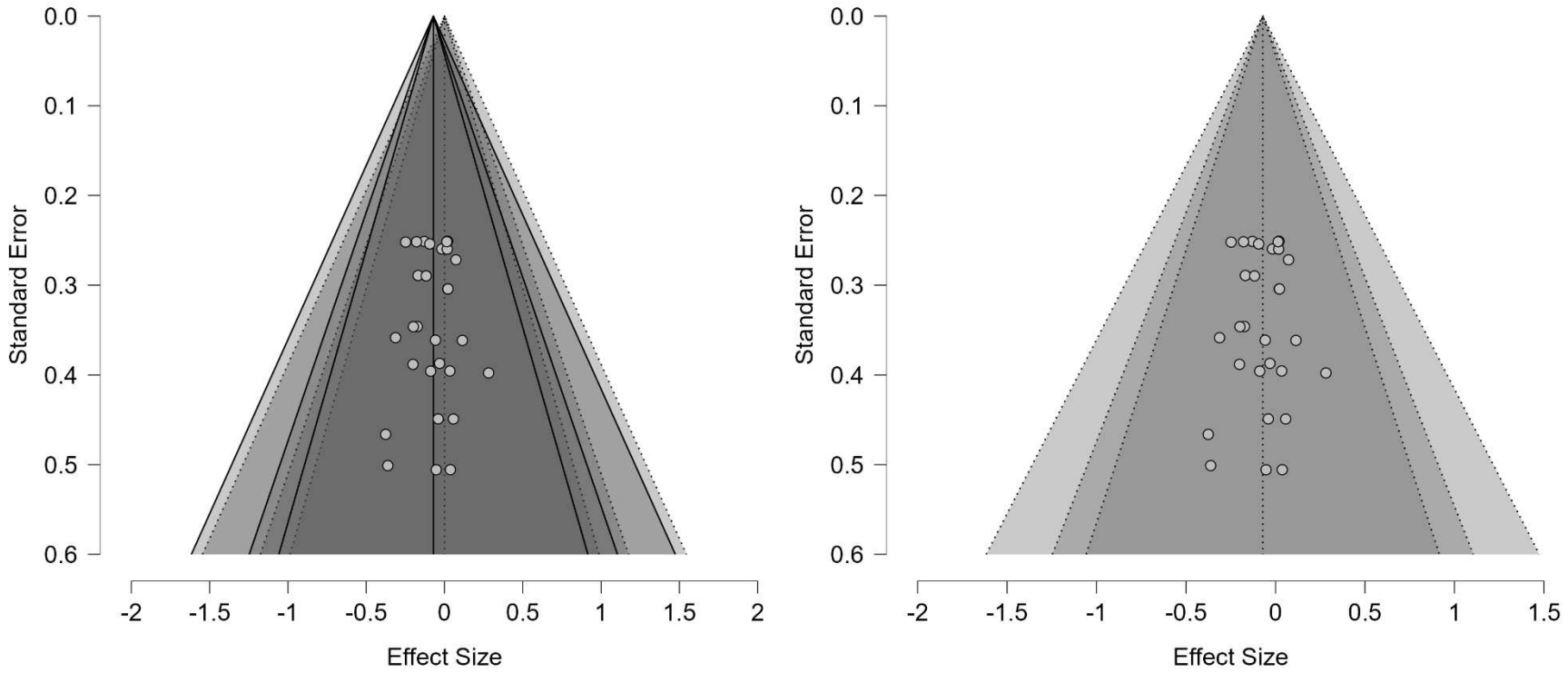
Figura 21. Gráfico de funil para hipertrofia muscular.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Para o desfecho de força muscular, a distribuição das 29 estimativas de efeito no gráfico de funil apresentou simetria em torno do efeito global (Figura 5). A análise dos parâmetros do funil não revelou significância estatística que indicasse desvios graves (TE = -0,07; IC 95%: -0,18 a 0,04; p = 0,233). Além disso, o método *Trim and Fill* não indicou a necessidade de imputação de estudos faltantes para ajustar a distribuição. Portanto, não há evidências substanciais de que o viés de publicação tenha influenciado negativamente a sumarização quantitativa para este desfecho.

Figura 22. Gráfico de funil para força.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

4.5.7 Certeza da evidência

A avaliação da certeza da evidência foi conduzida utilizando a abordagem GRADE para os dois desfechos principais desta revisão (hipertrofia muscular e força). Os achados detalhados, bem como as justificativas para os rebaixamentos, estão sumarizados na Figura 6. A certeza da evidência para o desfecho de hipertrofia muscular foi classificada como baixa. A síntese indicou que não há diferença estatisticamente significativa nos ganhos hipertróficos ao comparar o TFF com o TFNF (TE: 0,03; IC 95%: -0,04 a 0,09). A confiança nessa estimativa de efeito foi rebaixada em dois níveis por motivos distintos: risco de viés grave e assimetria detectada na distribuição do gráfico de funil, corroborada pelo método *Trim and Fill*.

Para o desfecho de força, a certeza da evidência foi classificada como moderada. Os resultados demonstram que o TFNF provavelmente resulta em um ligeiro aumento na força quando comparado TFF. A confiança nesta evidência foi rebaixada em apenas um nível, justificado exclusivamente pelo risco de viés grave inerente à natureza das intervenções, não havendo penalizações adicionais para este desfecho.

Figura 23. Certeza da evidência avaliada pelo GRADE.

Sumário de Resultados:

Treinamento de força até falha muscular momentânea comparado a treinamento de força com a ausência da falha muscular momentânea sobre a hipertrofia muscular e força

paciente ou população: homens e mulheres saudáveis
Contexto:
Intervenção: treinamento de força até falha muscular momentânea
Comparação: treinamento de força com a ausência da falha muscular momentânea

Desfechos	Efeitos absolutos potenciais* (95% CI)		Efeito relativo (95% CI)	Nº de participantes (estudos)	Certainty of the evidence (GRADE)	Comentários
	Risco com treinamento de força com a ausência da falha muscular momentânea	Risco com treinamento de força até falha muscular momentânea				
Hipertrofia muscular avaliado com: ultrassonografia modo B e ressonância magnética seguimento: variação 6 semanas para 20 semanas	-	SMD **0.03 SD mais alto** (0.04 menor para 0.09 mais alto)	-	(11 ECRs)	⨁◯◯◯ Baixa[a,b]	Não há diferença estatisticamente significativa ao comparar o treinamento de força com e sem a presença da falha muscular momentânea nos ganhos de hipertrofia muscular.
Força avaliado com: 1-RM, CIVM e teste isocinético seguimento: variação 6 semanas para 20 semanas	-	SMD **0.07 SD mais alto** (0.12 menor para 0.02 menor)	-	(15 ECRs)	⨁⨁⨁◯ Moderada[c]	Treinamento de força com a ausência da falha muscular momentânea provavelmente resulta em um ligeiro aumento na força.

* **O risco no grupo de intervenção** (e seu intervalo de confiança de 95%) é baseado no risco assumido do grupo comparador e o **efeito relativo** da intervenção (e seu IC 95%).

CI: Confidence interval; **SMD:** Standardised mean difference

GRADE Working Group grades of evidence
High certainty: we are very confident that the true effect lies close to that of the estimate of the effect.
Moderate certainty: we are moderately confident in the effect estimate: the true effect is likely to be close to the estimate of the effect, but there is a possibility that it is substantially different.
Low certainty: our confidence in the effect estimate is limited: the true effect may be substantially different from the estimate of the effect.
Very low certainty: we have very little confidence in the effect estimate: the true effect is likely to be substantially different from the estimate of effect.

Explanations

a. A certeza da evidência foi rebaixada em um nível por risco de viés grave. Essa classificação decorre das limitações metodológicas estruturais observadas nos ensaios clínicos incluídos. Devido à natureza da intervenção (treinamento de força), houve ausência total de cegamento dos participantes e dos profissionais que aplicaram os protocolos, elevando o risco de viés de desempenho. Adicionalmente, verificou-se uma alta incidência de falhas na ocultação da alocação e na ausência de cegamento dos avaliadores de desfecho na maioria dos estudos, o que compromete a validade interna e aumenta o risco de viés de detecção.
b. A certeza da evidência foi rebaixada em um nível devido à alta suspeita de viés de publicação. A inspeção visual do gráfico de funil revelou assimetria na distribuição das estimativas de efeito entre os estudos. Corroborando essa análise, o método estatístico Trim and Fill identificou a provável ausência de estudos não publicados (potencialmente ensaios menores com resultados nulos ou que favoreciam o grupo controle). Esse padrão indica que a literatura disponível pode estar suprimindo dados não significativos, o que afeta a precisão da estimativa do efeito agrupado na meta-análise.
c. A certeza da evidência foi rebaixada em um nível por risco de viés grave. Essa classificação decorre das limitações metodológicas estruturais observadas nos ensaios clínicos incluídos. Devido à natureza da intervenção (treinamento de força), houve ausência total de cegamento dos participantes e dos profissionais que aplicaram os protocolos, elevando o risco de viés de desempenho. Adicionalmente, verificou-se uma alta incidência de falhas na ocultação da alocação e na ausência de cegamento dos avaliadores de desfecho na maioria dos estudos, o que compromete a validade interna e aumenta o risco de viés de detecção.

Fonte: elaborada pelo autor (2026).

4.6 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo investigar se o TFF promove adaptações superiores, semelhantes ou inferiores ao TFNF sobre a hipertrofia muscular e força de homens e mulheres saudáveis. O achado principal desta investigação foi que o TFF não oferece qualquer vantagem para a hipertrofia muscular em comparação ao TFNF, ao passo que o TFNF demonstrou ser estatisticamente superior para o desenvolvimento da força. De forma complementar e integrada, nosso modelo experimental revelou que o TFF impõe um custo fisiológico agudo desproporcional, evidenciado pela exacerbação de marcadores indiretos de lesão tecidual, estresse metabólico e necessidade prolongada de recuperação do desempenho, não traduzindo esse elevado grau de fadiga em adaptações crônicas superiores (Vieira *et al.*, 2026). A dissociação entre o elevado custo metabólico e perceptivo do TFF e a ausência de benefícios neuromusculares adicionais pode ser explicada por uma combinação de fatores, como limitações metodológicas em sínteses anteriores, saturação dos mecanismos de mecanotransdução e o impacto deletério da fadiga periférica e central no recrutamento motor (Enoka; Duchateau, 2016; Pareja-Blanco *et al.*, 2017; Refalo *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2023; Wackerhage *et al.*, 2019), elementos que nortearão o debate a seguir. Portanto, nos próximos parágrafos, iniciaremos contrastando o rigor metodológico da nossa revisão sistemática com metanálise com as limitações da literatura recente; em seguida, elucidaremos os mecanismos neuromusculares que explicam a equivalência na hipertrofia muscular e a vantagem do TFNF na força; e, por fim, consolidaremos as implicações práticas que esses achados impõem à prescrição do TF.

Embora sumarizações metanalíticas anteriores já tivessem apontado preliminarmente que a falha muscular não é um pré-requisito obrigatório para maximizar a hipertrofia muscular e a força (Davies *et al.*, 2016; Grgic *et al.*, 2021; Refalo *et al.*, 2023; Robinson *et al.*, 2024; Vieira *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2026), a validade interna e a precisão dessas conclusões têm sido sistematicamente ameaçadas por falhas metodológicas críticas em seus critérios de elegibilidade. Factualmente, essas revisões sistemáticas com metanálise agruparam sob o mesmo guarda-chuva analítico protocolos de falha muscular momentânea “verdadeira”, interrupções voluntárias subjetivas e prescrições baseadas em zonas de repetições máximas, ignorando o fato de que essas abordagens impõem custos fisiológicos e

níveis de tensão mecânica drasticamente distintos (Pelland *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2023). Tentativas mais recentes de solucionar essa heterogeneidade, como a metarregressão conduzida por Robinson *et al.* (2024), falharam ao basear a quantificação da proximidade da falha por meio de estimativas teóricas e retrospectivas de RIR. Ao utilizarem equações matemáticas que não contabilizam o declínio real do desempenho intra-série causado pela fadiga, os autores inseriram um equívoco sistêmico no modelo analítico. Contudo, o ápice do reducionismo metodológico é evidenciado no trabalho recém-publicado por Wu *et al.* (2026). Nessa revisão, os autores misturaram em uma mesma análise intervenções de perda de velocidade com o TF tradicional, além de equalizarem interrupções voluntárias precoces à falha muscular momentânea real, gerando um ruído estatístico que pode corromper qualquer possibilidade de inferência causal válida e aplicabilidade prática.

Em contrapartida, os resultados da presente revisão sistemática com metanálise avançam em relação à literatura prévia ao aplicar critérios metodológicos mais restritivos, desenhados para isolar de forma mais precisa o fenômeno da falha muscular momentânea. Ao incluir exclusivamente ECRs que compararam protocolos nos quais a condição TFF foi operacionalmente definida pela incapacidade de completar a fase concêntrica da repetição, em contraste com condições TFNF claramente interrompidas antes da falha, buscou-se minimizar vieses de prescrição e reduzir a confusão terminológica observada em parte da literatura anterior (Grgic *et al.*, 2021; Pelland *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2022; Refalo *et al.*, 2023). Isso assegura que a ausência de superioridade hipertrófica do TFF e a vantagem estatisticamente significativa do TFNF na força máxima, sustentadas por nossos achados, não são artefatos gerados por agrupamentos analíticos confusos ou desenhos experimentais inconsistentes (Wu *et al.*, 2026). Além disso, suportados por esse nível de controle e pela avaliação do sistema GRADE, nossos dados comprovam de maneira evidente que, quando o ruído da literatura é removido, a imposição da falha extrema, falha em oferecer qualquer vantagem adaptativa crônica que justifique seu altíssimo impacto metabólico (Refalo *et al.*, 2022, 2023; Vieira *et al.*, 2026; Vieira *et al.*, 2022).

A ausência de superioridade do TFF para hipertrofia muscular, está intrinsecamente ligada aos nossos achados experimentais agudos, podendo ser explicada pelo teto de recrutamento motor e pela saturação das vias de mecanotransdução. Teoriza-se frequentemente que a falha muscular momentânea é

indispensável para o recrutamento integral das unidades motoras de alto limiar (Willardson, 2007). Contudo, a literatura contemporânea aponta que a tensão mecânica máxima é o gatilho primário para o anabolismo (Wackerhage *et al.*, 2019), sendo que atinge um platô algumas repetições antes do esgotamento absoluto (Sundstrup *et al.*, 2012). O esforço extremo imposto pelas repetições finais no TFF eleva exponencialmente o custo fisiológico, um fenômeno que mapeamos em nosso estudo experimental por meio de picos severos e prolongados de CPK e LDH, além de uma DMIT exacerbada (Vieira *et al.*, 2026). Esse excesso de lesão microestrutural e estresse metabólico não confere vantagens crônicas (Grgic *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2021). Em contrapartida, para a força, esse ambiente fisiológico pode se tornar contraproducente. A vantagem observada para o TFNF, embora de magnitude trivial, pode ser parcialmente explicada pela preservação da qualidade mecânica das repetições, menor acúmulo de fadiga neuromuscular e manutenção de condições mais favoráveis para a expressão da força (Carroll *et al.*, 2001; Folland; Williams, 2007; Grgic *et al.*, 2021). A força dinâmica máxima é uma habilidade que exige altíssima taxa de desenvolvimento de força e coordenação intermuscular refinada (Aagaard *et al.*, 2002; Carroll *et al.*, 2001; Folland; Williams, 2007; Suchomel *et al.*, 2016). Nesse contexto, a exposição sistemática à fadiga extrema induzida pelo TFF pode degradar a cinemática do movimento, reduzir a qualidade mecânica das repetições e prolongar a recuperação da função neuromuscular sistêmica, como evidenciado pela queda sustentada no desempenho do CMJ por até 72 horas após TFF (Vieira *et al.*, 2026). Em contrapartida, ao preservar RIR, o TFNF tende a limitar a perda de velocidade, reduzir o acúmulo de fadiga intrassérie e favorecer a execução de contrações com maior qualidade técnica e elevada intenção de velocidade, respeitando de forma mais eficiente o princípio da especificidade neural (Enoka; Duchateau, 2008; Pareja-Blanco *et al.*, 2017).

Um aspecto metodológico crucial que merece destaque e que ajuda a explicar essa atenuação nos ganhos de força máxima do TFF é o intervalo de recuperação entre as séries adotado pelos estudos. A vasta maioria dos ECRs analisados limitou o intervalo de descanso a cerca de 2 minutos, com raras exceções adotando períodos ligeiramente maiores, como os 3 minutos vistos em Kramer *et al.* (1997). É amplamente estabelecido na fisiologia do exercício e na prescrição do treinamento de força que protocolos voltados ao desenvolvimento da força máxima exigem intervalos de recuperação mais prolongados, geralmente entre 3-5 minutos, sobretudo quando

são utilizadas cargas elevadas. Esses intervalos favorecem a ressíntese da fosfocreatina, a manutenção da disponibilidade energética pelo sistema ATP-PCr e a atenuação do acúmulo de metabólitos intramusculares associados à fadiga, permitindo maior preservação do desempenho mecânico nas séries subsequentes (Acsm, 2009). A imposição de intervalos curtos (≤ 2 minutos), quando combinada à falha muscular momentânea, gera um acúmulo desproporcional de estresse metabólico e fadiga aguda (Vieira *et al.*, 2026; Vieira *et al.*, 2022). Esse cenário de recuperação incompleta prejudica a capacidade do sistema nervoso central de sustentar o drive neural nas séries subsequentes, reduzindo o recrutamento de UMs de alto limiar e limitando a tensão mecânica ótima. Portanto, é altamente provável que o TFF tenha sido penalizado por esse tempo insuficiente de recuperação nos protocolos analisados (Enoka; Duchateau, 2008; Gandevia, 2001).

Um aspecto notável dos presentes achados foi a ausência de heterogeneidade estatística detectável nas metanálises de ambos os desfechos, evidenciada por valores de $I^2 = 0\%$ (Higgins *et al.*, 2003). Na literatura meta-analítica voltada ao TF, é comum explorar variáveis moderadoras, como *status* de treinamento, equalização do VTT, intensidade da carga, delineamento experimental e método de avaliação dos desfechos, especialmente quando há variabilidade relevante entre os estudos. No entanto, a consistência das estimativas observadas indica que a dispersão entre os efeitos individuais foi compatível com o erro amostral esperado, sem evidência estatística de variância entre estudos a ser explicada. Nesse contexto, a condução de análises de subgrupo ou metarregressões seria pouco informativa e potencialmente instável, uma vez que tais análises são mais apropriadas quando há heterogeneidade substancial ou hipótese moderadora suficientemente sustentada pelo conjunto de estudos incluídos (Higgins *et al.*, 2024). Essa baixa inconsistência reforça a estabilidade dos achados e sugere que os critérios de elegibilidade adotados contribuíram para isolar de forma mais precisa o conceito operacional de falha muscular momentânea.

Apesar da consistência das nossas estimativas, a translação destes achados deve ser feita com o devido reconhecimento das limitações que existem na literatura prévia. A avaliação pelo sistema GRADE classificou a certeza da evidência como “baixa” para a hipertrofia muscular e “moderada” para a força. Esse rebaixamento não reflete uma falha nas análises desta revisão sistemática com metanálise, mas sim um problema estrutural crônico nos ECRs em ciências do esporte: a impossibilidade

prática de cegamento dos participantes e dos pesquisadores nas intervenções, aliada à frequente falta de reportação de como foi a ocultação de alocação. Ademais, detectamos assimetria no gráfico de funil para o desfecho de hipertrofia muscular, indicando um risco moderado de viés de publicação. No entanto, em uma demonstração da robustez do nosso modelo, o ajuste de sensibilidade via método *Trim and Fill* revelou que a imputação de estudos faltantes não alteraria o resultado (TE: -0,02; p = 0,463), confirmando que a omissão de publicações com resultados nulos na literatura não corrompeu a validade da nossa premissa central de equivalência hipertrófica. Diante dessas lacunas, é necessário que futuros ECRs elevem o rigor da pesquisa primária, adotando o cegamento estrito dos avaliadores de desfecho e reportando da devida forma como ocorreu a ocultação de alocação, além disso, explorar modelos de periodização que modulem estrategicamente a proximidade da falha ao longo do tempo. Adicionalmente, é imperativo que futuros ECRs investiguem a influência da proximidade da falha sob condições ideais de recuperação. Novos estudos devem avaliar os efeitos do TFF versus TFNF no desenvolvimento da força garantindo intervalos de descanso longos (3-5 minutos) entre as séries, a fim de isolar o efeito da exaustão contrátil do efeito deletério da recuperação metabólica incompleta.

4.7 CONCLUSÃO

Em conclusão, a presente revisão sistemática com metanálise demonstra que o TFF não é um pré-requisito para a hipertrofia muscular e, de forma crítica, atenua o desenvolvimento da força. Embora as nossas estimativas de efeito revelem uma consistência estatística notável e ausência de heterogeneidade (I^2 = 0%), a extrapolação destes achados deve ser feita com o devido reconhecimento das limitações crônicas da literatura primária, notadamente a ausência de cegamento e as fragilidades na ocultação de alocação, que restringem a certeza da evidência. Sob a ótica da aplicação prática, a interrupção das séries antes da falha, mantendo-se RIR, consolida-se como a estratégia mais eficiente e sustentável. Ao preservar a qualidade cinemática do movimento e otimizar a prontidão neuromuscular, o TFNF desponta como o caminho para a maximização das adaptações crônicas.

4.8 OUTRAS INFORMAÇÕES

Esta revisão sistemática com metanálise foi registrada prospectivamente no PROSPERO — *International Prospective Register of Systematic Reviews* — sob o número CRD420261430235. O protocolo pode ser acessado na plataforma PROSPERO, onde constam a pergunta de pesquisa, os critérios de elegibilidade, os desfechos de interesse, a estratégia de busca, o plano de extração dos dados, a avaliação do risco de viés e a estratégia de síntese quantitativa. Não foram realizadas alterações em relação às informações previamente registradas no protocolo.

5 CONCLUSÃO GERAL

A presente tese oferece uma resolução integrada e definitiva para um dos debates mais atuais na ciência do esporte: a real necessidade de se atingir a falha muscular momentânea para a maximização das adaptações neuromusculares. Ao mapear exaustivamente o contínuo condicionamento-fadiga, cruzando a fronteira entre o impacto fisiológico agudo e a aquisição de adaptações crônicas, os achados demonstram de forma clara que a exaustão contrátil absoluta não apenas é prescindível, como pode atuar de forma contraproducente.

A integração metodológica dos dois estudos que compõem este trabalho revela que o elevado custo biológico da falha muscular momentânea não se traduz em adaptações superiores. Por um lado, os dados do nosso modelo experimental demonstraram que o TFF impõe um estresse sistêmico severo e desproporcional, exacerbando a lesão tecidual, o desgaste metabólico e induzindo uma depressão do desempenho neuromuscular que se prolonga por até 72 horas. Por outro lado, a nossa revisão sistemática com metanálise confirmou que esse ambiente de fadiga extrema não gera hipertrofia adicional e, de forma crítica, atenua o desenvolvimento da força.

Diante dessas evidências, esta tese fundamenta uma mudança de paradigma na prescrição do TF, fornecendo diretrizes práticas pautadas no manejo estratégico e inteligente da fadiga. A maximização do aprimoramento físico não reside na busca implacável pela exaustão, mas no gerenciamento da dose de treinamento. Recomenda-se a interrupção das séries utilizando a escala de RIR como estratégia primária para garantir a exposição à tensão mecânica ideal, sem que o praticante ultrapasse o seu limiar de recuperação. Para a maximização da força, o TFNF mostra-se imperativo, pois a preservação de RIR mantém a alta velocidade intencional, a

cinemática do movimento e a taxa de disparo neural, respeitando o princípio da especificidade e evitando a falha mecânica induzida pelo acúmulo de metabólitos.

Adicionalmente, ao mitigar drasticamente a DMIT e acelerar a recuperação da função contrátil, a prescrição do TFNF permite aumentar a frequência semanal e o volume de qualidade, beneficiando especialmente atletas que necessitam de alta prontidão física. Essa redução do desconforto agudo e do risco de lesões associados às repetições finais fadigadas torna o TFNF uma via altamente segura, favorecendo a aderência a longo prazo em diversas populações. O TFNF consolida-se, definitivamente, como a diretriz padrão-ouro na prescrição do exercício, oferecendo a via mais eficiente, segura e sustentável para a otimização da hipertrofia muscular e da força em programas de TF a longo prazo.

REFERÊNCIAS

Aagaard, P.; Simonsen, E. B.; Andersen, J. L.; Magnusson, P.; Dyhre-Poulsen, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **J Appl Physiol (1985)**, 93, n. 4, p. 1318-1326, Oct 2002.

Acsm. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**, 41, n. 3, p. 687-708, Mar 2009.

Adlercreutz, H.; Härkönen, M.; Kuoppasalmi, K.; Näveri, H.; Huhtaniemi, I.; Tikkanen, H.; Remes, K.; Dessypris, A.; Karvonen, J. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. **Int J Sports Med**, 7 Suppl 1, p. 27-28, Jun 1986.

Allen, D. G.; Lamb, G. D.; Westerblad, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiol Rev**, 88, n. 1, p. 287-332, Jan 2008.

Amann, M.; Dempsey, J. A. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. **J Physiol**, 586, n. 1, p. 161-173, Jan 1 2008.

Andersen, V.; Paulsen, G.; Stien, N.; Baarholm, M.; Seynnes, O.; Saeterbakken, A. H. Resistance Training With Different Velocity Loss Thresholds Induce Similar Changes in Strength and Hypertrophy. **J Strength Cond Res**, 38, n. 3, p. e135-e142, Mar 1 2024.

Anicic, Z.; Janicijevic, D.; Knezevic, O. M.; Garcia-Ramos, A.; Petrovic, M. R.; Cabarkapa, D.; Mirkov, D. M. Assessment of Countermovement Jump: What Should We Report? **Life (Basel)**, 13, n. 1, Jan 9 2023.

Ashton, R. E.; Tew, G. A.; Aning, J. J.; Gilbert, S. E.; Lewis, L.; Saxton, J. M. Effects of short-term, medium-term and long-term resistance exercise training on cardiometabolic health outcomes in adults: systematic review with meta-analysis. **Br J Sports Med**, 54, n. 6, p. 341-348, Mar 2020.

Beausejour, J. P.; Knowles, K. S.; Pagan, J. I.; Rodriguez, J. P.; Sheldon, D.; Ruple, B. A.; Plotkin, D. L.; Smith, M. A.; Godwin, J. S.; Sexton, C. L.; Mcintosh, M. C.; Kontos, N. J.; Libardi, C. A.; Young, K.; Roberts, M. D.; Stock, M. S. The effects of resistance training to near volitional failure on motor unit recruitment during neuromuscular fatigue. **PeerJ**, 12, p. e18163, 2024.

Bergamasco, J. G. A.; Da Silva, D. G.; Bittencourt, D. F.; De Oliveira, R. M.; Júnior, J. C. B.; Caruso, F. R.; Godoi, D.; Borghi-Silva, A.; Libardi, C. A. Low-Load Resistance Training Performed to Muscle Failure or Near Muscle Failure Does Not Promote Additional Gains on Muscle Strength, Hypertrophy, and Functional Performance of Older Adults. **J Strength Cond Res**, 36, n. 5, p. 1209-1215, 2022. Journal article.

Billman, G. E. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. **Front Physiol**, 4, p. 26, 2013.

Borenstein, M.; Hedges, L. V.; Higgins, J. P.; Rothstein, H. R. A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. **Res Synth Methods**, 1, n. 2, p. 97-111, Apr 2010.

Borg, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc**, 14, n. 5, p. 377-381, 1982.

Buchheit, M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? **Front Physiol**, 5, p. 73, 2014.

Byrne, C.; Twist, C.; Eston, R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. **Sports Med**, 34, n. 1, p. 49-69, 2004.

Carroll, T. J.; Riek, S.; Carson, R. G. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. **Sports Med**, 31, n. 12, p. 829-840, 2001.

Chen, T. C.; Yang, T. J.; Huang, M. J.; Wang, H. S.; Tseng, K. W.; Chen, H. L.; Nosaka, K. Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. **Scand J Med Sci Sports**, 29, n. 5, p. 725-735, May 2019.

Clarkson, P. M. Exercise-induced muscle damage--animal and human models. **Med Sci Sports Exerc**, 24, n. 5, p. 510-511, May 1992.

Clarkson, P. M.; Hubal, M. J. Exercise-induced muscle damage in humans. **Am J Phys Med Rehabil**, 81, n. 11 Suppl, p. S52-69, Nov 2002.

Cohen, J. **The concepts of power analysis**. Hillsdale, New Jersey: Academic Press, Inc, 1988.

Cormack, S. J.; Newton, R. U.; Mcguigan, M. R.; Doyle, T. L. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. **Int J Sports Physiol Perform**, 3, n. 2, p. 131-144, Jun 2008.

Currier, B. S.; D'souza, A. C.; Singh, M. a. F.; Lowisz, C. V.; Rawson, E. S.; Schoenfeld, B. J.; Smith-Ryan, A. E.; Steen, J. P.; Thomas, G. A.; Triplett, N. T.; Washington, T. A.; Werner, T. J.; Phillips, S. M. American College of Sports Medicine Position Stand. Resistance Training Prescription for Muscle Function, Hypertrophy, and Physical Performance in Healthy Adults: An Overview of Reviews. **Med Sci Sports Exerc**, 58, n. 4, p. 851-872, Apr 1 2026.

Da Silva, L. X. N.; Teodoro, J. L.; Menger, E.; Lopez, P.; Grazioli, R.; Farinha, J.; Moraes, K.; Bottaro, M.; Pinto, R. S.; Izquierdo, M.; Et Al. Repetitions to failure versus not to failure during concurrent training in healthy elderly men: a randomized clinical trial. **Exp Gerontol**, 108, p. 18-27, 2018. Journal article.

Davies, T.; Orr, R.; Halaki, M.; Hackett, D. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. **Sports Med**, 46, n. 4, p. 487-502, Apr 2016.

De Souza, J. C.; Tibana, R. A.; Cavaglieri, C. R.; Vieira, D. C.; De Sousa, N. M.; Mendes, F. A.; Tajra, V.; Martins, W. R.; De Farias, D. L.; Balsamo, S.; Navalta, J. W.; Campbell, C. S.; Prestes, J. Resistance exercise leading to failure versus not to failure: effects on cardiovascular control. **BMC Cardiovasc Disord**, 13, p. 105, Nov 19 2013.

Duval, S.; Tweedie, R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. **Biometrics**, 56, n. 2, p. 455-463, Jun 2000.

Egger, M.; Davey Smith, G.; Schneider, M.; Minder, C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. **Bmj**, 315, n. 7109, p. 629-634, Sep 13 1997.

Eid, M.; Gollwitzer, M.; Schmitt, M. **Statistik und forschungsmethoden**. 5th ed. Weinheim: Beltz Verlag, 2011. 978-3-621-28201-7.

Enoka, R. M.; Duchateau, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **J Physiol**, 586, n. 1, p. 11-23, Jan 1 2008.

Enoka, R. M.; Duchateau, J. Translating Fatigue to Human Performance. **Med Sci Sports Exerc**, 48, n. 11, p. 2228-2238, Nov 2016.

Faul, F.; Erdfelder, E.; Lang, A.; Buchner, A. G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behav Res Methods**, 39, n. 2, p. 175-191, 2007.

Ferreira-Valente, M. A.; Pais-Ribeiro, J. L.; Jensen, M. P. Validity of four pain intensity rating scales. **Pain**, 152, n. 10, p. 2399-2404, Oct 2011.

Fisher, J. P.; Steele, J.; Smith, D. Intensity of effort and momentary failure in resistance training: Are we asking a binary question for a continuous variable? **J Sport Health Sci**, 11, n. 6, p. 644-647, Nov 2022.

Folland, J. P.; Williams, A. G. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Med**, 37, n. 2, p. 145-168, 2007.

Fridén, J.; Lieber, R. L. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. **Acta Physiol Scand**, 171, n. 3, p. 321-326, Mar 2001.

Gandevia, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiol Rev**, 81, n. 4, p. 1725-1789, Oct 2001.

Giles, D.; Draper, N.; Neil, W. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. **Eur J Appl Physiol**, 116, n. 3, p. 563-571, Mar 2015.

Gobel, F. L.; Norstrom, L. A.; Nelson, R. R.; Jorgensen, C. R.; Wang, Y. The rate-pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. **Circulation**, 57, n. 3, p. 549-556, Mar 1978.

González-Badillo, J. J.; Rodríguez-Rosell, D.; Sánchez-Medina, L.; Ribas, J.; López-López, C.; Mora-Custodio, R.; Yañez-García, J. M.; Pareja-Blanco, F. Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. **Int J Sports Med**, 37, n. 4, p. 295-304, Apr 2016.

González-Hernández, J. M.; García-Ramos, A.; Colomer-Poveda, D.; Tvarijonaviciute, A.; Cerón, J.; Jiménez-Reyes, P.; Márquez, G. Resistance training to failure vs. not to failure: acute and delayed markers of mechanical, neuromuscular, and biochemical fatigue. **J Strength Cond Res**, 35, n. 4, p. 886-893, Dec 9 2021.

Gorostiaga, E. M.; Navarro-Amézqueta, I.; Calbet, J. A.; Hellsten, Y.; Cusso, R.; Guerrero, M.; Granados, C.; González-Izal, M.; Ibañez, J.; Izquierdo, M. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. **PLoS One**, 7, n. 7, p. e40621, 2012.

Gorostiaga, E. M.; Navarro-Amézqueta, I.; Calbet, J. A.; Sánchez-Medina, L.; Cusso, R.; Guerrero, M.; Granados, C.; González-Izal, M.; Ibáñez, J.; Izquierdo, M. Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. **J Strength Cond Res**, 28, n. 10, p. 2775-2785, Oct 2014.

Grgic, J.; Schoenfeld, B. J.; Orazem, J.; Sabol, F. Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. **J Sport Health Sci**, Jan 23 2021.

Guyatt, G. H.; Oxman, A. D.; Vist, G. E.; Kunz, R.; Falck-Ytter, Y.; Alonso-Coello, P.; Schünemann, H. J. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. **Bmj**, 336, n. 7650, p. 924-926, Apr 26 2008.

Hackney, A. C. Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modifier of stress. **Expert Rev Endocrinol Metab**, 1, n. 6, p. 783-792, Nov 1 2006.

Haff, G. G.; Triplett, N. T. **Essentials of strength training and conditioning**. 4th ed. Champaign, IL : Human Kinetics, 2016. 9781492501626.

Halliwill, J. R. Mechanisms and clinical implications of post-exercise hypotension in humans. **Exerc Sport Sci Rev**, 29, n. 2, p. 65-70, Apr 2001.

Halson, S. L. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. **Sports Med**, 44 Suppl 2, n. Suppl 2, p. S139-147, Nov 2014.

Hammert, W. B.; Moreno, E. N.; Sallberg, R. W.; Yamada, Y.; Metcalf, E. E.; Young, E. W.; Kataoka, R.; Loenneke, J. P. Rethinking task failure in resistance training research: a framework for submaximal exercise prescription. **Eur J Appl Physiol**, Jan 24 2026.

Hartung, J.; Knapp, G. On tests of the overall treatment effect in meta-analysis with normally distributed responses. **Stat Med**, 20, n. 12, p. 1771-1782, Jun 30 2001.

Hatze, H. Validity and Reliability of Methods for Testing Vertical Jumping Performance. **J Appl Biomech**, 14, n. 2, p. 127-140, 1998.

Helms, E. R.; Cronin, J.; Storey, A.; Zourdos, M. C. Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. **Strength Cond J**, 38, n. 4, p. 42-49, Aug 2016.

Henneman, E.; Somjen, G.; Carpenter, D. O. Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. **J Neurophysiol**, 28, n. 3, p. 599-620, May 1965.

Henneman, E.; Somjen, G.; Carpenter, D. O. FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF CELL SIZE IN SPINAL MOTONEURONS. **J Neurophysiol**, 28, p. 560-580, May 1965.

Hermann, T.; Mohan, A. E.; Enes, A.; Sapuppo, M.; Piñero, A.; Zamanzadeh, A.; Roberts, M.; Coleman, M.; Korakakis, P. A.; Wolf, M.; Et Al. Without Fail: muscular Adaptations in Single-Set Resistance Training Performed to Failure or with Repetitions-in-Reserve. **Med Sci Sports Exerc**, 57, n. 9, p. 2021-2031, 2025. Journal article.

Higgins, J. P.; Thompson, S. G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. **Stat Med**, 21, n. 11, p. 1539-1558, Jun 15 2002.

Higgins, J. P.; Thompson, S. G.; Deeks, J. J.; Altman, D. G. Measuring inconsistency in meta-analyses. **Bmj**, 327, n. 7414, p. 557-560, Sep 6 2003.

Higgins, J. P. T.; Thomas, J.; Chandler, J.; Cumpston, M.; Li, T.; Page, M. J. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 6.5**. Chichester, UK, 2024. Disponível em: www.cochrane.org/handbook. Acesso em: June 2026.

Izquierdo, M.; Ibañez, J.; González-Badillo, J. J.; Häkkinen, K.; Ratamess, N. A.; Kraemer, W. J.; French, D. N.; Eslava, J.; Altadill, A.; Asiain, X.; Gorostiaga, E. M. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. **J Appl Physiol (1985)**, 100, n. 5, p. 1647-1656, May 2006.

Jackson, A. S.; Pollock, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **Br J Nutr**, 40, n. 3, p. 497-504, 1978.

Kang, M. S.; Kim, J.; Lee, J. Effect of different muscle contraction interventions using an isokinetic dynamometer on muscle recovery following muscle injury. **J Exerc Rehabil**, 14, n. 6, p. 1080-1084, Dec 2018.

Karsten, B.; Fu, Y. L.; Larumbe-Zabala, E.; Seijo, M.; Naclerio, F. Impact of Two High-Volume Set Configuration Workouts on Resistance Training Outcomes in Recreationally Trained Men. **J Strength Cond Res**, 35, n. Suppl 1, p. S136-S143, 2021. Journal article.

Kniffeki, K. D.; Mense, S.; Schmidt, R. F. Muscle receptors with fine afferent fibers which may evoke circulatory reflexes. **Circ Res**, 48, n. 6 Pt 2, p. I25-31, Jun 1981.

Koch, A. J.; Pereira, R.; Machado, M. The creatine kinase response to resistance exercise. **J Musculoskelet Neuronal Interact**, 14, n. 1, p. 68-77, Mar 2014.

Koo, T. K.; Li, M. Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. **J Chiropr Med**, 15, n. 2, p. 155-163, Jun 2016.

Kramer, J. B.; Stone, M. H.; O'bryant, H. S.; Conley, M. S.; Johnson, R. L.; Nieman, D. C.; Honeycutt, D. R.; Hoke, T. P. Effects of single vs. multiple sets of weight training: Impact of volume, intensity, and variation. **J Strength Cond Res**, 11, n. 3, p. 143-147, 1997. Article.

Lacerda, L. T.; Marra-Lopes, R. O.; Diniz, R. C. R.; Lima, F. V.; Rodrigues, S. A.; Martins-Costa, H. C.; Bemben, M. G.; Chagas, M. H. Is Performing Repetitions to Failure Less Important Than Volume for Muscle Hypertrophy and Strength? **J Strength Cond Res**, 34, n. 5, p. 1237-1248, 2020. Journal article.

Lasevicius, T.; Schoenfeld, B. J.; Silva-Batista, C.; Barros, T. S.; Aihara, A. Y.; Brendon, H.; Longo, A. R.; Tricoli, V.; Peres, B. A.; Teixeira, E. L. Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. **J Strength Cond Res**, 36, n. 2, p. 346-351, Feb 1 2022.

Laurent, C. M.; Green, J. M.; Bishop, P. A.; Sjökvist, J.; Schumacker, R. E.; Richardson, M. T.; Curtner-Smith, M. A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. **J Strength Cond Res**, 25, n. 3, p. 620-628, Mar 2011.

Liang, K.; Zeger, S. L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. **Biometrika**, 73, n. 1, p. 13-22, 1986.

Linnamo, V.; Häkkinen, K.; Komi, P. V. Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, 77, n. 1-2, p. 176-181, 1998.

Linnamo, V.; Pakarinen, A.; Komi, P. V.; Kraemer, W. J.; Häkkinen, K. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. **J Strength Cond Res**, 19, n. 3, p. 566-571, Aug 2005.

Linthorne, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. **Am J Phys**, 69, n. 11, p. 1198-1204, 2001.

Macdonald, J. R. Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypotension. **J Hum Hypertens**, 16, n. 4, p. 225-236, Apr 2002.

Macdougall, J. D.; Tuxen, D.; Sale, D. G.; Moroz, J. R.; Sutton, J. R. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. **J Appl Physiol (1985)**, 58, n. 3, p. 785-790, Mar 1985.

Machado, C. L. F.; Bgeginski, R.; De Castro, C.; Wilhelm, E. N.; Pinto, R. S. Acute Hemodynamic Responses to Repetitions to Failure Using Different Resistance Exercises and Protocols in Normotensive Men: A crossover study. **Clin Exp Hypertens**, 42, n. 5, p. 401-408, Jul 3 2020.

Martorelli, A. S.; De Lima, F. D.; Vieira, A.; Tufano, J. J.; Ernesto, C.; Boullosa, D.; Bottaro, M. The interplay between internal and external load parameters during different strength training sessions in resistance-trained men. **Eur J Sport Sci**, 21, n. 1, p. 16-25, Jan 2021.

Martorelli, S.; Cadore, E. L.; Izquierdo, M.; Celes, R.; Martorelli, A.; Cleto, V. A.; Alvarenga, J. G.; Bottaro, M. Strength Training with Repetitions to Failure does not Provide Additional Strength and Muscle Hypertrophy Gains in Young Women. **Eur J Transl Myol**, 27, n. 2, p. 6339, Jun 24 2017.

Miclos-Balica, M.; Muntean, P.; Schick, F.; Haragus, H. G.; Glisici, B.; Pupazan, V.; Neagu, A.; Neagu, M. Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. **Eur J Clin Nutr**, 75, n. 3, p. 438-445, Mar 2021.

Mitchell, J. H.; Kaufman, M. P.; Iwamoto, G. A. The exercise pressor reflex: its cardiovascular effects, afferent mechanisms, and central pathways. **Annu Rev Physiol**, 45, p. 229-242, 1983.

Morán-Navarro, R.; Pérez, C. E.; Mora-Rodríguez, R.; Cruz-Sánchez, E.; González-Badillo, J. J.; Sánchez-Medina, L.; Pallarés, J. G. Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. **Eur J Appl Physiol**, 117, n. 12, p. 2387-2399, Dec 2017.

Morton, R. W.; Oikawa, S. Y.; Wavell, C. G.; Mazara, N.; Mcglory, C.; Quadrilatero, J.; Baechler, B. L.; Baker, S. K.; Phillips, S. M. Neither load nor systemic hormones

determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. **J Appl Physiol (1985)**, 121, n. 1, p. 129-138, Jul 1 2016.

Morton, R. W.; Sonne, M. W.; Farias Zuniga, A.; Mohammad, I. Y. Z.; Jones, A.; Mcglory, C.; Keir, P. J.; Potvin, J. R.; Phillips, S. M. Muscle fibre activation is unaffected by load and repetition duration when resistance exercise is performed to task failure. **J Physiol**, 597, n. 17, p. 4601-4613, Sep 2019.

Moseley, A. M.; Elkins, M. R.; Van Der Wees, P. J.; Pinheiro, M. B. Using research to guide practice: The Physiotherapy Evidence Database (PEDro). **Braz J Phys Ther**, 24, n. 5, p. 384-391, Sep-Oct 2020.

Nelson, A. G.; Kokkonen, J. **Stretching anatomy**. Champaign: Human Kinetics, 2007. 147 p. 0-7360-8084-8.

Nóbrega, S. R.; Ugrinowitsch, C.; Pintanel, L.; Barcelos, C.; Libardi, C. A. Effect of Resistance Training to Muscle Failure vs. Volitional Interruption at High- and Low-Intensities on Muscle Mass and Strength. **J Strength Cond Res**, 32, n. 1, p. 162-169, Jan 2018.

Ouzzani, M.; Hammady, H.; Fedorowicz, Z.; Elmagarmid, A. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. **Syst Rev**, 5, n. 1, p. 210, Dec 5 2016.

Page, M. J.; Mckenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C.; Mulrow, C. D.; Shamseer, L.; Tetzlaff, J. M.; Akl, E. A.; Brennan, S. E.; Chou, R.; Glanville, J.; Grimshaw, J. M.; Hróbjartsson, A.; Lalu, M. M.; Li, T.; Loder, E. W.; Mayo-Wilson, E.; Mcdonald, S.; Mcguinness, L. A.; Stewart, L. A.; Thomas, J.; Tricco, A. C.; Welch, V. A.; Whiting, P.; Moher, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Bmj**, 372, p. n71, Mar 29 2021.

Pareja-Blanco, F.; Rodríguez-Rosell, D.; Aagaard, P.; Sánchez-Medina, L.; Ribas-Serna, J.; Mora-Custodio, R.; Otero-Esquina, C.; Yáñez-García, J. M.; González-Badillo, J. J. Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. **J Strength Cond Res**, 34, n. 10, p. 2867-2876, Oct 2020.

Pareja-Blanco, F.; Rodríguez-Rosell, D.; Sánchez-Medina, L.; Ribas-Serna, J.; López-López, C.; Mora-Custodio, R.; Yáñez-García, J. M.; González-Badillo, J. J. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. **Clin Physiol Funct Imaging**, 37, n. 6, p. 630-639, Nov 2016.

Pareja-Blanco, F.; Rodríguez-Rosell, D.; Sánchez-Medina, L.; Sanchis-Moysi, J.; Dorado, C.; Mora-Custodio, R.; Yáñez-García, J. M.; Morales-Alamo, D.; Pérez-Suárez, I.; Calbet, J. a. L.; González-Badillo, J. J. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. **Scand J Med Sci Sports**, 27, n. 7, p. 724-735, Jul 2017.

Párraga-Montilla, J. A.; García-Ramos, A.; Castaño-Zambudio, A.; Capelo-Ramírez, F.; González-Hernández, J. M.; Cordero-Rodríguez, Y.; Jiménez-Reyes, P. Acute and delayed effects of a resistance training session leading to muscular failure on

mechanical, metabolic, and perceptual responses. **J Strength Cond Res**, 34, n. 8, p. 2220-2226, Aug 2020.

Pelland, J. C.; Robinson, Z. P.; Remmert, J. F.; Cerminaro, R. M.; Benitez, B.; John, T. A.; Helms, E. R.; Zourdos, M. C. Methods for Controlling and Reporting Resistance Training Proximity to Failure: Current Issues and Future Directions. **Sports Med**, 52, n. 7, p. 1461-1472, Jul 2022.

Penttilä, J.; Helminen, A.; Jartti, T.; Kuusela, T.; Huikuri, H. V.; Tulppo, M. P.; Coffeng, R.; Scheinin, H. Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. **Clin Physiol**, 21, n. 3, p. 365-376, May 2001.

Plews, D. J.; Laursen, P. B.; Stanley, J.; Kilding, A. E.; Buchheit, M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. **Sports Med**, 43, n. 9, p. 773-781, Sep 2013.

Proske, U.; Morgan, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **J Physiol**, 537, n. Pt 2, p. 333-345, Dec 1 2001.

Raastad, T.; Bjøro, T.; Hallén, J. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. **Eur J Appl Physiol**, 82, n. 1-2, p. 121-128, May 2000.

Refalo, M. C.; Helms, E. R.; Hamilton, D. L.; Fyfe, J. J. Towards an improved understanding of proximity-to-failure in resistance training and its influence on skeletal muscle hypertrophy, neuromuscular fatigue, muscle damage, and perceived discomfort: A scoping review. **J Sports Sci**, 40, n. 12, p. 1369-1391, 2022/06/18 2022.

Refalo, M. C.; Helms, E. R.; Hamilton, D. L.; Fyfe, J. J. Influence of Resistance Training Proximity-to-Failure, Determined by Repetitions-in-Reserve, on Neuromuscular Fatigue in Resistance-Trained Males and Females. **Sports Med Open**, 9, n. 1, p. 10, Feb 8 2023.

Refalo, M. C.; Helms, E. R.; Hamilton, D. L.; Fyfe, J. J. The Effect of Proximity-To-Failure on Perceptual Responses to Resistance Training. **Eur J Sport Sci**, 25, n. 3, p. e12266, Mar 2025.

Refalo, M. C.; Helms, E. R.; Trexler, E. T.; Hamilton, D. L.; Fyfe, J. J. Influence of Resistance Training Proximity-to-Failure on Skeletal Muscle Hypertrophy: A Systematic Review with Meta-analysis. **Sports Med**, 53, n. 3, p. 649-665, Mar 2023.

Ribeiro, A. S.; Schoenfeld, B. J.; Nunes, J. P. Large and small muscles in resistance training: is it time for a better definition? **Strength Condit J**, 39, n. 5, p. 33-35, 2017.

Rigby, R. A.; Stasinopoulos, D. M. Generalized additive models for location, scale and shape. **J R Stat Soc Ser C Appl Stat**, 54, n. 3, p. 507-554, 2005.

Robertson, R. J.; Goss, F. L.; Rutkowski, J.; Lenz, B.; Dixon, C.; Timmer, J.; Frazee, K.; Dube, J.; Andreacci, J. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. **Med Sci Sports Exerc**, 35, n. 2, p. 333-341, Feb 2003.

Robinson, Z. P.; Pelland, J. C.; Remmert, J. F.; Refalo, M. C.; Jukic, I.; Steele, J.; Zourdos, M. C. Exploring the Dose-Response Relationship Between Estimated Resistance Training Proximity to Failure, Strength Gain, and Muscle Hypertrophy: A Series of Meta-Regressions. **Sports Med**, 54, n. 9, p. 2209-2231, Sep 2024.

Rodríguez-Rosell, D.; Yáñez-García, J. M.; Torres-Torrelo, J.; Mora-Custodio, R.; Marques, M. C.; González-Badillo, J. J. Effort Index as a Novel Variable for Monitoring the Level of Effort During Resistance Exercises. **J Strength Cond Res**, 32, n. 8, p. 2139-2153, Aug 2018.

Sanborn, K.; Boros, R.; Hruby, J.; Schilling, B.; O'bryant, H. S.; Johnson, R. L.; Hoke, T.; Stone, M. E.; Stone, M. H. Short-Term Performance Effects of Weight Training with Multiple Sets Not to Failure vs. a Single Set to Failure in Women. **J Strength Cond Res**, 14, n. 3, p. 328-331, 2000. Article.

Sánchez-Medina, L.; González-Badillo, J. J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, 43, n. 9, p. 1725-1734, Sep 2011.

Santanielo, N.; Nóbrega, S. R.; Scarpelli, M. C.; Alvarez, I. F.; Otoboni, G. B.; Pintanel, L.; Libardi, C. A. Effect of resistance training to muscle failure vs non-failure on strength, hypertrophy and muscle architecture in trained individuals. **Biol Sport**, 37, n. 4, p. 333-341, 2020. Journal article.

Santos, W. D. N.; Vieira, C. A.; Bottaro, M.; Nunes, V. A.; Ramirez-Campillo, R.; Steele, J.; Fisher, J. P.; Gentil, P. Resistance Training Performed to Failure or Not to Failure Results in Similar Total Volume, but With Different Fatigue and Discomfort Levels. **J Strength Cond Res**, Jan 4 2019.

Schoenfeld, B. J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. **J Strength Cond Res**, 24, n. 10, p. 2857-2872, Oct 2010.

Schoenfeld, B. J.; Contreras, B.; Krieger, J.; Grgic, J.; Delcastillo, K.; Belliard, R.; Alto, A. Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. **Med Sci Sports Exerc**, 51, n. 1, p. 94-103, Jan 2019.

Schoenfeld, B. J.; Fisher, J. P.; Grgic, J.; Haun, C. T.; Helms, E. T.; Phillips, S. M.; Steele, J.; Vigotsky, A. D. Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: position stand of the IUSCA. **Int J Strength Cond**, 1, n. 1, 08/16 2021.

Schoenfeld, B. J.; Grgic, J. Does training to failure maximize muscle hypertrophy? **Strength Condit J**, 41, n. 5, p. 108-113, 2019.

Schoenfeld, B. J.; Ogborn, D.; Krieger, J. W. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. **J Sports Sci**, 35, n. 11, p. 1073-1082, Jun 2017.

Shaffer, F.; Ginsberg, J. P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. **Front Public Health**, 5, p. 258, 2017.

Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples)†. **Biometrika**, 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

Shephard, R. J. PAR-Q, Canadian Home Fitness Test and exercise screening alternatives. **Sports Med**, 5, n. 3, p. 185-195, Mar 1988.

Shibata, K.; Takizawa, K.; Tomabechi, N.; Nosaka, K.; Mizuno, M. Comparison Between Two Volume-Matched Squat Exercises With and Without Momentary Failure for Changes in Hormones, Maximal Voluntary Isometric Contraction Strength, and Perceived Muscle Soreness. **J Strength Cond Res**, Jul 24 2019.

Singh, A. M.; Staines, W. R. The effects of acute aerobic exercise on the primary motor cortex. **J Mot Behav**, 47, n. 4, p. 328-339, 2015.

Siri, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. **Nutrition**, 9, n. 5, p. 480-491; discussion 480, 492, Sep-Oct 1993.

Sousa, C. A.; Zourdos, M. C.; Storey, A. G.; Helms, E. R. The Importance of Recovery in Resistance Training Microcycle Construction. **J Hum Kinet**, 91, n. Spec Issue, p. 205-223, Mar 2024.

Spiering, B. A.; Kraemer, W. J.; Anderson, J. M.; Armstrong, L. E.; Nindl, B. C.; Volek, J. S.; Maresh, C. M. Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. **Sports Med**, 38, n. 7, p. 527-540, 2008.

Stanley, J.; Peake, J. M.; Buchheit, M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. **Sports Med**, 43, n. 12, p. 1259-1277, Dec 2013.

Sterne, J. A.; Sutton, A. J.; Ioannidis, J. P.; Terrin, N.; Jones, D. R.; Lau, J.; Carpenter, J.; Rücker, G.; Harbord, R. M.; Schmid, C. H.; Tetzlaff, J.; Deeks, J. J.; Peters, J.; Macaskill, P.; Schwarzer, G.; Duval, S.; Altman, D. G.; Moher, D.; Higgins, J. P. Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. **Bmj**, 343, p. d4002, Jul 22 2011.

Sterne, J. a. C.; Savović, J.; Page, M. J.; Elbers, R. G.; Blencowe, N. S.; Boutron, I.; Cates, C. J.; Cheng, H. Y.; Corbett, M. S.; Eldridge, S. M.; Emberson, J. R.; Hernán, M. A.; Hopewell, S.; Hróbjartsson, A.; Junqueira, D. R.; Jüni, P.; Kirkham, J. J.; Lasserson, T.; Li, T.; Mcaleenan, A.; Reeves, B. C.; Shepperd, S.; Shrier, I.; Stewart, L. A.; Tilling, K.; White, I. R.; Whiting, P. F.; Higgins, J. P. T. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. **Bmj**, 366, p. l4898, Aug 28 2019.

Suchomel, T. J.; Nimphius, S.; Bellon, C. R.; Stone, M. H. The importance of muscular strength: training considerations. **Sports Med**, 48, n. 4, p. 765-785, Apr 2018.

Suchomel, T. J.; Nimphius, S.; Stone, M. H. The importance of muscular strength in athletic performance. **Sports Med**, 46, n. 10, p. 1419-1449, Oct 2016.

Sundstrup, E.; Jakobsen, M. D.; Andersen, C. H.; Zebis, M. K.; Mortensen, O. S.; Andersen, L. L. Muscle activation strategies during strength training with heavy loading vs. repetitions to failure. **J Strength Cond Res**, 26, n. 7, p. 1897-1903, Jul 2012.

Tajra, V.; Vieira, D. C.; Tibana, R. A.; Teixeira, T. G.; Silva, A. O.; Farias, D. L.; Nascimento Dda, C.; De Sousa, N. M.; Willardson, J.; Prestes, J. Different acute cardiovascular stress in response to resistance exercise leading to failure versus not to failure in elderly women with and without hypertension--a pilot study. **Clin Physiol Funct Imaging**, 35, n. 2, p. 127-133, Mar 2015.

Tarvainen, M. P.; Niskanen, J. P.; Lipponen, J. A.; Ranta-Aho, P. O.; Karjalainen, P. A. Kubios HRV--heart rate variability analysis software. **Comput Methods Programs Biomed**, 113, n. 1, p. 210-220, 2014.

Task-Force. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. **Eur Heart J**, 17, n. 3, p. 354-381, Mar 1996.

Teodoro, J. L.; Da Silva, L. X. N.; Fritsch, C. G.; Baroni, B. M.; Grazioli, R.; Boeno, F. P.; Lopez, P.; Gentil, P.; Bottaro, M.; Pinto, R. S.; Et Al. Concurrent training performed with and without repetitions to failure in older men: a randomized clinical trial. **Scand J Med Sci Sports**, 29, n. 8, p. 1141-1152, 2019. Journal article.

Terada, K.; Kikuchi, N.; Burt, D.; Voisin, S.; Nakazato, K. Low-Load Resistance Training to Volitional Failure Induces Muscle Hypertrophy Similar to Volume-Matched, Velocity Fatigue. **J Strength Cond Res**, 36, n. 6, p. 1576-1581, Jun 1 2022.

Vasquez, L. M.; Mcbride, J. M.; Paul, J. A.; Alley, J. R.; Carson, L. T.; Goodman, C. L. Effect of resistance exercise performed to volitional failure on ratings of perceived exertion. **Percept Mot Skills**, 117, n. 3, p. 881-891, Dec 2013.

Vickers, A. J. Comparison of an ordinal and a continuous outcome measure of muscle soreness. **Int J Technol Assess Health Care**, 15, n. 4, p. 709-716, Fall 1999.

Viechtbauer, W. Bias and efficiency of meta-analytic variance estimators in the random-effects model. **J Educ Behav Stat**, 30, n. 3, p. 261-293, 2005.

Vieira, A. F.; Umpierre, D.; Teodoro, J. L.; Lisboa, S. C.; Baroni, B. M.; Izquierdo, M.; Cadore, E. L. Effects of resistance training performed to failure or not to failure on muscle strength, hypertrophy, and power output: a systematic review with meta-analysis. **J Strength Cond Res**, 35, n. 4, p. 1165-1175, Feb 4 2021.

Vieira, J. G.; Da Silva, B. P.; Campos, Y.; Dias, M. R.; Souza, P. L.; De Queiros, V. S.; Kamis, O.; Wilk, M.; Fostiak, K.; Łukasz, J.; Da Silva Novaes, J.; Vianna, J. M. Acute fatigue and recovery responses to resistance training performed to momentary muscular failure: an exploratory multimodal physiological study. **Sci Rep**, Jun 29 2026.

Vieira, J. G.; Dias, M. R. C.; Lacio, M.; Schimitz, G.; Nascimento, G.; Panza, P.; Ribeiro, M.; Ribeiro, A.; Leitão, L.; Novaes, J. Resistance training with repetition to failure or not on muscle strength and perceptual responses. **J Exerc Physiol Online**, 16, n. 3, 2019.

Vieira, J. G.; Sardeli, A. V.; Dias, M. R.; Filho, J. E.; Campos, Y.; Sant'ana, L.; Leitão, L.; Reis, V.; Wilk, M.; Novaes, J.; Vianna, J. Effects of Resistance Training to Muscle Failure on Acute Fatigue: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Med**, 52, n. 5, p. 1103-1125, May 2022.

Wackerhage, H.; Schoenfeld, B. J.; Hamilton, D. L.; Lehti, M.; Hulmi, J. J. Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. **J Appl Physiol (1985)**, 126, n. 1, p. 30-43, Jan 1 2019.

Wagner, D. R.; Thompson, B. J.; Anderson, D. A.; Schwartz, S. A-mode and B-mode ultrasound measurement of fat thickness: a cadaver validation study. **Eur J Clin Nutr**, 73, n. 4, p. 518-523, Apr 2019.

Weakley, J.; Mclaren, S.; Ramirez-Lopez, C.; García-Ramos, A.; Dalton-Barron, N.; Banyard, H.; Mann, B.; Weaving, D.; Jones, B. Application of velocity loss thresholds during free-weight resistance training: Responses and reproducibility of perceptual, metabolic, and neuromuscular outcomes. **J Sports Sci**, 38, n. 5, p. 477-485, Mar 2020.

West, D. W.; Burd, N. A.; Tang, J. E.; Moore, D. R.; Staples, A. W.; Holwerda, A. M.; Baker, S. K.; Phillips, S. M. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. **J Appl Physiol (1985)**, 108, n. 1, p. 60-67, Jan 2010.

Westcott, W. L. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. **Curr Sports Med Rep**, 11, n. 4, p. 209-216, Jul-Aug 2012.

Whelton, P. K.; Carey, R. M.; Aronow, W. S.; Casey, D. E., Jr.; Collins, K. J.; Dennison Himmelfarb, C.; Depalma, S. M.; Gidding, S.; Jamerson, K. A.; Jones, D. W.; Maclaughlin, E. J.; Muntner, P.; Ovbiagele, B.; Smith, S. C., Jr.; Spencer, C. C.; Stafford, R. S.; Taler, S. J.; Thomas, R. J.; Williams, K. A., Sr.; Williamson, J. D.; Wright, J. T., Jr. 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**, 71, n. 6, p. 1269-1324, Jun 2018.

Willardson, J. M. The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. **J Strength Cond Res**, 21, n. 2, p. 628-631, May 2007.

Williams, M. A.; Haskell, W. L.; Ades, P. A.; Amsterdam, E. A.; Bittner, V.; Franklin, B. A.; Gulanick, M.; Laing, S. T.; Stewart, K. J. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. **Circulation**, 116, n. 5, p. 572-584, Jul 31 2007.

World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. **Jama**, 310, n. 20, p. 2191-2194, Nov 27 2013.

Wu, S.; Xie, L.; Zhao, Z.; Zheng, X.; Yin, X.; Hou, J.; Zhou, K.; Tang, P. Effects of resistance training performed to repetition non-failure on exercise performance in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. **BMC Sports Sci Med Rehabil**, Jul 6 2026.

Zourdos, M. C.; Klemp, A.; Dolan, C.; Quiles, J. M.; Schau, K. A.; Jo, E.; Helms, E.; Esgro, B.; Duncan, S.; Garcia Merino, S.; Blanco, R. Novel Resistance Training-Specific Rating of Perceived Exertion Scale Measuring Repetitions in Reserve. **J Strength Cond Res**, 30, n. 1, p. 267-275, Jan 2016.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO/BIORREPOSITÓRIO

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa: Análise do efeito agudo e crônico da manipulação das diferentes variáveis, métodos de encurtamento-alongamento e estratégias utilizadas no treinamento resistido para melhoria do desempenho e da recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações". O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é de analisar como o manuseio das diferentes variáveis, métodos e estratégias utilizadas no treinamento resistido (musculação) podem influenciar na melhoria da saúde e do desempenho muscular, e como o manuseio das variáveis determina o tamanho e o tipo de adaptações agudas (a curto prazo) e crônicas (a longo prazo) para a população estudada.

Caso você concorde em participar, vamos fazer as seguintes atividades com você: submeter você a musculação onde será realizado diferentes protocolos de treino com duração de oito semanas, três vezes por semana, com um total de 24 sessões de treino. estes protocolos experimentais serão compostos por diferentes programas de musculação que deverão manusear: a) diferentes variáveis, como por exemplo, intensidade, nível de esforço, amplitude de movimento entre outras; b) diferentes métodos (ciclo de encurtamento-alongamento ou métodos de alongamento) e c) diferentes estratégias (oclusão vascular, massagens de liberação miofascial e plataforma vibratória). Todos os testes serão realizados antes dos protocolos de musculação (intervenção), durante e após, sendo que a equipe responsável e formada por doutores, doutorandos, mestres e mestrandos em educação física que ficarão integralmente sob responsabilidade da pesquisa.

O material biológico a ser utilizado, será amostras de sangue. Para tanto, pedimos a sua autorização para a coleta, o armazenamento, a utilização e o descarte de "amostras sanguíneas que será utilizado exclusivamente neste projeto de pesquisa. O sangue deverá ser coletado por um farmacêutico experiente contratado que estará presente em todas as sessões que for necessário a coleta. As amostras após coletadas serão refrigeradas e transportadas para o laboratório de Pesquisas e Análises Clínicas Cavalieri, onde será realizado a análise sanguínea. Posteriormente a análise, sua amostra sanguínea será descartada em 24 horas visto regimento interno da empresa. Após as coletas, todo material utilizado (agulha esterilizada, seringa esterilizada, luva etc.) será descartado na sua frente em uma caixa para material perfurocortantes, sendo o material utilizado com você não mais utilizado em nenhum outro estudo. A respeito da coleta sanguínea o risco pode ser o aparecimento de algum pequeno hematoma, o qual será instruído a colocação de gelo para desaparecimento do hematoma.

Esta pesquisa tem alguns riscos, que são: alterações fisiomorfológicas como cansaço, falta de ar, tontura, alteração da pressão arterial e frequência cardíaca, além de dores musculares, caso não seja obedecida as padronizações de segurança de execução dos exercícios, estabelecidos pela orientação profissional.

A tricotomia (raspagem dos pelos com prestobarba) pode ocasionar pequeno corte na pele, o qual será instruído a lavagem com água corrente e sabão neutro. Mas, para diminuir a chance desses riscos acontecerem, a sessão será interrompida imediatamente, se qualquer anormalidade for observada pelos pesquisadores. Lembrando que caso necessário iremos nos responsabilizar por qualquer dano aos pesquisados, sendo nossa responsabilidade financeira garantir o encaminhamento dos participantes, assegurando atendimento em serviço médico adequado. Além disso, os exercícios que serão realizados durante as rotinas de musculação são amplamente conhecidos, suas intensidades serão controladas pelas respostas da frequência cardíaca, pressão arterial e perceptivas (escalas de percepção de esforço e dor). A pesquisa pode ajudar todos os voluntários durante a intervenção através do acompanhamento de uma equipe de profissionais pesquisadores da UFJF, dando todo suporte. Além disso, os resultados da pesquisa contribuirão para construção do conhecimento científico que auxiliarão profissionais da área da saúde na prescrição e recuperação de pessoas através de exercícios resistidos. Assim, diferentes populações irão se beneficiar da presente pesquisa, visto sua abrangência perante a comunidade, promovendo a saúde e melhorando a compreensão dos indivíduos a respeito do manuseio das diferentes variáveis da musculação, métodos e estratégias de melhoria de desempenho e recuperação.

Para participar deste estudo você não vai ter nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se você tiver algum dano por causa das atividades que fizermos com você nesta pesquisa, você tem direito a indenização. Você terá todas as informações que quiser sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Mesmo que você queira participar agora, você pode voltar atrás ou parar de participar a qualquer momento. Pode retirar o consentimento de guarda e utilização da sua amostra sanguínea, valendo a desistência a partir da data de formalização desta. A sua participação é voluntária e o fato de não querer participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que você é atendido (a). O pesquisador não vai divulgar seu nome. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos, e após esse tempo serão destruídos. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo as legislações brasileiras (resoluções nº 466/12 e nº 441/11 e a portaria 2.2011 do conselho nacional de saúde e suas complementares), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Declaro que concordo em participar da pesquisa, e que me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20 .

_____ Assinatura do Participante

_____ Assinatura do (a) Pesquisador (a)

Nome do Pesquisador Responsável: Jeferson Macedo Vianna
Campus Universitário da UFJF
Faculdade/Departamento/Instituto: Faculdade de Educação Física e desportos
CEP: 36036-900
Fone: (32) 99945-1081
E-mail: jvianna@acessa.com

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar: CEP - Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - UFJF Campus Universitário da UFJF Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa CEP: 36036-900 Fone: (32) 2102- 3788 / E-mail: cep.propesq@ufjf.edu.br

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - UFJF
Campus Universitário da UFJF
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
CEP: 36036-900
Fone: (32) 2102- 3788 / E-mail: cep.propp@ufjf.br

APÊNDICE B – *String* de busca da revisão sistemática com metanálise utilizada em cada base de dados eletrônicos

CENTRAL - *Cochrane Central Register of Controlled Trials* – 29 de junho de 2026
Resultados: 3392

População:

[mh "Healthy Volunteers"] OR [mh Adult] OR [mh "Young Adult"] OR [mh Athletes] OR [mh "Middle Aged"] OR [mh Aged] OR [mh Men] OR [mh Male] OR [mh Women] OR (healthy NEXT volunteer*):ti,ab,kw OR (healthy NEXT participant*):ti,ab,kw OR (healthy NEXT subject*):ti,ab,kw OR (human NEXT volunteer*):ti,ab,kw OR (normal NEXT volunteer*):ti,ab,kw OR adult*:ti,ab,kw OR (young NEXT adult*):ti,ab,kw OR athlete*:ti,ab,kw OR (professional NEXT athlete*):ti,ab,kw OR (elite NEXT athlete*):ti,ab,kw OR (college NEXT athlete*):ti,ab,kw OR "middle aged":ti,ab,kw OR "middle age":ti,ab,kw OR "aged":ti,ab,kw OR "elderly":ti,ab,kw OR "men":ti,ab,kw OR male*:ti,ab,kw OR "women":ti,ab,kw OR "woman":ti,ab,kw OR "trained":ti,ab,kw OR "untrained":ti,ab,kw OR "recreationally active":ti,ab,kw OR "recreationally trained":ti,ab,kw OR "physically active":ti,ab,kw

Intervenção:

[mh "Resistance Training"] OR "resistance training":ti,ab,kw OR "strength training":ti,ab,kw OR "weight-lifting strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-lifting strengthening programs":ti,ab,kw OR "weight lifting strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-lifting exercise program":ti,ab,kw OR "weight-lifting exercise programs":ti,ab,kw OR "weight lifting exercise program":ti,ab,kw OR "weight-bearing strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-bearing strengthening programs":ti,ab,kw OR "weight bearing strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-bearing exercise program":ti,ab,kw OR "weight-bearing exercise programs":ti,ab,kw OR "weight bearing exercise program":ti,ab,kw OR (resistance NEXT train*):ti,ab,kw OR (strength NEXT train*):ti,ab,kw OR (weight NEXT train*):ti,ab,kw OR (weight NEXT lift*):ti,ab,kw

Condição:

[mh "Muscle Fatigue"] OR "muscle fatigue":ti,ab,kw OR "muscular fatigue":ti,ab,kw OR "muscle failure":ti,ab,kw OR "muscular failure":ti,ab,kw OR "momentary failure":ti,ab,kw OR "concentric failure":ti,ab,kw OR "to failure":ti,ab,kw OR "not to failure":ti,ab,kw OR "non-failure":ti,ab,kw OR "nonfailure":ti,ab,kw OR (repetition NEXT maximum*):ti,ab,kw OR "repetitions in reserve":ti,ab,kw OR "RIR":ti,ab,kw OR "volitional failure":ti,ab,kw OR "volitional exhaustion":ti,ab,kw OR "volitional fatigue":ti,ab,kw OR "task failure":ti,ab,kw

Busca combinada:

#1 MeSH descriptor: [Healthy Volunteers] explode all trees
#2 MeSH descriptor: [Adult] explode all trees
#3 MeSH descriptor: [Young Adult] explode all trees
#4 MeSH descriptor: [Athletes] explode all trees
#5 MeSH descriptor: [Middle Aged] explode all trees
#6 MeSH descriptor: [Aged] explode all trees
#7 MeSH descriptor: [Men] explode all trees
#8 MeSH descriptor: [Male] explode all trees
#9 MeSH descriptor: [Women] explode all trees
#10 (healthy NEXT volunteer*):ti,ab,kw OR (healthy NEXT participant*):ti,ab,kw OR (healthy NEXT subject*):ti,ab,kw OR (human NEXT volunteer*):ti,ab,kw OR (normal NEXT volunteer*):ti,ab,kw OR adult*:ti,ab,kw OR (young NEXT adult*):ti,ab,kw OR

athlete*:ti,ab,kw OR (professional NEXT athlete*):ti,ab,kw OR (elite NEXT athlete*):ti,ab,kw OR (college NEXT athlete*):ti,ab,kw OR "middle aged":ti,ab,kw OR "middle age":ti,ab,kw OR "aged":ti,ab,kw OR "elderly":ti,ab,kw OR "men":ti,ab,kw OR male*:ti,ab,kw OR "women":ti,ab,kw OR "woman":ti,ab,kw OR "trained":ti,ab,kw OR "untrained":ti,ab,kw OR "recreationally active":ti,ab,kw OR "recreationally trained":ti,ab,kw OR "physically active":ti,ab,kw
#11 #1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10
#12 MeSH descriptor: [Resistance Training] explode all trees
#13 "resistance training":ti,ab,kw OR "strength training":ti,ab,kw OR "weight-lifting strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-lifting strengthening programs":ti,ab,kw OR "weight lifting strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-lifting exercise program":ti,ab,kw OR "weight-lifting exercise programs":ti,ab,kw OR "weight lifting exercise program":ti,ab,kw OR "weight-bearing strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-bearing strengthening programs":ti,ab,kw OR "weight bearing strengthening program":ti,ab,kw OR "weight-bearing exercise program":ti,ab,kw OR "weight-bearing exercise programs":ti,ab,kw OR "weight bearing exercise program":ti,ab,kw OR (resistance NEXT train*):ti,ab,kw OR (strength NEXT train*):ti,ab,kw OR (weight NEXT train*):ti,ab,kw OR (weight NEXT lift*):ti,ab,kw
#14 #12 OR #13
#15 MeSH descriptor: [Muscle Fatigue] explode all trees
#16 "muscle fatigue":ti,ab,kw OR "muscular fatigue":ti,ab,kw OR "muscle failure":ti,ab,kw OR "muscular failure":ti,ab,kw OR "momentary failure":ti,ab,kw OR "concentric failure":ti,ab,kw OR "to failure":ti,ab,kw OR "not to failure":ti,ab,kw OR "non-failure":ti,ab,kw OR "nonfailure":ti,ab,kw OR (repetition NEXT maximum*):ti,ab,kw OR "repetitions in reserve":ti,ab,kw OR "RIR":ti,ab,kw OR "volitional failure":ti,ab,kw OR "volitional exhaustion":ti,ab,kw OR "volitional fatigue":ti,ab,kw OR "task failure":ti,ab,kw
#17 #15 OR #16
#18 #11 AND #14 AND #17

EMBASE (Elsevier) – 30 de junho de 2026
Resultados: 1161
População:
#1'normal human'/exp OR 'adult'/exp OR 'young adult'/exp OR 'athlete'/exp OR 'middle aged'/exp OR 'aged'/exp OR 'male'/exp OR 'female'/exp OR 'healthy volunteer*':ti,ab,kw OR 'healthy participant*':ti,ab,kw OR 'healthy subject*':ti,ab,kw OR 'human volunteer*':ti,ab,kw OR 'normal volunteer*':ti,ab,kw OR adult*:ti,ab,kw OR 'young adult*':ti,ab,kw OR athlete*:ti,ab,kw OR 'professional athlete*':ti,ab,kw OR 'elite athlete*':ti,ab,kw OR 'college athlete*':ti,ab,kw OR 'middle aged':ti,ab,kw OR 'middle age':ti,ab,kw OR aged:ti,ab,kw OR elderly:ti,ab,kw OR men:ti,ab,kw OR male*:ti,ab,kw OR women:ti,ab,kw OR woman:ti,ab,kw OR trained:ti,ab,kw OR untrained:ti,ab,kw OR 'recreationally active':ti,ab,kw OR 'recreationally trained':ti,ab,kw OR 'physically active':ti,ab,kw
Intervenção:
#2'resistance training'/exp OR 'resistance training':ti,ab,kw OR 'strength training':ti,ab,kw OR 'resistance exercise':ti,ab,kw OR 'resistance-type exercise':ti,ab,kw OR 'resistance-type training':ti,ab,kw OR 'strength-type exercise':ti,ab,kw OR 'strength-type training':ti,ab,kw OR 'weight-lifting strengthening program':ti,ab,kw OR 'weight-lifting exercise program':ti,ab,kw OR 'weight-bearing strengthening program':ti,ab,kw OR 'weight-bearing exercise program':ti,ab,kw OR

'resistance train*':ti,ab,kw OR 'strength train*':ti,ab,kw OR 'weight train*':ti,ab,kw OR 'weight lift*':ti,ab,kw
Condição:
#3'muscle fatigue'/exp OR 'muscle fatigue':ti,ab,kw OR 'muscular fatigue':ti,ab,kw OR 'muscle failure':ti,ab,kw OR 'muscular failure':ti,ab,kw OR 'momentary failure':ti,ab,kw OR 'concentric failure':ti,ab,kw OR 'to failure':ti,ab,kw OR 'not to failure':ti,ab,kw OR 'non-failure':ti,ab,kw OR 'nonfailure':ti,ab,kw OR 'repetition maximum*':ti,ab,kw OR 'repetitions in reserve':ti,ab,kw OR 'RIR':ti,ab,kw OR 'volitional failure':ti,ab,kw OR 'volitional exhaustion':ti,ab,kw OR 'volitional fatigue':ti,ab,kw OR 'task failure':ti,ab,kw
Busca combinada:
#1 AND #2 AND #3
#4 AND [embase]/lim NOT ([embase]/lim AND [medline]/lim)

MEDLINE (via PubMed®) – 28 de junho de 2026
Resultados: 5265
População:
"Healthy Volunteers"[Mesh] OR "Adult"[Mesh] OR "Young Adult"[Mesh] OR "Athletes"[Mesh] OR "Middle Aged"[Mesh] OR "Aged"[Mesh] OR "Men"[Mesh] OR "Male"[Mesh] OR "Women"[Mesh] OR "healthy volunteer*"[tiab] OR "healthy participant*"[tiab] OR "healthy subject*"[tiab] OR "human volunteer*"[tiab] OR "normal volunteer*"[tiab] OR "adult*"[tiab] OR "young adult*"[tiab] OR "athlete*"[tiab] OR "professional athlete*"[tiab] OR "elite athlete*"[tiab] OR "college athlete*"[tiab] OR "middle aged"[tiab] OR "middle age"[tiab] OR "aged"[tiab] OR "elderly"[tiab] OR "men"[tiab] OR "male*"[tiab] OR "women"[tiab] OR "woman"[tiab] OR "trained"[tiab] OR "untrained"[tiab] OR "recreationally active"[tiab] OR "recreationally trained"[tiab] OR "physically active"[tiab]
Intervenção:
"Resistance Training"[Mesh] OR "resistance training"[tiab] OR "strength training"[tiab] OR "weight-lifting strengthening program"[tiab] OR "weight-lifting strengthening programs"[tiab] OR "weight lifting strengthening program"[tiab] OR "weight-lifting exercise program"[tiab] OR "weight-lifting exercise programs"[tiab] OR "weight lifting exercise program"[tiab] OR "weight-bearing strengthening program"[tiab] OR "weight-bearing strengthening programs"[tiab] OR "weight bearing strengthening program"[tiab] OR "weight-bearing exercise program"[tiab] OR "weight-bearing exercise programs"[tiab] OR "weight bearing exercise program"[tiab] OR "resistance train*"[tiab] OR "strength train*"[tiab] OR "weight train*"[tiab] OR "weight lift*"[tiab]
Condição:
"Muscle Fatigue"[Mesh] OR "muscle fatigue"[tiab] OR "muscular fatigue"[tiab] OR "muscle failure"[tiab] OR "muscular failure"[tiab] OR "momentary failure"[tiab] OR "concentric failure"[tiab] OR "to failure"[tiab] OR "not to failure"[tiab] OR "non-failure"[tiab] OR "nonfailure"[tiab] OR "repetition maximum*"[tiab] OR "repetitions in reserve"[tiab] OR "RIR"[tiab] OR "volitional failure"[tiab] OR "volitional exhaustion"[tiab] OR "volitional fatigue"[tiab] OR "task failure"[tiab]
Busca combinada:
(("Healthy Volunteers"[Mesh] OR "Adult"[Mesh] OR "Young Adult"[Mesh] OR "Athletes"[Mesh] OR "Middle Aged"[Mesh] OR "Aged"[Mesh] OR "Men"[Mesh] OR "Male"[Mesh] OR "Women"[Mesh] OR "healthy volunteer*"[tiab] OR "healthy participant*"[tiab] OR "healthy subject*"[tiab] OR "human volunteer*"[tiab] OR "normal volunteer*"[tiab] OR "adult*"[tiab] OR "young adult*"[tiab] OR "athlete*"[tiab] OR "professional athlete*"[tiab] OR "elite athlete*"[tiab] OR "college athlete*"[tiab] OR

"middle aged"[tiab] OR "middle age"[tiab] OR "aged"[tiab] OR "elderly"[tiab] OR "men"[tiab] OR "male*"[tiab] OR "women"[tiab] OR "woman"[tiab] OR "trained"[tiab] OR "untrained"[tiab] OR "recreationally active"[tiab] OR "recreationally trained"[tiab] OR "physically active"[tiab]) AND ("Resistance Training"[Mesh] OR "resistance training"[tiab] OR "strength training"[tiab] OR "weight-lifting strengthening program"[tiab] OR "weight-lifting strengthening programs"[tiab] OR "weight lifting strengthening program"[tiab] OR "weight-lifting exercise program"[tiab] OR "weight-lifting exercise programs"[tiab] OR "weight lifting exercise program"[tiab] OR "weight-bearing strengthening program"[tiab] OR "weight-bearing strengthening programs"[tiab] OR "weight bearing strengthening program"[tiab] OR "weight-bearing exercise program"[tiab] OR "weight-bearing exercise programs"[tiab] OR "weight bearing exercise program"[tiab] OR "resistance train*"[tiab] OR "strength train*"[tiab] OR "weight train*"[tiab] OR "weight lift*"[tiab])) AND ("Muscle Fatigue"[Mesh] OR "muscle fatigue"[tiab] OR "muscular fatigue"[tiab] OR "muscle failure"[tiab] OR "muscular failure"[tiab] OR "momentary failure"[tiab] OR "concentric failure"[tiab] OR "to failure"[tiab] OR "not to failure"[tiab] OR "non-failure"[tiab] OR "nonfailure"[tiab] OR "repetition maximum*"[tiab] OR "repetitions in reserve"[tiab] OR "RIR"[tiab] OR "volitional failure"[tiab] OR "volitional exhaustion"[tiab] OR "volitional fatigue"[tiab] OR "task failure"[tiab])

SCOPUS (Elsevier) – 30 de junho de 2026
Resultados: 7043
População:
(TITLE-ABS-KEY("healthy volunteer*" OR "healthy participant*" OR "healthy subject*" OR "human volunteer*" OR "normal volunteer*" OR "adult*" OR "young adult*" OR "athlete*" OR "professional athlete*" OR "elite athlete*" OR "college athlete*" OR "middle aged" OR "middle age" OR "aged" OR "elderly" OR "men" OR "male*" OR "women" OR "woman" OR "trained" OR "untrained" OR "recreationally active" OR "recreationally trained" OR "physically active"))
Intervenção:
(TITLE-ABS-KEY("resistance training" OR "strength training" OR "weight-lifting strengthening program*" OR "weight lifting strengthening program" OR "weight-lifting exercise program*" OR "weight lifting exercise program" OR "weight-bearing strengthening program*" OR "weight bearing strengthening program" OR "weight-bearing exercise program*" OR "weight bearing exercise program" OR "resistance train*" OR "strength train*" OR "weight train*" OR "weight lift*"))
Condição:
(TITLE-ABS-KEY("muscle fatigue" OR "muscular fatigue" OR "muscle failure" OR "muscular failure" OR "momentary failure" OR "concentric failure" OR "to failure" OR "not to failure" OR "non-failure" OR "nonfailure" OR "repetition maximum*" OR "repetitions in reserve" OR "RIR" OR "volitional failure" OR "volitional exhaustion" OR "volitional fatigue" OR "task failure"))
Busca combinada:
(TITLE-ABS-KEY ("healthy volunteer*" OR "healthy participant*" OR "healthy subject*" OR "human volunteer*" OR "normal volunteer*" OR "adult*" OR "young adult*" OR "athlete*" OR "professional athlete*" OR "elite athlete*" OR "college athlete*" OR "middle aged" OR "middle age" OR "aged" OR "elderly" OR "men" OR "male*" OR "women" OR "woman" OR "trained" OR "untrained" OR "recreationally active" OR "recreationally trained" OR "physically active")) AND (TITLE-ABS-KEY ("resistance training" OR "strength training" OR "weight-lifting strengthening program*"

OR "weight lifting strengthening program" OR "weight-lifting exercise program*" OR "weight lifting exercise program" OR "weight-bearing strengthening program*" OR "weight bearing strengthening program" OR "weight-bearing exercise program*" OR "weight bearing exercise program" OR "resistance train*" OR "strength train*" OR "weight train*" OR "weight lift*")) AND (TITLE-ABS-KEY ("muscle fatigue" OR "muscular fatigue" OR "muscle failure" OR "muscular failure" OR "momentary failure" OR "concentric failure" OR "to failure" OR "not to failure" OR "non-failure" OR "nonfailure" OR "repetition maximum*" OR "repetitions in reserve" OR "RIR" OR "volitional failure" OR "volitional exhaustion" OR "volitional fatigue" OR "task failure"))

Web of Science - Core Collection **(Clarivate Analytics) - 01 de julho de 2026**
Resultados: 4539
População:
TS=("healthy volunteer*" OR "healthy participant*" OR "healthy subject*" OR "human volunteer*" OR "normal volunteer*" OR "adult*" OR "young adult*" OR "athlete*" OR "professional athlete*" OR "elite athlete*" OR "college athlete*" OR "middle aged" OR "middle age" OR "aged" OR "elderly" OR "men" OR "male*" OR "women" OR "woman" OR "trained" OR "untrained" OR "recreationally active" OR "recreationally trained" OR "physically active")
Intervenção:
TS=("resistance training" OR "strength training" OR "weight-lifting strengthening program*" OR "weight lifting strengthening program" OR "weight-lifting exercise program*" OR "weight lifting exercise program" OR "weight-bearing strengthening program*" OR "weight bearing strengthening program" OR "weight-bearing exercise program*" OR "weight bearing exercise program" OR "resistance train*" OR "strength train*" OR "weight train*" OR "weight lift*")
Condição:
TS=("muscle fatigue" OR "muscular fatigue" OR "muscle failure" OR "muscular failure" OR "momentary failure" OR "concentric failure" OR "to failure" OR "not to failure" OR "non-failure" OR "nonfailure" OR "repetition maximum*" OR "repetitions in reserve" OR "RIR" OR "volitional failure" OR "volitional exhaustion" OR "volitional fatigue" OR "task failure")
Busca combinada:
TS=("healthy volunteer*" OR "healthy participant*" OR "healthy subject*" OR "human volunteer*" OR "normal volunteer*" OR "adult*" OR "young adult*" OR "athlete*" OR "professional athlete*" OR "elite athlete*" OR "college athlete*" OR "middle aged" OR "middle age" OR "aged" OR "elderly" OR "men" OR "male*" OR "women" OR "woman" OR "trained" OR "untrained" OR "recreationally active" OR "recreationally trained" OR "physically active") AND TS=("resistance training" OR "strength training" OR "weight-lifting strengthening program*" OR "weight lifting strengthening program" OR "weight-lifting exercise program*" OR "weight lifting exercise program" OR "weight-bearing strengthening program*" OR "weight bearing strengthening program" OR "weight-bearing exercise program*" OR "weight bearing exercise program" OR "resistance train*" OR "strength train*" OR "weight train*" OR "weight lift*") AND TS=("muscle fatigue" OR "muscular fatigue" OR "muscle failure" OR "muscular failure" OR "momentary failure" OR "concentric failure" OR "to failure" OR "not to failure" OR "non-failure" OR "nonfailure" OR "repetition maximum*" OR "repetitions in reserve" OR "RIR" OR "volitional failure" OR "volitional exhaustion" OR "volitional fatigue" OR "task failure")

APÊNDICE C – Lista completa e a justificativa pormenorizada para a exclusão dos 13 artigos recuperados via bases de dados eletrônicas.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Bergamasco, J. G. A.; Da Silva, D. G.; Bittencourt, D. F.; De Oliveira, R. M.; Júnior, J. C. B.; Caruso, F. R.; Godoi, D.; Borghi-Silva, A.; Libardi, C. A. Low-Load Resistance Training Performed to Muscle Failure or Near Muscle Failure Does Not Promote Additional Gains on Muscle Strength, Hypertrophy, and Functional Performance of Older Adults. **J Strength Cond Res**, 36, n. 5, p. 1209-1215, 2022.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Cadore, E. L.; Menger, E.; Teodoro, J. L.; Da Silva, L. X. N.; Boeno, F. P.; Umpierre, D.; Botton, C. E.; Ferrari, R.; Cunha, G. D. S.; Izquierdo, M.; Et Al. Functional and physiological adaptations following concurrent training using sets with and without concentric failure in elderly men: a randomized clinical trial. **Exp gerontol**, 110, p. 182-190, 2018.	Não	Sim	Ausência do desfecho de interesse.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Colomer-Poveda, D.; Romero-Arenas, S.; Fariñas, J.; Iglesias-Soler, E.; Hortobágyi, T.; Márquez, G. Training load but not fatigue affects cross-education of maximal voluntary force. **Scand J Med Sci Sports**, 31, n. 2, p. 313-324, 2021.	Não	Sim	Tempo de intervenção foi menor que seis semanas.
Da Silva, L. X. N.; Teodoro, J. L.; Menger, E.; Lopez, P.; Grazioli, R.; Farinha, J.; Moraes, K.; Bottaro, M.; Pinto, R. S.; Izquierdo, M.; Et Al. Repetitions to failure versus not to failure during concurrent training in healthy elderly men: a randomized clinical trial. **Exp Gerontol**, 108, p. 18-27, 2018.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Dorrell, H. F.; Smith, M. F.; Gee, T. I. Comparison of Velocity-Based and Traditional Percentage-Based Loading Methods on Maximal Strength and Power Adaptations. **J Strength Cond Res**, 34, n. 1, p. 46-53, 2020.	Não	Sim	Não reportou de forma clara se o protocolo baseado em velocidade ou baseado no percentual de carga alcançava a falha muscular momentânea.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Drinkwater, E. J.; Lawton, T. W.; Lindsell, R. P.; Pyne, D. B.; Hunt, P. H.; Mckenna, M. J. Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. **J Strength Cond Res**, 19, n. 2, p. 382-388, May 2005.	Não	Sim	Existe participantes menores de idade, ou seja, não há dados exclusivos de adultos.
Drinkwater, E. J.; Lawton, T. W.; Mckenna, M. J.; Lindsell, R. P.; Hunt, P. H.; Pyne, D. B. Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. **J Strength Cond Res**, 21, n. 3, p. 841-847, Aug 2007.	Não	Sim	Todos os grupos de treinamento foram projetados para atingir a falha muscular momentânea, sendo que a comparação principal foi repetições forçadas e volume de treinamento.
Fisher, J. P.; Blossom, D.; Steele, J. A comparison of volume-equated knee extensions to failure, or not to failure, upon rating of perceived exertion and strength adaptations. **Appl Physiol Nutr Metab**, 41, n. 2, p. 168-174, Feb 2016.	Não	Sim	Embora o estudo tenha comparado diretamente as intervenções de interesse, a alocação dos membros às condições baseou-se na dominância dos membros, e não na randomização.
Folland, J. P.; Irish, C. S.; Roberts, J. C.; Tarr, J. E.; Jones, D. A. Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. **Br J Sports Med**, 36, n. 5, p. 370-373; discussion 374, Oct 2002.	Não	Sim	Intervenção/comparador não permitiu uma comparação clara entre falha muscular momentânea e sua ausência.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Held, S.; Hecksteden, A.; Meyer, T.; Donath, L. Improved Strength and Recovery After Velocity-Based Training: a Randomized Controlled Trial. **Int J Sports Physiol Perform**, 16, n. 8, p. 1185–1193, 2021.	Não	Sim	Amostra composta exclusivamente por remadores competitivos altamente treinados, o que não atende aos critérios de participação do protocolo.
Hermann, T.; Mohan, A. E.; Enes, A.; Sapuppo, M.; Piñero, A.; Zamanzadeh, A.; Roberts, M.; Coleman, M.; Korakakis, P. A.; Wolf, M.; Et Al. Without Fail: muscular Adaptations in Single-Set Resistance Training Performed to Failure or with Repetitions-in-Reserve. **Med Sci Sports Exerc**, 57, n. 9, p. 2021-2031, 2025.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Izquierdo, M.; Ibañez, J.; González-Badillo, J. J.; Häkkinen, K.; Ratamess, N. A.; Kraemer, W. J.; French, D. N.; Eslava, J.; Altadill, A.; Asiain, X.; Gorostiaga, E. M. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. **J Appl Physiol (1985)**, 100, n. 5, p. 1647-1656, May 2006.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Izquierdo-Gabarren, M.; González De Txabarri Expósito, R.; García-Pallarés, J.; Sánchez-Medina, L.; De Villarreal, E. S.; Izquierdo, M. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. **Med Sci Sports Exerc**, 42, n. 6, p. 1191-1199, Jun 2010.	Não	Sim	Amostra composta exclusivamente por remadores competitivos treinados, o que não atende aos critérios de participantes do protocolo.
Karsten, B.; Fu, Y. L.; Larumbe-Zabala, E.; Seijo, M.; Naclerio, F. Impact of Two High-Volume Set Configuration Workouts on Resistance Training Outcomes in Recreationally Trained Men. **J Strength Cond Res**, 35, n. Suppl 1, p. S136-S143, 2021.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Kramer, J. B.; Stone, M. H.; O'bryant, H. S.; Conley, M. S.; Johnson, R. L.; Nieman, D. C.; Honeycutt, D. R.; Hoke, T. P. Effects of single vs. multiple sets of weight training: Impact of volume, intensity, and variation. **J Strength Cond Res**, 11, n. 3, p. 143-147, 1997.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Lacerda, L. T.; Marra-Lopes, R. O.; Diniz, R. C. R.; Lima, F. V.; Rodrigues, S. A.; Martins-Costa, H. C.; Bemben, M. G.; Chagas, M. H. Is Performing Repetitions to Failure Less Important Than Volume for Muscle Hypertrophy and Strength? **J Strength Cond Res**, 34, n. 5, p. 1237-1248, 2020.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Lasevicius, T.; Schoenfeld, B. J.; Silva-Batista, C.; Barros, T. S.; Aihara, A. Y.; Brendon, H.; Longo, A. R.; Tricoli, V.; Peres, B. A.; Teixeira, E. L. Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. **J Strength Cond Res**, 36, n. 2, p. 346-351, Feb 1 2022.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Martorelli, S.; Cadore, E. L.; Izquierdo, M.; Celes, R.; Martorelli, A.; Cleto, V. A.; Alvarenga, J. G.; Bottaro, M. Strength Training with Repetitions to Failure does not Provide Additional Strength and Muscle Hypertrophy Gains in Young Women. **Eur J Transl Myol**, 27, n. 2, p. 6339, Jun 24 2017.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Nóbrega, S. R.; Ugrinowitsch, C.; Pintanel, L.; Barcelos, C.; Libardi, C. A. Effect of Resistance Training to Muscle Failure vs. Volitional Interruption at High- and Low-Intensities on Muscle Mass and Strength. **J Strength Cond Res**, 32, n. 1, p. 162-169, Jan 2018.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Pareja-Blanco, F.; Rodríguez-Rosell, D.; Sánchez-Medina, L.; Sanchis-Moysi, J.; Dorado, C.; Mora-Custodio, R.; Yáñez-García, J. M.; Morales-Alamo, D.; Pérez-Suárez, I.; Calbet, J. a. L.; Et Al. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. **Scand J Med Sci Sports**, 27, n. 7, p. 724-735, 2017.	Não	Sim	Comparou diferentes limiares de perda de velocidade durante o treinamento de força, e não uma comparação clara entre treinamento até a falha muscular momentânea versus sem falha.
Rooney, K. J.; Herbert, R. D.; Balnave, R. J. Fatigue contributes to the strength training stimulus. **Med Sci Sports Exerc**, 26, n. 9, p. 1160-1164, 1994.	Não	Sim	Comparou protocolos com e sem descanso entre repetições, manipulando o grau de fadiga, mas não apresentou uma comparação clara entre treinamento até a falha muscular momentânea versus sem falha.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Sampson, J. A.; Groeller, H. Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? **Scand J Med Sci Sports**, 26, n. 4, p. 375-383, Apr 2016.	Não	Sim	Não reportou à randomização clara dos participantes aos grupos, utilizou alocação por *counterbalancing* com base na responsividade à familiarização.
Sanborn, K.; Boros, R.; Hruby, J.; Schilling, B.; O'bryant, H. S.; Johnson, R. L.; Hoke, T.; Stone, M. E.; Stone, M. H. Short-Term Performance Effects of Weight Training with Multiple Sets Not to Failure vs. a Single Set to Failure in Women. **J Strength Cond Res**, 14, n. 3, p. 328-331, 2000.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Santanielo, N.; Nóbrega, S. R.; Scarpelli, M. C.; Alvarez, I. F.; Otoboni, G. B.; Pintanel, L.; Libardi, C. A. Effect of resistance training to muscle failure vs non-failure on strength, hypertrophy and muscle architecture in trained individuals. **Biol Sport**, 37, n. 4, p. 333-341, 2020.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Teodoro, J. L.; Da Silva, L. X. N.; Fritsch, C. G.; Baroni, B. M.; Grazioli, R.; Boeno, F. P.; Lopez, P.; Gentil, P.; Bottaro, M.; Pinto, R. S.; Et Al. Concurrent training performed with and without repetitions to failure in older men: a randomized clinical trial. **Scand J Med Sci Sports**, 29, n. 8, p. 1141-1152, 2019.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.
Teodoro, J. L.; Izquierdo, M.; Da Silva, L. X. N.; Baroni, B. M.; Grazioli, R.; Lopez, P.; Fritsch, C. G.; Radaelli, R.; Saez De Asteasu, M. L.; Bottaro, M.; Et Al. Effects of long-term concurrent training to failure or not in muscle power output, muscle quality and cardiometabolic risk factors in older men: a secondary analysis of a randomized clinical trial. **Exp gerontol**, 139, p. 111023, 2020.	Não	Sim	Análise secundária da mesma coorte já reportada em TEODORO et al. (2019) e não apresenta desfechos principais elegíveis de hipertrofia muscular e força para extração independente.
Terada, K.; Kikuchi, N.; Burt, D.; Voisin, S.; Nakazato, K. Low-Load Resistance Training to Volitional Failure Induces Muscle Hypertrophy Similar to Volume-Matched, Velocity Fatigue. **J Strength Cond Res**, 36, n. 6, p. 1576-1581, Jun 1 2022.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.

Estudo	Incluído	Excluído	Motivo
Vieira, J. G.; Dias, M. R. C.; Lacio, M.; Schimitz, G.; Nascimento, G.; Panza, P.; Ribeiro, M.; Ribeiro, A.; Leitão, L.; Novaes, J. Resistance training with repetition to failure or not on muscle strength and perceptual responses. **J Exerc Physiol Online**, 16, n. 3, 2019.	Sim	Não	Atendeu aos critérios de elegibilidade.

ANEXO A – Artigo publicado na revista *Scientific Reports*

www.nature.com/scientificreports

scientific reports

Check for updates

OPEN

Acute fatigue and recovery responses to resistance training performed to momentary muscular failure: an exploratory multimodal physiological study

João Guilherme Vieira[1,2], Bruno Pascoalini da Silva[3], Yuri Campos[1,2], Marcelo Ricardo Dias[4], Pedro Lima Souza[5], Victor S. de Queiros[6], Okan Kamis[7], Michal Wilk[8], Krzysztof Fostiak[9], Jaworski Łukasz[10], Jefferson da Silva Novaes[11,12] & Jeferson Macedo Vianna[1,2,13]

This study compared the effects of a full-body resistance training session performed to momentary muscular failure (RTF) or non-failure (RTNF) on mechanical, perceptual, metabolic, neuromuscular, cardiovascular, and autonomic responses in trained men. In a randomized crossover design, six men (25.5 ± 3.3 years; 77.8 ± 6.2 kg; 174.5 ± 5.1 cm) completed two sessions of six exercises. RTF sets were performed to failure at 100% 10-repetition maximum (10RM), while RTNF sets consisted of 10 repetitions at 85% 10RM. Perceptual, metabolic, hormonal, cardiovascular, and autonomic responses, alongside markers of tissue damage and neuromuscular function, were monitored for 72 h post-RT. Data were analyzed via Generalized Estimating Equations. RTF induced greater perceived exertion ($p < 0.001$) with fewer repetitions per set and reduced volume in specific movements ($p < 0.05$), despite similar total session volume ($p > 0.05$). RTF elicited higher lactate ($p = 0.003$) and cortisol ($p < 0.001$). RTF exacerbated tissue damage markers (creatine kinase and lactate dehydrogenase, $p < 0.001$) and soreness ($p < 0.05$), leading to delayed countermovement jump recovery ($p < 0.001$) through 72 h. Conversely, RTNF demonstrated faster perceived recovery ($p < 0.001$) and similar autonomic preservation ($p > 0.05$). Acute cardiovascular strain was higher in RTF ($p < 0.05$), with no residual effects. Although the small sample size warrants cautious interpretation of inferential statistics, RTF delays recovery without acute functional benefits. Since proximity-to-failure drives physiological stress, RTNF proves to be more efficient and sustainable.

Keywords Resistance training, Physical exertion, Muscle fatigue, Autonomic nervous system, Recovery of function

ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Juiz de Fora

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise do efeito agudo e crônico da manipulação das diferentes variáveis, métodos de encurtamento-alongamento e estratégias utilizadas no treinamento resistido de melhoria de desempenho e recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações.

Pesquisador: Jeferson Macedo Vianna
Área Temática:
Versão: 1
CAAE: 91631025.5.0000.5147
Instituição Proponente: Faculdade de Educação Física
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.862.829

Apresentação do Projeto:
As informações transcritas nos campos ¿Apresentação do Projeto¿, ¿Objetivo da Pesquisa¿ e ¿Avaliação dos Riscos e Benefícios¿ foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa.

"Desenho:
Participarão da pesquisa experimental aproximadamente 60 voluntários com idade entre 18 e 75 anos com e sem experiência prévia em treinamento de força, ou seja treinamento resistido (TR). Os voluntários assinarão um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, responderão ao Physical Activity Readiness Questionnarie - PAR-Q (SHEPHARD, 1988) e a uma anamnese para verificar se estão aptos a participar da pesquisa. Com o objetivo de excluir qualquer efeito de outras atividades durante o período de realização da pesquisa, os voluntários serão orientados a manter somente as atividades da vida diária, sem a prática de outros exercícios físicos no período de intervenção. Farão parte da amostra os voluntários sedentários, ativos sem experiência em TR e aqueles que estiverem ingressados em programas de TR por no mínimo 6 meses, com frequência igual ou superior a três sessões semanais. Os voluntários realizarão

Endereço: JOSE LOURENCO KELMER S/N
Bairro: SAO PEDRO **CEP:** 36.036-900
UF: MG **Município:** JUIZ DE FORA
Telefone: (32)2102-3788 **E-mail:** cep.propp@ufjf.br



diferentes protocolos intervenção de TR, a saber: a) manipulação de diferentes variáveis do TR, b) manipulação de diferentes métodos do ciclo de encurtamento-alongamento combinado com o TR e c) diferentes estratégias de
oclusão vascular, massagens de liberação miofascial e plataforma vibratória (antes, durante, após o TR). Os exercícios propostos para a pesquisa são e seus respectivos equipamentos, encontram-se a disposição na sala de musculação e no Laboratório de treinamento de Força da FAEFISUFJF, são eles: supino reto, supino inclinado, supino declinado, pull-over, puxador alto pela frente, puxador alto pela nuca, tríceps puxador, tríceps testa, tríceps francês, tríceps patada, rosca direta, rosca scoot, , desenvolvimento pela frente, desenvolvimento pela nuca, elevação lateral, elevação
frontal, remada alta, agachamento livre, leg press 45°, agachamento unilateral, cadeira extensora, mesa flexora, cadeira flexora, flexor vertical, stiff, glúteo ponte, glúteo três apoios solo e panturrilha na máquina, sendo todos estes exercícios, comuns nos programas de TR das academias de musculação. Os voluntários realizarão as seguintes avaliações: antropométrica, composição corporal, testes de força dinâmica, testes de força
estática, teste de resistência de força, teste de potência, flexibilidade, coletas de amostras sanguíneas, teste de saturação de oxigênio, teste ergoespirométrico, testes biomecânicos, teste de variabilidade da frequência cardíaca, testes hemodinâmicos e avaliação das respostas perceptivas. Todos os testes serão realizados antes dos protocolos de TR (intervenção), durante e após. A equipe responsável pelo projeto é formada por doutores, doutorandos, mestres e mestrandos em educação física, que ficarão integralmente sob responsabilidade da pesquisa."

"Resumo:
A manipulação das diferentes variáveis de TR e do TF em combinação com diferentes métodos e estratégias para melhoria do desempenho e recuperação, tem extrema importância na melhoria da saúde e desenvolvimento da força, além de contribuir para um envelhecimento saudável. A
manipulação destas variáveis de TR, métodos e estratégias caracterizam o estímulo do exercício e determina a magnitude e o tipo de adaptações agudas e crônicas. Logo, o objetivo da futura pesquisa será analisar o efeito agudo e crônico da manipulação das diferentes variáveis do TR, métodos e estratégias de melhoria de desempenho e recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras,

biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações. Participarão da pesquisa 60 voluntários com idade entre 18 e 75 anos, sendo eles com e sem experiência prévia em TR, em diferentes populações. Os voluntários realizarão diversas
intervenções experimentais de diferentes variáveis de TR, métodos e estratégias que terão uma duração de 8 semanas. Antes, durante e após a intervenção experimental os voluntários serão avaliados, com intuito de obter respostas agudas e crônicas ao TR. Os voluntários realizarão as seguintes avaliações: Antropométrica, composição corporal, testes de força dinâmica, testes de força estática, teste de resistência de força, teste de potência, flexibilidade, coletas de amostras sanguíneas, teste de saturação de oxigênio, teste ergoespirométrico, testes biomecânicos, teste de variabilidade da frequência cardíaca, testes hemodinâmicos e cardiovasculares e avaliação das respostas perceptivas."

"Hipótese:
Haverá melhoria aguda e crônica ($p < 0,05$) das respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas dos grupos submetidos aos diferentes protocolos experimentais de manipulação das variáveis, métodos encurtamento-alongamento e outras estratégias utilizadas (oclusão vascular, massagens de liberação miofascial e plataforma vibratória no TR quando comparado aos grupos controles, em diferentes populações."

"Critério de Inclusão:
Farão parte da amostra voluntários com idade entre 18 e 75 anos, de ambos os sexos, sedentários, ativos sem experiência em TR e ativos que estiverem ingressados em programas de treinamento resistido por no mínimo 6 meses, com frequência igual ou superior a três sessões semanais.
Além disso, pessoas saudáveis, pessoas com doenças cardiometabólicas (diabetes, hipertensão arterial, obesidade), com doenças hepáticas, gestantes e pessoas com deficiência física.

Critério de Exclusão:
Serão excluídos da pesquisa aqueles que (a) apresentarem histórico de problemas musculares e/ou articulares; (b) utilizarem de qualquer tipo de esteroides anabolizantes (c) estejam em tratamento com medicamentos que possam interferir no sistema cardiovascular (d) não realizarem, no mínimo, 80% das sessões propostas para o treinamento; (e) e os que



responderem positivamente há alguma questão do Physical Activity Readiness Questionnarie - PAR-Q (SHEPHARD, 1988)."

Objetivo da Pesquisa:

"Objetivo Primário:

Analisar o efeito agudo e crônico da manipulação das diferentes variáveis, métodos encurtamento-alongamento e estratégias utilizadas no TR na melhoria de desempenho e recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações.

Objetivo Secundário:

1-Comparar o efeito agudo e crônico da manipulação das diferentes variáveis de treinamento resistido, na melhoria de desempenho e recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações.

2- Comparar o efeito agudo e crônico dos métodos encurtamento-alongamento combinado com o TR na melhoria de desempenho e recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações.

3- Comparar o efeito agudo e crônico de diferentes estratégias de oclusão vascular, massagens de liberação miofascial e plataforma vibratória (antes, durante, após o TR) na melhoria de desempenho e recuperação nas respostas bioquímicas, metabólicas, fisiológicas, neuromusculares, neuromotoras, biomecânicas, hemodinâmicas, autonômicas e perceptivas em diferentes populações."

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

"Riscos:

A respeito da execução dos exercícios que serão realizados durante as rotinas de TR e de alongamento sabe-se que são conhecidos amplamente nas salas de musculação e os riscos são mínimos associados à sua execução, já que suas intensidades serão controladas pelas respostas hemodinâmicas e perceptivas. Porém, durante o treinamento podem acontecer alterações fisiomorfológicas como cansaço, falta de ar, tontura, alteração da PA e FC, além de

dores musculares, caso não seja obedecida às padronizações de segurança de execução dos exercícios, estabelecidos pela orientação profissional.

A respeito da coleta sanguínea o risco pode ser o aparecimento de algum pequeno hematoma, o qual será instruído a colocação de gelo para desaparecimento do hematoma. A tricotomia (raspagem dos pelos com prestobarba) pode ocasionar algum pequeno corte na pele dos participantes, o qual será instruído a lavagem com água corrente e sabão neutro.

A respeito da tricotomia será realizada por um pesquisador responsável da equipe de pesquisa. Para diminuir a chance desses riscos acontecerem a sessão será interrompida imediatamente, se qualquer anormalidade for observada pelos pesquisadores. Lembrando que caso necessário iremos nos responsabilizar por qualquer dano aos pesquisados, sendo nossa responsabilidade financeira encaminhar/assegurar os participantes de atendimento em serviço médico adequado. Garantiremos o sigilo sobre a identificação e as informações referentes ao participante com técnicas de anonimato. Todos os procedimentos desse estudo atendem a resolução CNS 466/2012 de pesquisas com seres humanos.

Benefícios:

Dentre os benefícios podemos citar a experiência positiva e os efeitos benéficos que os voluntários terão durante a intervenção, além do acompanhamento profissional que todos os voluntários terão por uma equipe formada por profissionais vinculados ao Programa de Pós Graduação (PPG) da Faculdade de Educação Física e Desportos (FAEFID), dando todo suporte aos voluntários. Além disso, os resultados da pesquisa contribuirão para uma melhor prescrição para a prevenção e/ou reabilitação dos profissionais da área da saúde seja em ambientes indoor e outdoor. Assim, diferentes populações irão se beneficiar da presente pesquisa, visto sua abrangência perante a comunidade, promovendo a saúde e melhorando a compreensão dos indivíduos a respeito da aplicabilidade da manipulação das diferentes variáveis do treinamento resistido, métodos e estratégias de melhoria de desempenho e recuperação."

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto está bem estruturado, apresenta o tipo de estudo, número de participantes, critério de inclusão e exclusão, forma de recrutamento. As referencias bibliográficas são atuais, sustentam os objetivos do estudo e seguem uma normatização. O cronograma mostra as diversas etapas da pesquisa,além de mostra que a coleta de dados ocorrerá após aprovação do projeto pelo CEP. O orçamento lista a relação detalhada dos custos da pesquisa que serão

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

financiados com recursos próprios conforme consta no campo apoio financeiro. A pesquisa proposta está de acordo com as normas definidas na Resolução CNS 466 de 2012, itens IV.6, II.11 e XI.2; e e na Norma Operacional CNS 001 de 2013. Itens: 3.4.1-6, 8, 9, 10 e 11; 3.3 - f; combinadas com o Manual Operacional para CEPS Item: VI - c.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto - OK!

TCLE - ok!

Carta de anuência - ok!

Cronograma - ok!

Instrumento de pesquisa - ok!

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Diante do exposto, o projeto está aprovado, pois está de acordo com os princípios éticos norteadores da ética em pesquisa estabelecidos na Res. 466/12 CNS e Norma Operacional Nº 001/2013 CNS, segundo este relator, aguardando a análise do Colegiado. Data prevista para o término da pesquisa: 30/05/2029

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa CEP/UFJF, de acordo com as atribuições definidas na Res. CNS 466/12 e com a Norma Operacional Nº001/2013 CNS, manifesta-se pela APROVAÇÃO do protocolo de pesquisa proposto. Vale lembrar ao pesquisador responsável pelo projeto, o compromisso de envio ao CEP de relatórios parciais e/ou total de sua pesquisa informando o andamento da mesma, comunicando também eventos adversos e eventuais modificações no protocolo.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2533179.pdf	26/08/2025 21:31:22		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Comite_de_etica_labfor_PBRASIL_Atualizado.docx	26/08/2025 21:30:49	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico /	Biorrepositorio.pdf	26/08/2025 21:29:45	Jeferson Macedo Vianna	Aceito

Endereço: JOSE LOURENCO KELMER S/N
Bairro: SAO PEDRO **CEP:** 36.036-900
UF: MG **Município:** JUIZ DE FORA
Telefone: (32)2102-3788 **E-mail:** cep.propp@ufjf.br



Biorepositório / Biobanco	Biorrepositorio.pdf	26/08/2025 21:29:45	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Infraestrutura.pdf	26/08/2025 21:29:28	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Biorrepositorio.doc	26/08/2025 21:27:36	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Apendice_Escalas.docx	26/08/2025 21:26:06	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Joao_Vitor_de_Souza_Moreira.pdf	26/08/2025 21:20:54	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Guilherme_Nascimento.pdf	26/08/2025 21:20:43	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Francisco_Zacaron_Werneck.pdf	26/08/2025 21:19:08	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Patricia_Silva_Panza.pdf	26/08/2025 21:17:47	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Joao_Guilherme_Vieira.pdf	26/08/2025 21:15:14	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Yuri_de_Almeida_Costa_Campos.pdf	26/08/2025 21:13:56	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Marcelo_Ricardo_Cabral_Dias.pdf	26/08/2025 21:12:26	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Aline_Aparecida_de_Souza_Ribeiro.pdf	26/08/2025 21:11:23	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Andre_Calil_e_Silva.pdf	26/08/2025 21:10:11	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Jefferson_da_Silva_Novaes.pdf	26/08/2025 21:08:55	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Outros	Curriculos_Lattes_Jeferson_Macedo_Vianna.pdf	26/08/2025 21:07:28	Jeferson Macedo Vianna	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	29/04/2025 13:27:26	Jeferson Macedo Vianna	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não



JUIZ DE FORA, 26 de Setembro de 2025

Assinado por:
Iluska Maria da Silva Coutinho
(Coordenador(a))

Endereço: JOSE LOURENCO KELMER S/N
Bairro: SAO PEDRO **CEP:** 36.036-900
UF: MG **Município:** JUIZ DE FORA
Telefone: (32)2102-3788 **E-mail:** cep.propp@ufjf.br

ANEXO C – Registro Internacional de Revisões Sistemáticas - PROSPERO

NIHR | National Institute for Health and Care Research

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews

To fail or not to fail? A systematic review and meta-analysis of resistance training to momentary muscular failure versus non-failure for muscle hypertrophy and strength

João Guilherme Vieira, Victor S. de Queiros, Okan Kamis, Michal Wilk, Yuri Campos, Marcelo Ricardo Dias, José Elias Filho, Jefferson da Silva Novaes, Jeferson Macedo Vianna

Citation
João Guilherme Vieira, Victor S. de Queiros, Okan Kamis, Michal Wilk, Yuri Campos, Marcelo Ricardo Dias, José Elias Filho, Jefferson da Silva Novaes, Jeferson Macedo Vianna. To fail or not to fail? A systematic review and meta-analysis of resistance training to momentary muscular failure versus non-failure for muscle hypertrophy and strength. PROSPERO 2026 CRD420261430235. Available from https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/view/CRD420261430235.

REVIEW TITLE AND BASIC DETAILS

Review title
To fail or not to fail? A systematic review and meta-analysis of resistance training to momentary muscular failure versus non-failure for muscle hypertrophy and strength

Review type
None

Condition or domain being studied
Resistance training ; Hypertrophy; Muscle Strength

The domain to be studied will encompass the morphological and neuromuscular adaptations to resistance training. Specifically, this review will investigate changes in muscle hypertrophy (assessed via magnetic resonance imaging, ultrasound, muscle biopsy, or other valid methods) and muscle strength (assessed via isometric, isokinetic, or dynamic testing) following resistance training protocols performed to momentary muscular failure versus non-failure.

Rationale for the review

Rationale for the review

The debate regarding the necessity of performing resistance training to momentary muscular failure to optimize muscular adaptations remains highly controversial in sports science. Although muscular failure is theorized to maximize motor unit recruitment and mechanical tension, this strategy also induces substantial acute neuromuscular and metabolic fatigue, which may delay recovery and potentially compromise total training volume. Although previous systematic reviews with meta-analyses have explored this topic, the rapid publication of recent primary studies using more precise non-failure training controls, such as specific repetitions-in-reserve targets, justifies an updated and comprehensive synthesis. Therefore, this systematic review and meta-analysis will evaluate the most recent evidence to determine whether training to muscular failure is superior, equivalent, or inferior to non-failure training for promoting muscle hypertrophy and strength. This review will contribute to the existing body of knowledge by providing updated, evidence-based guidance to optimize resistance training prescription for different physiological outcomes.

Review objectives

The primary aim of this systematic review and meta-analysis will be to compare the effects of resistance training performed to momentary muscular failure versus resistance training not performed to failure on muscle hypertrophy and strength.

Specifically, this review will seek to answer the following question: does resistance training performed to momentary muscular failure induce superior, equivalent, or inferior chronic adaptations in muscle hypertrophy, assessed by magnetic resonance imaging, ultrasound, muscle biopsy, or other validated methods for structural or morphological muscle assessment, and in muscle strength, assessed by dynamic, isometric, or isokinetic tests, when compared with resistance training not performed to muscular failure?

Keywords

Resistance Training; Hypertrophy; Muscle Strength; Muscle Fatigue

Country

Brazil; Türkiye; Poland

ELIGIBILITY CRITERIA

Population

Included

The review will include healthy adults (aged ≥ 18 years) of both sexes, regardless of their previous resistance training experience (i.e., both trained and untrained individuals will be included).

Excluded

Studies will be excluded if they recruit participants with orthopedic limitations or recent surgeries that prevent safe execution of resistance exercises to momentary muscular failure. Additionally, individuals undergoing active physical rehabilitation, participants taking medications known to

significantly alter muscle metabolism or fluid retention (e.g., chronic corticosteroid therapy), and individuals explicitly using performance-enhancing drugs (e.g., anabolic-androgenic steroids) will be excluded. We will also exclude samples composed exclusively of competitive endurance athletes, due to the well-established concurrent training interference effect on muscle hypertrophy and strength.

Intervention(s) or exposure(s)

Included
Resistance training ; Strength training

The intervention of interest will be dynamic resistance training programs where sets are deliberately performed to momentary muscular failure. Momentary muscular failure will be defined as the point where, despite attempting to do so, an individual is unable to complete the concentric portion of their current repetition with a full range-of-motion without deviation from the prescribed form of the exercise. The resistance training protocols must be structured for chronic adaptations, possessing a minimum duration of ≥6 weeks. Resistance training to momentary muscular failure must be the primary exercise intervention.

Excluded
Interventions will be excluded if they utilize blood flow restriction, electrical muscle stimulation, or whole-body vibration. Furthermore, studies employing advanced resistance training techniques (e.g., drop sets, rest-pause, pre-exhaustion, or eccentric overload) that confound the isolation of the momentary muscular failure variable will also be excluded.

Comparator(s) or control(s)

Included
PICO tags selected: Resistance training ; Strength training

The comparator will be dynamic resistance training programs where sets are deliberately terminated before reaching momentary muscular failure. This non-failure condition may be prescribed and controlled using methods such as estimated repetitions in reserve, submaximal repetition targets based on a percentage of one-repetition maximum, or velocity loss thresholds. To ensure a valid comparison, the non-failure protocols must be compared to the resistance training to momentary muscular failure intervention within the same study design (either between-groups or within-subject/contralateral designs) and involve the same resistance exercises.

Excluded
Comparators consisting solely of non-exercising (sedentary) control groups or alternative exercise modalities (e.g., aerobic or flexibility training alone) will be excluded. Furthermore, active resistance training comparators in which the proximity to failure is neither objectively controlled nor adequately reported (preventing the confirmation of a true non-failure condition) will be excluded.

Study design
Only randomized study types will be included.

Included
The review will include randomized controlled trials, encompassing both parallel-group and within-subject (contralateral/unilateral) experimental designs.

Excluded
Non-randomized trials, observational studies (e.g., cross-sectional, cohort, and case-control studies), and acute experimental studies will be excluded. Single-arm studies lacking a non-failure comparator group, case reports, opinion pieces, narrative or systematic reviews, and conference abstracts will also be excluded.

Context
There will be no restrictions regarding the geographical location, cultural context, or specific setting (e.g., university laboratories, commercial gyms, or sports training centers) in which the resistance training interventions are conducted. Studies will be included regardless of the country of origin or the specific facility, provided they meet all other eligibility criteria and involve appropriately supervised resistance training programs.

TIMELINE OF THE REVIEW

Date of first submission to PROSPERO
01 July 2026

Review timeline
Review start date: 1 July 2026. Review end date: 1 February 2027.

Date of registration in PROSPERO
01 July 2026

AVAILABILITY OF FULL PROTOCOL

Availability of full protocol
A full protocol has been written but is not available because:

The comprehensive details of our methodology, including the search strategy, eligibility criteria, and data synthesis plans, are fully captured within this PROSPERO registration record. Therefore, this registry entry serves as the official, self-contained, and publicly accessible protocol for our systematic review and meta-analysis.

SEARCHING AND SCREENING

Search for unpublished studies
Only published studies will be sought.

Main sources that will be searched
The main sources to be searched are *CENTRAL - Cochrane Central Register of Controlled*

Trials, *Embase*, *PubMed* and *Scopus*.

Other sources that will be searched
Web of Science - Core Collection (Clarivate Analytics).

Search language restrictions
The review will only include studies published in English.

Search date restrictions
There are no search date restrictions.

Other methods of identifying studies
Other studies will be identified by: *reference list checking (backward citation searching)*.

Link to search strategy
A full search strategy is not available.

Selection process
Studies will be screened independently by at least two people (or person/machine combination) with a process to resolve differences.

Other relevant information about searching and screening
All references identified from the database searches will be exported to reference management software (e.g., EndNote, Zotero, or Mendeley) for automatic and manual deduplication. Subsequently, the unique records will be imported into a dedicated systematic review web application (e.g., Rayyan) to facilitate the blinded, independent screening of titles, abstracts, and full texts by the reviewers. The selection process will be thoroughly documented and visually represented using a PRISMA flow diagram.

DATA COLLECTION PROCESS

Data extraction from published articles and reports
Data will be extracted independently by at least two people (or person/machine combination) with a process to resolve differences.

Authors will be asked to provide any required data not available in published reports.

Study risk of bias or quality assessment
Risk of bias will be assessed using: *Cochrane RoB-2*

Data will be assessed independently by at least two people (or person/machine combination) with a process to resolve differences.

Additional information will be sought from study investigators if required information is unclear or unavailable in the study publications/reports.

Reporting bias assessment
Reporting bias will be assessed visually using funnel plots if at least ten studies are included per

meta-analysis. The Egger test will objectively quantify asymmetry. If significant publication bias is detected, the trim and fill method will then estimate the impact of missing studies on the pooled effect size calculation.

Certainty assessment
The certainty of evidence for the main outcomes (muscle hypertrophy and strength) will be assessed using the Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation (GRADE) approach. The certainty of evidence will be downgraded based on five domains: risk of bias, inconsistency, indirectness, imprecision, and publication bias.

OUTCOMES TO BE ANALYSED

Main outcomes
The main outcomes of interest will be chronic adaptations in muscle hypertrophy and strength.

1. Muscle Hypertrophy: Changes in muscle mass or architectural dimensions from pre- to post-intervention will be assessed using magnetic resonance imaging, ultrasound, muscle biopsy, or other valid methods. These adaptations will be recorded as changes in muscle cross-sectional area, muscle thickness, or total muscle volume.

2. Muscle Strength: Improvements in maximal force production capacity from pre- to post-intervention will be assessed using isometric, isokinetic, or dynamic testing. These assessments will be recorded as changes in single- or multiple-repetition maximum loads (e.g., 1RM, 3RM, 5RM) for dynamic testing, peak torque for isokinetic dynamometry, or maximum voluntary isometric contraction force.

Time points for outcome assessment: All data will be recorded exclusively at pre-intervention (baseline) and post-intervention time points following chronic resistance training protocols lasting a minimum of six weeks.

Effect measure: To quantify the magnitude of changes between resistance training to momentary muscular failure versus non-failure conditions, data will be synthesized using a random-effects model. The standardized mean difference (specifically Hedges' g) along with corresponding 95% confidence intervals will be recorded for each primary outcome across the included studies.

Additional outcomes
Not applicable. No additional outcomes will be investigated.

PLANNED DATA SYNTHESIS

Strategy for data synthesis
A formal quantitative synthesis (meta-analysis) will be conducted if at least two included studies report sufficient and compatible data for a given outcome. The standardized mean difference

with small-sample correction (Hedges' g), along with 95% confidence intervals, will be calculated for the main outcomes, namely muscle hypertrophy and muscle strength. A random-effects model will be used for all meta-analyses to account for expected between-study variability. Statistical heterogeneity among the included studies will be assessed using Cochran's Q test and quantified using the I^2 statistic. The I^2 values will be interpreted as approximately low, moderate, and high heterogeneity when reaching 25%, 50%, and 75%, respectively. Exploratory analyses will be conducted to assess the influence of participant-, intervention-, and outcome-related variables on the pooled effect estimates through sensitivity analyses, subgroup analyses, or meta-regression, depending on the number of studies included and the availability of reported data. Potential moderators may include training status, sex, age, intervention duration, training volume equating, load intensity, exercise type, proximity to failure in the non-failure group, and the method used to assess muscle hypertrophy or strength. A significance level of 5% will be adopted for all statistical analyses. If considerable methodological heterogeneity is present, or if insufficient data are available to pool the results, a rigorous narrative synthesis will be performed instead.

CURRENT REVIEW STAGE

Stage of the review at this submission

Review stage	Started	Completed
Pilot work	✓	✓
Formal searching/study identification	✓	
Screening search results against inclusion criteria		
Data extraction or receipt of IPD		
Risk of bias/quality assessment		
Data synthesis		

Review status
The review is currently planned or ongoing.

Publication of review results
Results of the review will be published in English and Portuguese.

REVIEW AFFILIATION, FUNDING AND PEER REVIEW

Review team members
Professor João Guilherme Vieira (review guarantor and contact) Universidade Federal de Juiz de Fora. Brazil.

No conflict of interest declared.

Dr Victor S. de Queiros. Department of Physical Education, State University of Paraíba,

Campina Grande, Paraíba, Brazil. Brazil.

No conflict of interest declared.

Dr Okan Kamis. Department of Sports and Health, Aksaray University, Aksaray, Türkiye. Türkiye.

No conflict of interest declared.

Dr Michal Wilk. Institute of Sport Sciences, Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland. Poland.

No conflict of interest declared.

Dr Yuri Campos. Postgraduate Program in Physical Education, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil. Brazil.

No conflict of interest declared.

Dr Marcelo Ricardo Dias. Ensin-E College, Juiz de Fora, Brazil. Brazil.

No conflict of interest declared.

Dr José Elias Filho. Postgraduate Program in Physical Education, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil. Brazil.

No conflict of interest declared.

Dr Jefferson da Silva Novaes. Postgraduate Program in Physical Education, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. Brazil.

No conflict of interest declared.

Jeferson Macedo Vianna. Postgraduate Program in Physical Education, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil. Brazil.

No conflict of interest declared.

Named contact
Professor João Guilherme Vieira (joaoguilhermevds@gmail.com). Universidade Federal de Juiz de Fora. Brazil.

Review affiliation
Postgraduate Program in Physical Education, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil

Funding source
Review has no specific/external funding but is supported by guarantor/review team (non-commercial) institutions.

Additional information about funding
This research is supported by the Federal University of Juiz de Fora (UFJF). The guarantor receives a doctoral fellowship from the Minas Gerais Research Funding Foundation (FAPEMIG) - Brazil.

Peer review
There has been no peer review of this planned review.

ADDITIONAL INFORMATION

Additional information
This systematic review and meta-analysis is being conducted as part of a doctoral thesis project at the Federal University of Juiz de Fora. The methodology and protocol development strictly adhere to the guidelines outlined in the Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols (PRISMA-P) statement. The final manuscript will be reported in accordance with the updated PRISMA guidelines to ensure maximum methodological transparency and analytical rigor.

Review conflict of interest
Declared individual interests are recorded under team member details.. No additional interests are recorded for this review.

Medical Subject Headings
Resistance Training; Hypertrophy; Muscle Strength; Muscle Fatigue

SIMILAR REVIEWS

Check for similar records already in PROSPERO
PROSPERO identified a number of existing PROSPERO records that were similar to this one (last check made on 23 June 2026). These are shown below along with the reasons given by that the review team for the reviews being different and/or proceeding.

- Impact of resistance training performed or not performed to concentric muscle failure on fatigue: a systematic review. [published 17 July 2020] [CRD42020192336]. The review was judged **not to be similar**
- The Chronic Effects of Resistance Training to Muscle Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis [published 11 December 2022] [CRD42022382889]. The review was acknowledged as **similar** but the authors opted to continue. The authors also noted: *"Although the review by Hu & Wang (CRD42022382889) shares a similar overall objective, there are three critical methodological and temporal differences that necessitate our current registration. First, their literature search was concluded in December 2022. Over the subsequent years, a substantial number of primary randomized controlled trials utilizing more precise proximity-to-failure controls, specifically estimated Repetitions in Reserve (RIR), have been published, rendering their proposed synthesis outdated. Second, their eligibility criteria include non-randomised studies, whereas our review strictly restricts inclusion to Randomized Controlled Trials to ensure the highest level of evidence and minimize risk of bias. Finally, the authors of the aforementioned protocol explicitly declared: "The intention is not to publish the review*

once completed." Therefore, our review is absolutely essential to provide the academic and sports science communities with an updated, methodologically rigorous, and formally published meta-analysis on this highly debated topic."

- Effects of Advanced Resistance Training Systems on Muscle Hypertrophy and Strength in Recreationally Trained Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis [published 9 January 2026] [CRD420261282743]. The review was judged **not to be similar**

PROSPERO version history

- Version 1.0, published 01 Jul 2026

Disclaimer

The content of this record displays the information provided by the review team. PROSPERO does not peer review registration records or endorse their content.

PROSPERO accepts and posts the information provided in good faith; responsibility for record content rests with the review team. The guarantor for this record has affirmed that the information provided is truthful and that they understand that deliberate provision of inaccurate information may be construed as scientific misconduct.

PROSPERO does not accept any liability for the content provided in this record or for its use. Readers use the information provided in this record at their own risk.

Any enquiries about the record should be referred to the named review contact