

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EDUCAÇÃO FÍSICA UFJF/UFV**

**João Guilherme Vieira da Silva**

**Efeitos do treinamento resistido para falha muscular sobre a fadiga aguda:  
uma revisão sistemática e meta-análise**

JUIZ DE FORA

2021

**João Guilherme Vieira da Silva**

**Efeitos do treinamento resistido para falha muscular sobre a fadiga aguda:  
uma revisão sistemática e meta-análise**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física, área de concentração Exercício e Esporte, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna

JUIZ DE FORA

2021

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

da Silva, João Guilherme Vieira.

Efeitos do treinamento resistido para falha muscular sobre a fadiga aguda : uma revisão sistemática e meta-análise / João Guilherme Vieira da Silva. -- 2021.

76 p. : il.

Orientador: Jeferson Macedo Vianna

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Universidade Federal de Viçosa, Faculdade de Educação Física. Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2021.

1. Esforço físico. 2. Estresse metabólico. 3. Fadiga. 4. Recuperação neuromuscular. 5. Treinamento de força. I. Vianna, Jeferson Macedo, orient. II. Título.

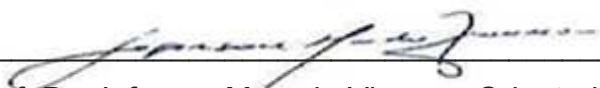
**João Guilherme Vieira da Silva**


**Efeitos do treinamento resistido para falha muscular sobre a fadiga aguda:  
uma revisão sistemática e meta-análise**


Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física, área de concentração Exercício e Esporte, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de mestre.

Aprovado em 21 de junho de 2021

**BANCA EXAMINADORA**

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

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jefferson da Silva Novaes  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo Ricardo Cabral Dias  
Faculdade Metodista Granbery

Dedico este trabalho aos meus pais, avós  
e a minha esposa amada, pois sem eles  
nada seria possível...

## **AGRADECIMENTOS**

Quero, primeiramente, agradecer a todos que me circundam, pois o homem é a média das pessoas com as quais ele convive e, se hoje me tornei o homem que sou, é graças a todos vocês.

Agradeço aos meus pais e a minha irmã querida por todo suporte dado, assim como ao meu amor, que me atura independentemente do meu humor e da adversidade vivida.

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação Física e Desportos da Universidade Federal de Juiz de fora, que sempre se empenhou em prol da formação de todos os discentes, em especial ao professor Doutor Jeferson Macedo Vianna, meu orientador, incentivador e amigo, sendo o principal responsável pela condução do meu trabalho. Agradeço também aos professores Marcelo Ricardo Dias, Jefferson Novaes, Yuri Campos e Marcio Lacio, que foram bons amigos e tem grande parcela de contribuição em minha formação, além de todos os amigos do Laboratório da Força Muscular.

Por último, agradeço a todos os amigos feitos nesse período maravilhoso de formação e, de forma mais que especial, aos meus amigos que desde a infância estão ao meu lado com pensamentos e atitudes positivas. Fica registrado meu agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos dois anos de bolsa de estudos.

Obrigado a todos!

“O futuro dependerá daquilo que fazemos no presente.” (MAHATMA GANDHI)

## RESUMO

A concepção adequada das variáveis do treinamento resistido é um fator chave para atingir o potencial máximo das adaptações neuromusculares. Entre essas variáveis, a opção de realizar treinamento resistido para falha (TRF) pode levar a diferentes magnitudes da fadiga aguda comparado ao treinamento resistido não realizado para falha (TRNF). A resposta da fadiga pode interferir nas adaptações agudas, por sua vez regulando as adaptações a crônicas. Considerando que o grau de fadiga afeta as adaptações, é importante determinar como a fadiga é afetada pelo TRF. O objetivo desta revisão sistemática e meta-análise foi comparar o TRF com o TRNF sobre a fadiga aguda em homens adultos. A busca nas bases de dados foi conduzida em janeiro de 2021, em sete bases de dados. Foram selecionados somente estudos com delineamento cruzado que investigaram as propriedades biomecânicas (altura do salto vertical, velocidade de movimento, potência de saída e força isométrica), resposta metabólica (lactato e amônia), dano muscular (creatina quinase) e a percepção subjetiva de esforço (PSE). Os dados (média  $\pm$  desvio padrão) foram extraídos dos estudos incluídos e convertidos em diferença média padronizada (SMD), ou mantidos em diferença média bruta (RMD) quando os estudos reportavam os resultados na mesma escala. Vinte estudos foram incluídos na revisão sistemática e 13 na meta-análise. As principais meta-análises indicaram uma maior diminuição das propriedades biomecânicas para o TRF em comparação com TRNF (SMD = -0,96 [95% IC -1,43; -0,49];  $p < 0,001$ ). Além disso, houve um maior aumento na resposta metabólica (RMD = 5,54 mmol·L<sup>-1</sup> [95% IC 4,16; 6,92];  $p < 0,001$ ), dano muscular (SMD = 0,75 [95% IC 0,35; 1,14];  $p < 0,001$ ) e percepção subjetiva do esforço (PSE; SMD = 2,47 [95% IC 1,25; 3,68];  $p < 0,001$ ) para o TRF em comparação com TRNF. Análises exploratórias de subgrupos mostraram que o *status* de treinamento ( $p = 0,92$ ), tempo da análise ( $p = 0,89$ ) e carga ( $p = 0,08$ ) não afetaram as propriedades biomecânicas. No entanto, ocorreu maior perda no teste de velocidade de movimento dos membros superiores em comparação com os membros inferiores ( $p < 0,001$ ). A concentração de amônia sanguínea foi maior no TRF do que no TRNF (RMD = 42,17  $\mu$ mol·L<sup>-1</sup> [95% IC 34,67; 49,67];  $p < 0,001$ ) e somente 48h após a sessão de treinamento resistido os níveis de creatina quinase sanguínea foram maiores após TRF do que no TRNF (SMD = 0,86 [95% IC 0,40; 1,31];  $p < 0,001$ ). Portanto, conclui-se que o TRF leva a uma maior fadiga aguda em comparação com o TRNF. Esta fadiga após o TRF pode também ter um impacto



importante nos processos adaptativos a longo prazo. Além disso, uma maior fadiga pode prolongar o tempo necessário para a recuperação do que deve ser considerado quando o TRF é utilizado. O protocolo original da revisão sistemática foi prospectivamente registrado (CRD42020192336) no *International Prospective Register of Systematic Review* (PROSPERO).

Palavras-chave: Esforço físico. Estresse metabólico. Fadiga. Recuperação neuromuscular. Treinamento de força.

## ABSTRACT

Proper design of resistance training variables is a key factor to reach the maximum potential of neuromuscular adaptations. Among those variables, the use of resistance training performed to failure (RTF) may lead to different magnitude of acute fatigue compared to resistance training not performed to failure (RTNF). The fatigue response could interfere with acute adaptive changes, in turn regulating long-term adaptations. Considering that level of fatigue affects long-term adaptations, it is important to determine how fatigue is affected by RTF vs. RTNF. The aim of this systematic review and meta-analysis was to compare RTF versus RTNF on acute fatigue in adults men. The search was conducted in January 2021 in seven databases. Only studies with cross-over design that investigated the acute biomechanical properties (vertical jump height, velocity of movement, power output, and isometric strength), metabolic response (lactate and ammonia concentration), muscle damage (creatine kinase activity), and RPE were selected. The data (mean  $\pm$  standard deviation) were extracted from included studies and converted into standardized mean difference (SMD) or maintained in the raw mean difference (RMD) when the studies reported the results in the same unit of measure. Fixed or random effects meta analyses were performed. Twenty studies were included in the systematic review. The main meta-analyses indicated greater decrease of biomechanical properties for RTF compared to RTNF (SMD = -0.96 [95% CI -1.43; -0.49];  $p < 0.001$ ). Furthermore, there was a larger increase in metabolic response (RMD = 5.54 mmol·L<sup>-1</sup> [95% CI 4.16; 6.92];  $p < 0.001$ ), muscle damage (SMD = 0.75 [95% CI 0.35; 1.14];  $p < 0.001$ ) and rating of perceived exertion (RPE; SMD = 2.47 [95% CI 1.25; 3.68];  $p < 0.001$ ) for RTF compared to RTNF. Further exploratory subgroup analyses showed that training status ( $p = 0.92$ ), time point ( $p = 0.89$ ), and load ( $p = 0.08$ ) did not affect biomechanical properties. However, greater loss in the movement velocity test occurred on upper-limbs compared to lower-limbs ( $p < 0.001$ ). Blood ammonia concentration was greater in RTF than RTNF (RMD = 42.17  $\mu$ mol·L<sup>-1</sup> [95% CI 34.67; 49.67];  $p < 0.001$ ) and only 48h post-exercise blood creatine kinase activity was higher after RTF than RTNF (SMD = 0.86 [95% CI 0.40; 1.31];  $p < 0.001$ ). Therefore, it can be concluded that RTF leads to greater acute fatigue compared to RTNF. The higher acute fatigue after RTF can also have an important impact on chronic adaptive processes following resistance training. However, the greater acute fatigue following RTF can extend the time needed for recovery what

should be considered when RTF is used. The original protocol of systematic review was prospectively registered (CRD42020192336) in the International Prospective Register of Systematic Review (PROSPERO).

Keywords: Fatigue. Metabolic stress. Physical exertion. Neuromuscular recovery. Strength training.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos estudos.....	31
Figura 2 - Risco de viés dos estudos incluídos.....	45
Figura 3 - Gráfico floresta.....	47
Figura 4 - Alterações nas variáveis dependentes.....	50
Figura 5 - Viés de publicação.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características dos participantes.....	33
Tabela 2	- Características dos estudos incluídos na revisão sistemática.....	35
Tabela 3	- Resultados das análises de subgrupo.....	49
Tabela 4	- Resumo dos resultados da meta-análise e qualidade da evidência....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	Micromoles por litro
ACSM	<i>American College of Sports Medicine</i>
CINAHL	<i>Cumulative Index to Nursing and Allied Health</i>
CIVM	Contração isométrica voluntária máxima
CK	Creatina quinase
CMA	<i>Comprehensive Meta-Analysis</i>
CMJ	Salto contramovimento
df	Graus de liberdade
DP	Desvio padrão
GRADE	<i>Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation</i>
h	Hora (s)
$H_0$	Hipótese nula
$H_1$	Hipótese alternativa
$I^2$	Heterogeneidade entre os estudos
IC	Intervalo de confiança
$k$	Número de estudos
min	Minutos
$\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	Milimoles por litro
$n$	Dimensão amostral
$p$	Probabilidade de se observar uma diferença tão grande ou maior do que a que foi observada sob a hipótese nula
$pH$	Potencial hidrogeniônico
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i>
PROSPERO	<i>International Prospective Register of Systematic Reviews</i>
PSE	Percepção subjetiva de esforço
RM	Repetição máxima
RMD	Diferença média bruta
RTF	<i>Resistance training performed to failure</i>
RTNF	<i>Resistance training not performed to failure</i>

s	Segundos
SMD	Diferença média padronizada
TRF	Treinamento resistido para falha
TRNF	Treinamento não realizado para falha
Velocidade BP	Velocidade de movimento contra $V_{1-load}$ para o supino reto
Velocidade SQ	Velocidade de movimento contra $V_{1-load}$ para o agachamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>21</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>VARIÁVEIS DO ESTUDO.....</b>	<b>23</b>
4.1	VARIÁVEIS INDEPENDENTES.....	23
4.2	VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	23
<b>5</b>	<b>JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
6.1	PROTOCOLO E REGISTRO.....	25
6.2	CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE.....	25
6.3	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO.....	25
6.4	FONTES DE INFORMAÇÃO.....	26
6.5	ESTRATÉGIA DE BUSCA.....	26
6.6	SELEÇÃO DOS ESTUDOS.....	26
6.7	PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE DADOS.....	27
6.8	RISCO DE VIÉS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS.....	27
6.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
6.10	QUALIDADE DA EVIDÊNCIA.....	29
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
7.1	SELEÇÃO DOS ESTUDOS.....	30
7.2	CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS.....	31
7.3	RISCO DE VIÉS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS.....	44
7.4	PRINCIPAIS RESULTADOS.....	46
7.5	VIÉS DE PUBLICAÇÃO E QUALIDADE DA EVIDÊNCIA.....	50
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
8.1	PROPRIEDADES BIOMECÂNICAS.....	54
8.2	RESPOSTA METABÓLICA.....	56
8.3	DANO MUSCULAR.....	58
8.4	PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO.....	59
8.5	PESQUISAS FUTURAS.....	60



8.6	LIMITAÇÕES.....	60
9	CONCLUSÃO.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE A - Resumo gráfico.....	70
	APÊNDICE B - Sintaxe da estratégia de busca.....	71
	APÊNDICE C - Ficha padronizada para a extração dos dados.....	74
	ANEXO A - Registro do protocolo no PROSPERO.....	75
	ANEXO B - Submissão do estudo no periódico Sports Medicine.....	76

## 1 INTRODUÇÃO

O treinamento resistido tem sido amplamente recomendado por promover efeitos benéficos para a saúde em geral (ASHTON et al., 2020; WESTCOTT, 2012). Além dos benefícios para a saúde, o treinamento resistido é tradicionalmente usado por atletas e não-atletas para aumentar força, potência, velocidade, resistência, equilíbrio e coordenação, fatores que melhoram o desempenho nos esportes e nas atividades da vida diária (SUCHOMEL et al., 2018). Após o surgimento dos posicionamentos do *American College of Sports Medicine* (ACSM, 2009), observou-se que o treinamento resistido cresceu em número de adeptos e ganhou espaço em diferentes vertentes, com um substancial aumento no número de produções científicas (KRAEMER et al., 2017).

O grande aumento no número de pesquisas vem norteadando a importância da supervisão e da manipulação adequada das diferentes variáveis que compõem o TR, como, por exemplo, ação muscular, carga externa utilizada, número de repetições realizadas, séries, intervalo de descanso, velocidade de movimento, tipo e ordem dos exercícios, frequência de treinamento e nível de esforço (ACSM, 2009). Estas variáveis influenciam na magnitude das respostas agudas e, conseqüentemente, nas adaptações a longo prazo (ACSM, 2009; BIRD et al., 2005; SCHOENFELD, 2010; SPIERING et al., 2008).

Estudos recentes têm demonstrado que o nível de esforço tem sido o grande precursor das adaptações neuromusculares (DINYER et al., 2019; MORTON et al., 2016; OGASAWARA et al., 2013). Counts et al. (2016) propuseram que a exposição das fibras musculares à mecanotransdução explicam os ganhos de força e hipertrofia muscular até mesmo sem carga externa, desde que as repetições sejam realizadas para a falha muscular. O exercício resistido realizado para falha muscular pode ser definido como o momento em que o indivíduo tenta realizar a repetição, mas não é capaz de completar a fase concêntrica do movimento mantendo a técnica adequada de execução (STEELE et al., 2017). Esse ponto coincide com o período em que há uma redução temporária da velocidade angular do movimento, comumente referido como *sticking point* (VAN DEN TILLAAR; ETTEMA, 2009).

É razoável que o nível de esforço no treinamento resistido realizado para falha (TRF), analisado pela percepção subjetiva de esforço (PSE) seja maior quando comparado ao treinamento resistido não realizado para falha (TRNF) (HISCOCK et al.,

2015; SANTOS et al., 2019; SHIBATA et al., 2019), considerando que o número de repetições realizadas é o máximo possível na série. O maior esforço durante o TRF pode exigir o recrutamento de unidades motoras com maior limiar de excitabilidade (WILLARDSON, 2007; WILLARDSON et al., 2010), levando a maiores aumentos na força máxima e na hipertrofia muscular (DRINKWATER et al., 2005; KARSTEN et al., 2021). No entanto, recentes meta-análises não confirmaram maiores melhorias na força máxima, hipertrofia muscular ou potência de saída após TRF em comparação com o TRNF (DAVIES et al., 2016a; b; GRGIC et al., 2021; VIEIRA et al., 2021).

Apesar de se saber da importância do TRF nas adaptações a longo prazo, continua a não ser claro o papel do TRF na magnitude da fadiga aguda. A fadiga é definida como uma resposta inferior à resposta muscular contrátil esperada a um determinado estímulo (MACINTOSH; RASSIER, 2002), que reduz a força máxima e a potência de saída devido a uma menor capacidade do sistema nervoso central para ativar as unidades motoras, alterações bioquímicas na junção neuromuscular e diminuição da atividade enzimática muscular através da acumulação de íons de hidrogênio no músculo e na corrente sanguínea (BIGLAND-RITCHIE et al., 1978; DEBOLD et al., 2008; MACINTOSH; RASSIER, 2002; VØLLESTAD, 1997). Embora a fadiga forneça um dos estímulos necessários para a ocorrência da síndrome da adaptação geral (CUNANAN et al., 2018), a gestão inadequada da fadiga pode aumentar o risco de lesões, *overtraining* e *burnout* psicológico (FRY; KRAEMER, 1997).

Protocolos TRF quando comparados a protocolos de TRNF causam maior ansiedade e cansaço (ARENT et al., 2005), diminuição na altura do salto vertical (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020), velocidade de movimento (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020), potência de saída (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; VASQUEZ et al., 2013) e força isométrica (LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005; SHIBATA et al., 2019). Estas deficiências podem persistir por mais de 24h após as sessões de TRF (LINNAMO et al., 1998; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020; PAREJA-BLANCO et al., 2019; PAREJA-BLANCO et al., 2016). Fisiologicamente, o TRF rompe a homeostase celular ao esgotar o armazenamento de fosfocreatina, reduzir significativamente o trifosfato de adenosina e o *pool* total de nucleotídeos de adenina muscular (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014), o que contribui para o aumento do dano muscular (MORÁN-NAVARRO et al., 2017) e de marcadores agudos da fadiga (GOROSTIAGA et al., 2012;

GOROSTIAGA et al., 2014; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PÁRRAGA-MONTILLA et al., 2020).

Por outro lado, alguns estudos observaram uma diferença pequena ou não significativa na altura do salto vertical, potência de saída, força isométrica, fadiga central, lactato sanguíneo e PSE entre TRF e TRNF (COSTA et al., 2021; FONSECA et al., 2020; GANTOIS et al., 2021; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2021). Estas divergências podem ser causadas por diferentes características das populações, protocolos de TR, tempos de análise, métodos de avaliação e tipo de desfecho analisado. Referente às características da população, já se sabe que existem diferenças significativas na resposta à fadiga entre homens e mulheres (LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005) e entre participantes jovens e mais velhos (MCLESTER et al., 2003). Além disso, a maioria dos estudos que comparam a resposta aguda da fadiga entre TRF e TRNF consideraram tamanhos de amostras relativamente pequenos (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005; MORÁN-NAVARRO et al., 2017).

Ao avaliar as diferenças na fadiga aguda entre TRF e TRNF é de importância fundamental atribuir um peso adequado a cada estudo como parte de uma análise integrativa. Portanto, o objetivo do presente estudo foi comparar o TRF com o TRNF sobre a fadiga aguda em homens adultos, considerando cada tipo de desfecho (propriedades biomecânicas, resposta metabólica, dano muscular e PSE) e diferentes tempos de análise após a sessão de TR. A meta-análise esclarecerá a compreensão das respostas globais à fadiga dentro de uma população comparável. Além disso, as possíveis causas da heterogeneidade remanescente serão investigadas mais aprofundadamente. A hipótese desse estudo é que o TRF causará uma maior diminuição das propriedades biomecânicas e um maior aumento da resposta metabólica, dano muscular e PSE. Os resultados desta meta-análise podem ser úteis na compreensão dos efeitos do TRF na fadiga e podem ajudar na otimização dos programas de treinamento resistido por parte de treinadores e atletas.

## 2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo foi comparar o TRF com o TRNF sobre a fadiga aguda em homens adultos.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o TRF com o TRNF sobre as propriedades biomecânicas.
- Comparar o TRF com o TRNF sobre a resposta metabólica.
- Comparar o TRF com o TRNF sobre o dano muscular.
- Comparar o TRF com o TRNF sobre a PSE.

### 3 HIPÓTESES

H<sub>0</sub>: Não haverá diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) quando comparados os protocolos de TRF com o TRNF sobre as propriedades biomecânicas.

H<sub>0</sub>: Não haverá diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) quando comparados os protocolos de TRF com o TRNF sobre a resposta metabólica.

H<sub>0</sub>: Não haverá diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) quando comparados os protocolos de TRF com o TRNF sobre o dano muscular.

H<sub>0</sub>: Não haverá diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) quando comparados os de TRF com o TRNF sobre a PSE.

## 4 VARIÁVEIS DO ESTUDO

### 4.1 VARIÁVEIS INDEPENDENTES

- Intervenção no treinamento resistido onde as repetições são realizadas para a falha muscular.
- Intervenção no treinamento resistido onde as repetições não são realizadas para a falha muscular.

### 4.2 VARIÁVEIS DEPENDENTES

- Propriedades biomecânicas (altura do salto vertical, velocidade de movimento, potência de saída e força isométrica).
- Resposta metabólica (lactato e amônia).
- Dano muscular (creatina quinase).
- PSE.

## 5 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Com o crescimento no número de produções científicas, pesquisadores voltaram-se para o estudo das diferentes variáveis metodológicas, métodos e estratégias que otimizam o ganho de adaptações musculares neurais, funcionais e morfológicas. Foi disseminado que realizar o TRF seria a maneira mais promissora de se alcançar os objetivos, uma vez que várias hipóteses circundam tal perspectiva. Entretanto, nota-se que, nos últimos anos, pesquisadores buscam entender qual o impacto do TRF sobre a fadiga, pois a acumulação da fadiga sem o controle ideal da carga de treinamento pode ocasionar diversas repercussões, como risco de lesões, *overtraining* e *burnout* psicológico.

Portanto, o presente estudo irá reunir todas as evidências acerca da temática, com o objetivo de sistematizar e meta-analisar os dados, apontando qual o efeito do TRF sobre os diferentes indicadores de fadiga muscular. Busca-se explorar todas as variáveis que moderam o efeito dos resultados, uma vez que diferentes aspectos, como *status* de treinamento, carga de treinamento, teste executado e tempo de análise, podem exacerbar ou mitigar o efeito de determinado resultado. Nas sessões subsequentes, foi apresentado quais os métodos utilizados para responder à questão norteadora, quais os resultados e, na discussão, interpretaremos e analisaremos criticamente os resultados obtidos até que possamos chegar a uma conclusão coerente.

Destacamos que a presente dissertação tem grande relevância, pois o trabalho de revisão sistemática com meta-análise é o maior nível de evidência entre os diferentes tipos de estudos. Isto pode viabilizar uma publicação em um periódico de alto fator de impacto. Além disso, o presente estudo irá contribuir com a prática da prescrição de treinamento auxiliando treinadores e praticantes.



## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada de acordo com o *checklist* de verificação do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) *guidelines* (LIBERATI et al., 2009).

### 6.1 PROTOCOLO E REGISTRO

O protocolo original foi registrado prospectivamente no *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO) em 18 de julho de 2020 (número de registro: CRD42019138954) (Anexo A).

### 6.2 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Os cinco itens da estratégia PICOS (BROWN et al., 2006) foram: (1) população de homens saudáveis com idade entre 18-40 anos, treinados ou não treinados em TR, sem histórico de lesão óssea, muscular ou articular; (2) intervenção no treinamento resistido em que as repetições são realizadas para a falha muscular; (3) em comparação com intervenção no treinamento resistido em que as repetições não são realizadas para a falha muscular; (4) avaliação dos desfechos da fadiga aguda para propriedades biomecânicas (altura do salto vertical, velocidade de movimento; potência de saída [média e pico] e força isométrica), resposta metabólica (lactato e amônia), dano muscular (creatina quinase) e PSE; (5) com desenhos controlados randomizados, contrabalançado cruzado ou medidas repetidas para TRF e TRNF.

Foi incluído como TRF os estudos que nomearam seus protocolos de TR, como falha muscular concêntrica, repetições máximas, número máximo de repetições, esforço máximo sem repetições em reserva. Para TRNF, a ausência destes termos indicava a ausência da falha muscular.

### 6.3 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Os critérios de inclusão adotados para a seleção dos estudos foram os seguintes: (1) estudos originais; (2) intervenção baseada no TR; (3) estudos que avaliaram pelo menos um dos desfechos de interesse. Os critérios de exclusão

foram: (1) estudos duplicados; (2) estudos não publicados na língua inglesa; (3) protocolos de treinamento não baseado no TR; (4) estudos que combinavam treinamento resistido a outros tipos de treinamento (aeróbico, flexibilidade, etc.); e (5) populações especiais (hipertensos, diabéticos, obesos, idosos, crianças, pessoas com dores lombares, doentes coronários, doentes osteoartrosicos e mulheres grávidas).

#### 6.4 FONTES DE INFORMAÇÃO

Os estudos foram recuperados a partir de uma pesquisa eletrônica em bases de dados e de uma varredura em listas de referências dos estudos incluídos. Foi realizada uma pesquisa altamente sensível em janeiro de 2021 nas seguintes bases de dados: *Cumulative Index to Nursing and Allied Health (CINAHL)*, *Cochrane Library*, *Embase®*, *PubMed®*, *Scopus*, *SPORTDiscus* e *Web of Science*.

#### 6.5 ESTRATÉGIA DE BUSCA

Um estudo prévio (DAVIES et al., 2016a) apoiou a seleção dos descritores adequados para a estratégia de busca. A estratégia de busca combinou os descritores utilizando os operadores Booleanos (AND/OR/NOT) da seguinte forma: (“*resistance training*” OR “*resistance exercise*” OR “*strength training*” OR “*strength exercise*” OR “*weight training*” OR “*weight exercise*” OR “*weightlifting*” OR “*weightlifting*” OR “*weight lifting*”) AND (“*repetition failure*” OR “*repetition to failure*” OR “*repetitions to failure*” OR “*muscle failure*” OR “*muscular failure*” OR “*momentary failure*” OR “*failure*” OR “*failure training*” OR “*nonfailure*” OR “*non-failure*” OR “*not to failure*” OR “*volitional interruption*”) NOT (“*review*” OR “*blood flow restriction*” OR “*heart failure*” OR “*supplement*” OR “*obesity*”). A sintaxe da estratégia de busca para todas as bases de dados está presente no apêndice B.

#### 6.6 SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Os estudos recuperados em cada base de dados foram agrupados utilizando o *software EndNote X9* (Clarivate Analytics, Filadélfia, EUA) e os estudos duplicados foram automaticamente e manualmente removidos. Os títulos e resumos foram

avaliados de acordo com os critérios de elegibilidade por dois investigadores independentes. Os conflitos foram decididos por um terceiro investigador. Os investigadores não foram cegos para os autores, instituições ou periódicos. O resumo que não oferecia informação suficiente para ser avaliado foi enviado para a etapa seguinte, na qual o texto completo foi lido. Quando alguma informação estava ausente ou incompleta, os autores eram contactados por *e-mail*.

## 6.7 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE DADOS

Dois investigadores independentes extraíram os dados dos estudos, utilizando um protocolo padronizado e previamente estruturado (Apêndice C). Os dados extraídos abrangeram as características dos participantes (idade, estatura, massa corporal e *status* de treinamento) e dos protocolos de treinamento (delineamento do estudo, exercício[s] realizado[s], protocolo de treinamento, velocidade de movimento, volume de treinamento e desfecho[s]). Quando os valores dos dados necessários não foram apresentados numericamente, o *software WebPlotDigitizer*, versão 4.2 (São Francisco, Califórnia, EUA), foi utilizado para extrair dados de gráficos. Após a extração, os dados extraídos por ambos os investigadores foram comparados e as divergências foram decididas por ambos e por um terceiro investigador.

## 6.8 RISCO DE VIÉS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

Após a pesquisa e seleção dos estudos, a avaliação do risco de viés foi realizada independentemente por dois investigadores utilizando a *Cochrane Collaboration's tool* para avaliar o risco de viés em estudos randomizados (HIGGINS et al., 2011): (a) viés de seleção (geração de sequência aleatória e ocultação de alocação); (b) viés de desempenho (cegamento dos participantes e profissionais); (c) viés de detecção (cegamento dos avaliadores e desfechos); (d) viés de atrito (desfechos incompletos); (e) viés de relatório (relato de desfecho seletivo); outros vieses (outras fontes de viés). Algumas outras fontes de viés, tais como viés de equipamento, viés de esforço e viés de familiarização, foram considerados na análise de outros vieses (JUKIC et al., 2020). O viés de equipamento foi a ausência de adequação e confiabilidade do equipamento utilizado na avaliação de um

determinado desfecho. O viés de esforço foi a ausência de uma declaração dos autores dos estudos incluídos de que todos os participantes foram encorajados a executar a fase concêntrica do movimento da maneira mais explosiva possível, quando a velocidade do movimento não era controlada. Finalmente, o viés de familiarização ocorreu quando os participantes não tiveram uma familiarização adequada com os protocolos de avaliação dos estudos. Esses fatores podem afetar as propriedades biomecânicas, resposta metabólica, dano muscular e a PSE.

## 6.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As meta-análises foram realizadas no *Comprehensive Meta-Analysis* (CMA) software, versão 3.3.070 (Biostat Inc., Englewood, New Jersey, USA) (BAX et al., 2007), com o nível de significância fixado em  $p < 0,05$ . Realizamos quatro meta-análises, uma para cada desfecho (propriedades biomecânicas, resposta metabólica, dano muscular e PSE). O tamanho do efeito foi calculado com base na diferença de variações (pré e pós-exercício) entre os protocolos TRF e TRNF (A), ou na diferença de valores pós-exercício entre os protocolos TRF e TRNF (B), quando os estudos não mostraram os valores pré-exercício. As propriedades biomecânicas e a resposta metabólica foram analisados com base no desenho A e B, enquanto o dano muscular foi analisado apenas com base no desenho A e a PSE foi analisada apenas com base no desenho B. Quando as variáveis foram apresentadas na mesma unidade de medida em todos os estudos, calculamos o efeito absoluto/bruto (resposta metabólica). Entretanto, quando as variáveis não foram apresentadas na mesma unidade de medida em todos os estudos, calculamos o efeito padronizado pelo desvio padrão (propriedades biomecânicas, dano muscular e PSE). Quando havia uma heterogeneidade significativa ( $p < 0,05$ ), calculamos o efeito randômico (propriedades biomecânicas, resposta metabólica e PSE) e quando não havia uma heterogeneidade significativa ( $p < 0,05$ ), calculamos o efeito fixo (dano muscular) (BORENSTEIN et al., 2010). A magnitude do tamanho do efeito foi classificada como: pequeno (0,20 - 0,49), moderado (0,50 - 0,79) e grande ( $> 0,80$ ) com base na classificação de *Cohen* (COHEN, 1988). A heterogeneidade entre os estudos foi quantificada através da estatística  $I^2$ . O resultado deste teste indica a porcentagem de heterogeneidade encontrada. A heterogeneidade foi classificada de acordo com a seguinte escala: baixa ( $<25\%$ ), moderada (25-75%), e alta ( $>75\%$ ) (HIGGINS et al.,

2003). O viés de publicação foi analisado pelo teste de *Egger* e um valor de  $p$  de 5% ( $p < 0,05$ ) foi considerado significativo (EGGER et al., 1997).

Para evitar a sobreposição amostral nas análises, selecionamos apenas uma amostra de cada estudo. Para estudos que tinham mais de uma variável biomecânica de interesse, selecionamos para a análise principal a altura do salto vertical. Além disso, selecionamos a carga de 75% de 1RM ou 10RM. O tempo selecionado para cada análise principal envolveu um aspecto, tal como estar presente em todos os estudos (propriedades biomecânicas). No entanto, devido às diferenças metodológicas entre os estudos e para identificar os efeitos dessas diferenças sobre os marcadores de fadiga, após as principais análises, realizamos análises de subgrupos. Para as análises de subgrupos, testamos o efeito do tempo (imediatamente pós-exercício, 6h, 24h e 48h após o exercício). Referente à análise do dano muscular, não incluímos 6h, relatado apenas em um estudo (MORÁN-NAVARRO et al., 2017), devido ao fato da creatina quinase aumentar ~100% em 8h pós-TR, com níveis de pico observados entre 24 e 96h pós-treinamento resistido (KOCH et al., 2014). Além do tempo, testamos o efeito de mais subgrupos das propriedades biomecânicas, tais como *status* de treinamento (treinado x destreinado), teste realizado (salto contramovimento [CMJ], contração isométrica voluntária máxima [CIVM], velocidade de movimento contra  $V_1$ -load para o supino reto [velocidade BP], velocidade de movimento contra  $V_1$ -load para o agachamento [velocidade SQ]) e carga (70, 75, 80, 85 e 90% de 1RM). Finalmente, para a resposta metabólica, testamos o efeito da amônia. O teste Q foi usado para identificar diferenças entre as categorias de subgrupos, considerando significativo quando  $p < 0,05$ .

## 6.10 QUALIDADE DA EVIDÊNCIA

A qualidade da evidência foi avaliada através do *Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation* (GRADE) (ATKINS et al., 2004). O GRADE sugere a classificação de ensaios controlados randomizados inicialmente como estudos de alta qualidade (*score* 4), que passam por avaliações específicas de vieses para identificar se o seu *score* precisa ser reduzido a moderada, baixa ou muito baixa qualidade. Os seguintes tópicos foram avaliados: 1) qualidade dos estudos originais; 2) inconsistência dos resultados (heterogeneidade);

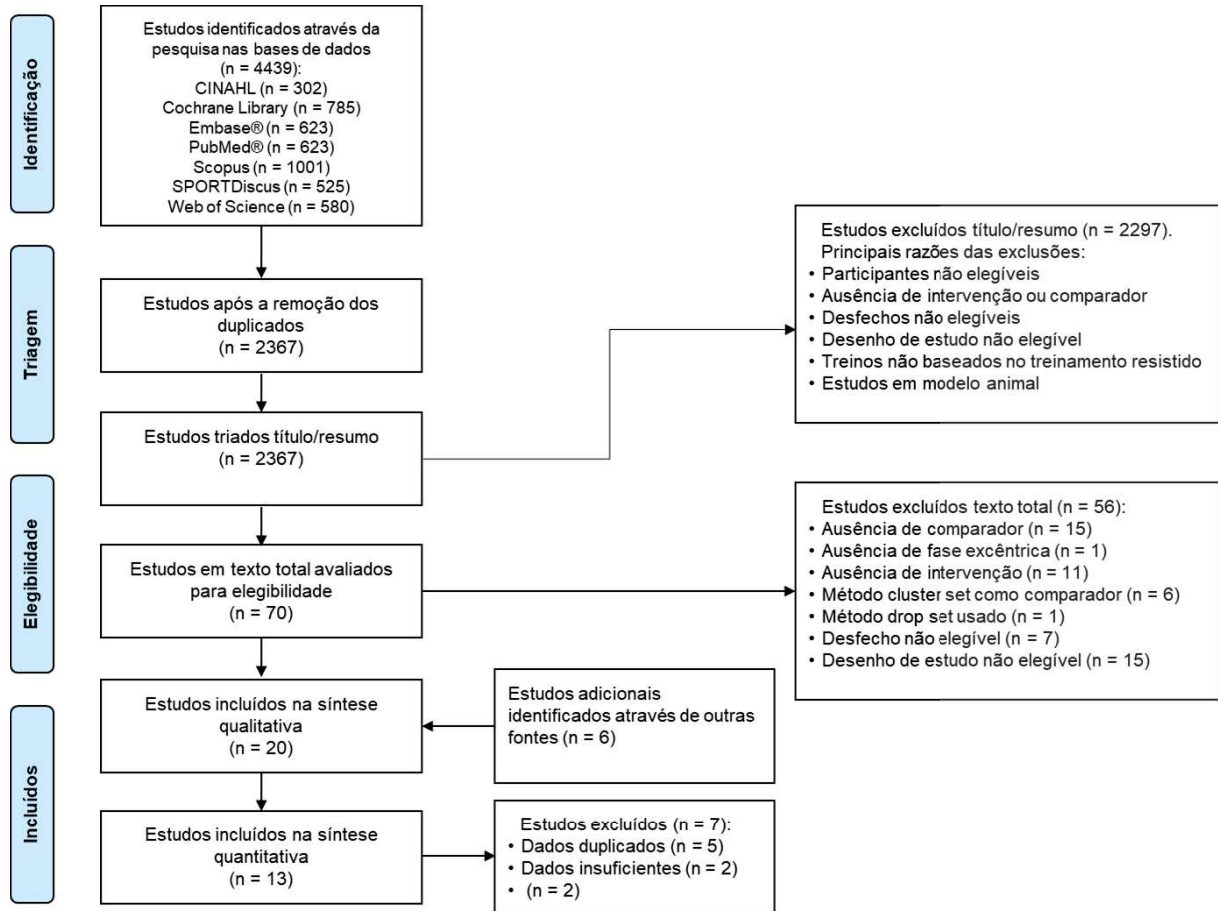
3) evidência indireta; 4) imprecisão; e 5) viés de publicação. Um ponto foi removido para a qualidade dos estudos originais quando 50% dos estudos em uma determinada meta-análise tinha > 1 item avaliado com alto risco de viés (JUKIC et al., 2020). Para inconsistência, removemos um ponto se fosse encontrado heterogeneidade estatística (JUKIC et al., 2020). O risco de evidência indireta foi avaliado considerando três fatores: 1) quando os participantes divergiam da população de interesse; 2) quando as intervenções divergiam da intervenção de interesse; e 3) quando foram utilizados desfechos substitutos em vez dos desfechos de interesse. A imprecisão foi avaliada baseada no tamanho amostral total para cada meta-análise < 100 participantes (JUKIC et al., 2020). Para o viés de publicação, foi removido um ponto da análise para risco significativo no teste de Egger ( $p < 0,05$ ).

## **7 RESULTADOS**

### **7.1 SELEÇÃO DOS ESTUDOS**

A pesquisa nas bases de dados gerou um total de 4439 estudos, dos quais 20 foram incluídos na revisão sistemática e 13 na meta-análise. O fluxograma da pesquisa sistemática é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos estudos.



Fonte: adaptado de Liberati et al. (2009).

## 7.2 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS

Entre os 218 participantes incluídos na revisão sistemática, 39 (17,9%) foram duplicados em diferentes estudos (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2010; LINNAMO et al., 2005; PAREJA-BLANCO et al., 2016). Assim, para evitar a sobreposição de amostras, foram analisados apenas 179 participantes, dos quais 116 (64,8%) eram treinados em treinamento resistido e 54 (30,2%) destreinados em TR. Um estudo (5,0%) não reportou claramente o *status* de treinamento dos participantes e, desta forma, foi excluído da análise específica de subgrupos (RAASTAD et al., 2000). Três estudos incluíram participantes com dois a quatro anos de experiência em treinamento resistido (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; PAREJA-BLANCO et al., 2020; PAREJA-BLANCO et al., 2016) e em outros três estudos, foram recrutados participantes com pelo menos um ano de experiência em treinamento resistido (FONSECA et al., 2020; HISCOCK et al., 2015; MARTORELLI et al.,

2021). Dois estudos incluíram participantes com mais de três anos de experiência em treinamento resistido (MORÁN-NAVARRO et al., 2017; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011). Além disso, um estudo recrutou participantes com mais de seis meses de experiência em treinamento resistido (SHIBATA et al., 2019). Salienta-se que um estudo incluiu participantes com dois anos de experiência apenas no exercício agachamento (VASQUEZ et al., 2013). Nos estudos com participantes destreinados, três deles recrutaram participantes fisicamente ativos (ARENT et al., 2005; LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005) e outros três recrutaram atletas recreacionais de *endurance* (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010). Finalmente, um estudo recrutou participantes destreinados e aplicou os protocolos TRF e TRNF antes e após um período de 10 semanas de intervenção sistematizada de treinamento resistido (PAREJA-BLANCO et al., 2019). As características dos participantes está detalhada na Tabela 1.



Tabela 1 - Características dos participantes.

<b>Estudo</b>	<b>Participantes (n = 218)</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Estatura (cm)</b>	<b>Massa corporal (kg)</b>	<b>Status de treinamento</b>
Arent et al. (2005)	15	22,0 ± 0,7	180,8 ± 1,9	77,8 ± 2,9	Não treinado
Fonseca et al. (2020)	22	21,4 ± 2,3	-	78,1 ± 6,7	Treinado
González-Badillo et al. (2016)	9	23,3 ± 3,9	175,0 ± 0,03	75,3 ± 9,2	Treinado
González-Hernández et al. (2021)	12	23,6 ± 1,5	178,2 ± 6,6	76,5 ± 9,9	Treinado
Gorostiaga et al. (2010)	6	34,0 ± 6,0	179,0 ± 5,0	74,5 ± 7,2	Não treinado
Gorostiaga et al. (2012)	6	34,0 ± 6,0	179,0 ± 5,0	74,5 ± 7,2	Não treinado
Gorostiaga et al. (2014)	13	34,4 ± 5,4	177,4 ± 6,0	74,1 ± 6,3	Não treinado
Hiscock et al. (2015)	10	26,3 ± 8,4	181,3 ± 5,6	78,1 ± 9,1	Treinado
Linnamo et al. (1998)	8	27,1 ± 1,9	181,3 ± 3,1	74,4 ± 9,0	Não treinado
Linnamo et al. (2005)	8	27,1 ± 1,9	181,3 ± 3,1	74,4 ± 9,0	Não treinado
Martorelli et al. (2021)	12	24,1 ± 4,4	177,0 ± 3,3	82,0 ± 6,4	Treinado
McGuigan et al. (2004)	8	21,6 ± 1,2	180,0 ± 0,1	86,6 ± 11,0	Destreinado
Morán-Navarro et al. (2017)	10	21,5 ± 4,0	175,2 ± 7,2	72,4 ± 8,4	Treinado
Pareja-Blanco et al. (2016)	10	23,6 ± 3,7	175,0 ± 0,03	75,0 ± 8,7	Treinado
Pareja-Blanco et al. (2019)	10	20,6 ± 2,7	175,0 ± 0,10	71,7 ± 12,5	Não treinado
Pareja-Blanco et al. (2020)	10	22,1 ± 3,5	175,0 ± 0,07	73,5 ± 10,7	Treinado
Raastad et al. (2000)	9	26,9 ± 4,2	-	81,4 ± 9,6	-
Sánchez-Medina; González-Badillo (2011)	18	25,6±3,4	176,6 ± 7,5	75,9 ± 9,1	Treinado
Shibata et al. (2019)	10	20,5±1,1	174,0 ± 3,8	65,7 ± 4,8	Treinado
Vasquez et al. (2013)	12	21,9±1,3	177,9 ± 6,4	77,8 ± 8,0	Treinado
Média ± DP	10,9 ± 3,9	25,1 ± 4,4	177,7 ± 2,5	76,0 ± 4,3	-
Amplitude (mínimo - máximo)	6,0 - 22,0	20,5 - 34,4	174,0 - 181,3	65,7 - 86,6	-

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Nota: n: dimensão amostral; DP: desvio padrão.

Todos os estudos incluídos tinham um desenho cruzado com um período de *washout* (amplitude: 2-60 dias) entre as sessões de treinamento. Onze estudos compararam um protocolo TRF com um protocolo TRNF (FONSECA et al., 2020; GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2021; GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010; LINNAMO et al., 1998; MCGUIGAN et al., 2004; PAREJA-BLANCO et al., 2016; RAASTAD et al., 2000; SHIBATA et al., 2019). Outros nove estudos compararam um ou mais protocolos TRF com um ou mais protocolos TRNF (ARENT et al., 2005; HISCOCK et al., 2015; LINNAMO et al., 2005; MARTORELLI et al., 2021; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020; PAREJA-BLANCO et al., 2019; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011; VASQUEZ et al., 2013). Os exercícios multiarticulares foram mais comum entre os protocolos, especialmente quando as sessões incluíam somente um ou dois exercícios. No entanto, os exercícios monoarticulares foram aplicados em cinco estudos que envolviam uma quantidade maior de exercícios (ARENT et al., 2005; HISCOCK et al., 2015; LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005; RAASTAD et al., 2000). Os exercícios utilizados nos estudos foram aplicados no *smith machine* ou em um equipamento especificado nos estudos. A carga de treinamento utilizada nos protocolos foi  $\geq 70\%$  de 1RM (amplitude: 70-90%), entretanto alguns estudos prescreveram a carga de treinamento dos protocolos com base no número máximo de repetições (ARENT et al., 2005; FONSECA et al., 2020; GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010; LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005; RAASTAD et al., 2000; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011). Além disso, o volume de treinamento não foi equalizado em 14 estudos (ARENT et al., 2005; GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; GOROSTIAGA et al., 2010; HISCOCK et al., 2015; LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005; MARTORELLI et al., 2021; MCGUIGAN et al., 2004; PAREJA-BLANCO et al., 2020; PAREJA-BLANCO et al., 2019; PAREJA-BLANCO et al., 2016; RAASTAD et al., 2000; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011; VASQUEZ et al., 2013). Uma descrição mais detalhada dos estudos incluídos pode ser encontrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Estudos	Delineamento do estudo	Exercício (s) resistido (s)	Protocolo de treinamento	Velocidade de movimento	Volume de treinamento	Desfecho (s)
Arent et al. (2005)	Delineamento cruzado com ordem contrabalançada.	Supino reto <i>Pulley</i> alto Desenvolvimento Remada sentada Rosca tríceps Rosca bíceps	<b>TRF:</b> 3 x 10 @100% de 10RM. <b>TRNF 1:</b> 3 x 10 @70% de 10RM. <b>TRNF 2:</b> 3 x 10 @40% de 10RM. 90s de intervalo entre as séries.	Não reportado.	Não equalizado.	PSE (ua) (escala de Borg 15 pontos).
Fonseca et al. (2020)	Delineamento cruzado, controlado com ordem randomizada.	Agachamento	<b>TRF:</b> 4 x 12 @12RM. <b>TRNF:</b> 8 x 6 @12RM. 3min de intervalo entre as séries.	Não controlado.	Equalizado.	Altura do salto vertical - CMJ (cm). Potência de saída no agachamento (w). PSE (ua) (escala de Foster 10 pontos).
González-Badillo et al. (2016)	Delineamento cruzado.	Supino reto Agachamento	<b>TRF:</b> 3 x 8 @80% de 1RM. <b>TRNF:</b> 3 x 4 @80% de 1RM. 5min de intervalo entre as séries.	Fase concêntrica realizada com a maior velocidade possível e fase excêntrica não reportada.	Não equalizado.	Altura do salto vertical - CMJ (cm). Dano muscular - CK (UI·L <sup>-1</sup> ). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o supino reto (%). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o agachamento (%).

González-Hernández et al. (2021)	Delineamento cruzado com ordem randomizada e contrabalançada	Agachamento	<b>TRF:</b> 6 x 10 @10RM (~75% de 1RM). <b>TRNF:</b> 6 x 5 @10RM (~75% de 1RM). 5min de intervalo entre as séries.	Fase concêntrica realizada com a maior velocidade possível e fase excêntrica realizada de forma controlada com velocidade autosselecionada.	Não equalizado.	Dano muscular - CK (UI·L <sup>-1</sup> ) Força isométrica – CIVM na cadeira extensora (n)
Gorostiaga et al. (2010)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	<i>Leg press</i>	<b>TRF:</b> 1 x 10 @10RM. <b>TRNF:</b> 1 x 5 @10RM.	Fases concêntrica e excêntrica realizadas com a maior velocidade possível.	Não equalizado.	Resposta metabólica - Amônia (μmol·L <sup>-1</sup> ). Resposta metabólica - Lactato (mmol·L <sup>-1</sup> ). Potência de saída no <i>leg press</i> (w).
Gorostiaga et al. (2012)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	<i>Leg press</i>	<b>TRF:</b> 5 x 10 @10RM. <b>TRNF:</b> 10 x 5 @10RM. 2min de intervalo entre as séries.	Fases concêntrica e excêntrica realizadas com a maior velocidade possível.	Equalizado.	Potência de saída no <i>leg press</i> (w).
Gorostiaga et al. (2014)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	<i>Leg press</i>	<b>TRF:</b> 5 x 10 @10RM. <b>TRNF:</b> 10 x 5 @10RM. 2min de intervalo entre as séries.	Fases concêntrica e excêntrica realizadas com a maior velocidade possível.	Equalizado.	Resposta metabólica - Amônia (μmol·L <sup>-1</sup> ). Resposta metabólica - Lactato (mmol·L <sup>-1</sup> ). Potência de saída no <i>leg press</i> (w).
Hiscock et al. (2015)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	Supino reto <i>Leg press</i> <i>Pulley</i> alto Flexão de joelho	<b>TRF 1:</b> 3 x máximo de repetições possíveis @70% de 1RM, 1min de	2s para a fase concêntrica e excêntrica.	Não equalizado.	PSE (ua) (escala de Borg 10 pontos).

		Rosca tríceps	<p>intervalo entre as séries.</p> <p><b>TRF 2:</b> 3 x máximo de repetições possíveis @70% de 1RM, 3min de intervalo entre as séries.</p> <p><b>TRF 3:</b> 3 x máximo de repetições possíveis @40% de 1RM, 1min intervalo entre as séries.</p> <p><b>TRF 4:</b> 3 x máximo de repetições possíveis @40% de 1RM, 3min de intervalo entre as séries.</p> <p><b>TRNF 1:</b> 3 x 8 @70% de 1RM, 3min intervalo entre as séries.</p> <p><b>TRNF 2:</b> 3 x 14 @40% de 1RM, 3min intervalo entre as séries.</p>			
Linnamo et al. (1998)	Delineamento cruzado com ordem não randomizada.	<i>Sit-up</i> Supino reto <i>Leg press</i>	<p><b>TRF:</b> 5 x 10 @10RM.</p> <p><b>TRNF:</b> 5 x 10 @40% de 10RM. 2min de intervalo entre as séries.</p>	<p><b>TRF:</b> Fase concêntrica com velocidade auto-selecionada e fase excêntrica controlada.</p> <p><b>TRNF:</b> Fases</p>	Não equalizado.	Resposta metabólica - Lactato ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Força isométrica - CIVM no <i>leg press</i> (%).

				concêntrica e excêntrica realizadas com a maior velocidade possível.		
Linnamo et al. (2005)	Delineamento cruzado com ordem não randomizada.	<i>Sit-up</i> Supino reto <i>Leg press</i>	<b>TRF:</b> 5 x 10 @10RM. <b>TRNF 1:</b> 5 x 10 @40% de 10RM. <b>TRNF 2:</b> 5 x 10 @70% de 10RM. 2min de intervalo entre as séries.	<b>TRF e TRNF 2:</b> Fase concêntrica com velocidade autosselecionada e fase excêntrica controlada. <b>TRNF 1:</b> Fases concêntrica e excêntrica realizadas com a maior velocidade possível.	Não equalizado.	Resposta metabólica - Lactato ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Força isométrica - CIVM no <i>leg press</i> (%).
Martorelli et al. (2021)	Delineamento cruzado com ordem contrabalançada.	Agachamento Supino reto	<b>TRF 1:</b> 5 x máximo de repetições possíveis @75% de 1RM, 2min de intervalo entre as séries. <b>TRF 2:</b> 5 x máximo de repetições possíveis @90% de 1RM, 3min de intervalo entre as séries. <b>TRNF:</b> 5 x 6 @50% de 1RM, 2min de intervalo entre as séries.	2s para as fases concêntrica e excêntrica. TRNF a fase concêntrica foi realizada com a maior velocidade possível.	Não equalizado.	Resposta metabólica – Lactato ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Dano muscular - CK ( $\text{UI}\cdot\text{L}^{-1}$ ). PSE (ua) (escala de Foster 10 pontos).
McGuigan et al. (2004)	Delineamento cruzado com	Agachamento Supino reto	<b>TRF:</b> 6 x 10 @75% de 1RM.	Não reportado.	Não equalizado.	PSE (ua) (escala de Foster

	ordem randomizada.		<b>TRNF:</b> 3 x 10 @30% de 1RM. 2min de intervalo entre as séries.			10 pontos).
Morán-Navarro et al. (2017)	Delineamento cruzado, controlado com ordem randomizada.	Supino reto Agachamento	<b>TRF:</b> 3 x 10 @75% de 1RM. <b>TRNF 1:</b> 3 x 5 @75% de 1RM. <b>TRNF 2:</b> 6 x 5 @75% de 1RM. 5min de intervalo entre as séries.	Fase concêntrica na maior velocidade possível e fase excêntrica não reportada.	Equalizado para um dos protocolos.	Resposta metabólica - Amônia ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Altura do salto vertical - CMJ (cm). Dano muscular - CK ( $\text{UI}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Velocidade de movimento contra $V_{1.load}$ para o supino reto (%). Velocidade de movimento contra $V_{1.load}$ para o agachamento (%).
Pareja-Blanco et al. (2016)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	Supino reto Agachamento	<b>TRF:</b> 3 x 12 @70% de 1RM. <b>TRNF:</b> 3 x 6 @70% de 1RM. 5min de intervalo entre as séries.	Fase concêntrica na maior velocidade possível e fase excêntrica não reportada.	Não equalizado.	Altura do salto vertical - CMJ (cm). Dano muscular - CK ( $\text{UI}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Velocidade de movimento contra $V_{1.load}$ para o supino reto (%). Velocidade de movimento contra $V_{1.load}$ para o agachamento (%).
Pareja-Blanco et al. (2019)	Delineamento cruzado com	Supino reto Agachamento	<b>TRF:</b> 3 x 10 @75% de 1RM.	Fase concêntrica na maior	Não equalizado.	Altura do salto vertical - CMJ

	ordem randomizada.		<b>TRNF 1 (treinado):</b> 3 x 5 @75% de 1RM. <b>TRNF 2 (não treinado):</b> 3 x 5 @75% de 1RM. 5min de intervalo entre as séries.	velocidade possível e fase excêntrica na velocidade ~0.50 m·s <sup>-1</sup> .		(cm). Dano muscular - CK (UI·L <sup>-1</sup> ). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o supino reto (%). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o agachamento (%).
Pareja-Blanco et al. (2020)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	Supino reto Agachamento	<b>TRF 1:</b> 3 x 12 @70% de 1RM. <b>TRNF 1:</b> 3 x 6 @70% de 1RM. <b>TRF 2:</b> 3 x 10 @75% de 1RM <b>TRNF 2:</b> 3 x 5 @75% de 1RM. <b>TRF 3:</b> 3 x 8 @80% de 1RM. <b>TRNF 3:</b> 3 x 4 @80% de 1RM. <b>TRF 4:</b> 3 x 6 @85% de 1RM. <b>TRNF 4:</b> 3 x 3 @85% de 1RM. <b>TRF 5:</b> 3 x 4 @90% de 1RM. <b>TRNF 5:</b> 3 x 2 @90% de 1RM. 5min de intervalo entre as séries.	Fase concêntrica na maior velocidade possível e fase excêntrica na velocidade 0.40-0.70 m·s <sup>-1</sup> .	Não equalizado	Altura do salto vertical - CMJ (cm). Dano muscular - CK (UI·L <sup>-1</sup> ). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o supino reto (%). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o agachamento (%).
Raastad et al. (2000)	Delineamento cruzado com	Agachamento. Agachamento pela	<b>TRF:</b> 3 x 3 @3RM no agachamento,	Não reportado.	Não equalizado.	Resposta metabólica -



	ordem contrabalançada.	frente. Cadeira extensora.	6min de intervalo entre as séries. 3 x 6 @6RM na cadeira extensora, 4min de intervalo entre as séries. <b>TRNF:</b> 3 x 3 @70% de 3RM para agachamentos, 6min de intervalo entre as séries. 3 x 6 @76% de 6RM para cadeira extensora, 4min de intervalo entre as séries.			Lactato (mmol·L <sup>-1</sup> )
Sánchez-Medina; González-Badillo et al. (2011)	Delineamento paralelo para os exercícios e cruzado para os protocolos.	Supino reto ou agachamento	<b>TRF 1:</b> 3 x 12 @12RM. <b>TRNF 1:</b> 3 x 6 @12RM. <b>TRNF 2:</b> 3 x 8 @12RM. <b>TRNF 3:</b> 3 x 10 @12 RM. <b>TRF 2:</b> 3 x 10 @10RM. <b>TRNF 4:</b> 3 x 6 @10RM. <b>TRNF 5:</b> 3 x 8 @10RM. <b>TRF 3:</b> 3 x 8 @8RM. <b>TRNF 6:</b> 3 x 4 @8RM.	Fase concêntrica realizada com a maior velocidade possível e fase excêntrica controlada.	Não equalizado.	Resposta metabólica - Amônia (μmol·L <sup>-1</sup> ). Resposta metabólica - lactato (mmol·L <sup>-1</sup> ). Altura do salto vertical - CMJ (cm). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o supino reto (%). Velocidade de movimento contra <i>V<sub>1.load</sub></i> para o agachamento (%).

			<p><b>TRNF 7:</b> 3 x 6 @8RM.</p> <p><b>TRF 4:</b> 3 x 6 @6RM.</p> <p><b>TRNF 8:</b> 3 x 3 @6RM.</p> <p><b>TRNF 9:</b> 3 x 4 @6RM.</p> <p><b>TRF 5:</b> 3 x 4 @4RM.</p> <p><b>TRNF 10:</b> 3 x 2 @4RM.</p> <p>5min de intervalo entre as séries.</p>			
Shibata et al. (2019)	Delineamento cruzado com ordem não randomizada.	Agachamento.	<p><b>TRF:</b> 3 x máximo de repetições possíveis @75% de 1RM.</p> <p><b>TRNF:</b> 6 x número total de repetições realizados no TRF @75% de 1RM</p> <p>3min de intervalo entre as séries.</p>	2s para as fases concêntrica e excêntrica.	Equalizado.	Resposta metabólica - Lactato (mmol·L <sup>-1</sup> ). Força isométrica - CIVM na cadeira extensora (n). PSE (ua) (escala de Borg 10 pontos).
Vasquez et al. (2013)	Delineamento cruzado com ordem randomizada.	Agachamento.	<p><b>TRF 1:</b> 1 x máximo de repetições possíveis @50% de 1RM.</p> <p><b>TRNF 1:</b> 1 x 3 @50% de 1RM.</p> <p><b>TRF 2:</b> 1 x máximo de repetições possíveis @70% de 1RM.</p> <p><b>TRNF 2:</b> 1x3</p>	Fase concêntrica realizada com a maior velocidade possível e fase excêntrica controlada.	Não equalizado.	Potência de saída para o agachamento (w/kg). PSE (ua) (escala de Borg 15 pontos).

---

@70% de 1RM.  
**TRF 3:** 1 x máximo  
de repetições  
possíveis @90%  
de 1RM.  
**TRNF 3:** 1 x 3  
@90% de 1RM.  
3 minutos de  
intervalo entre os  
protocolos.

---

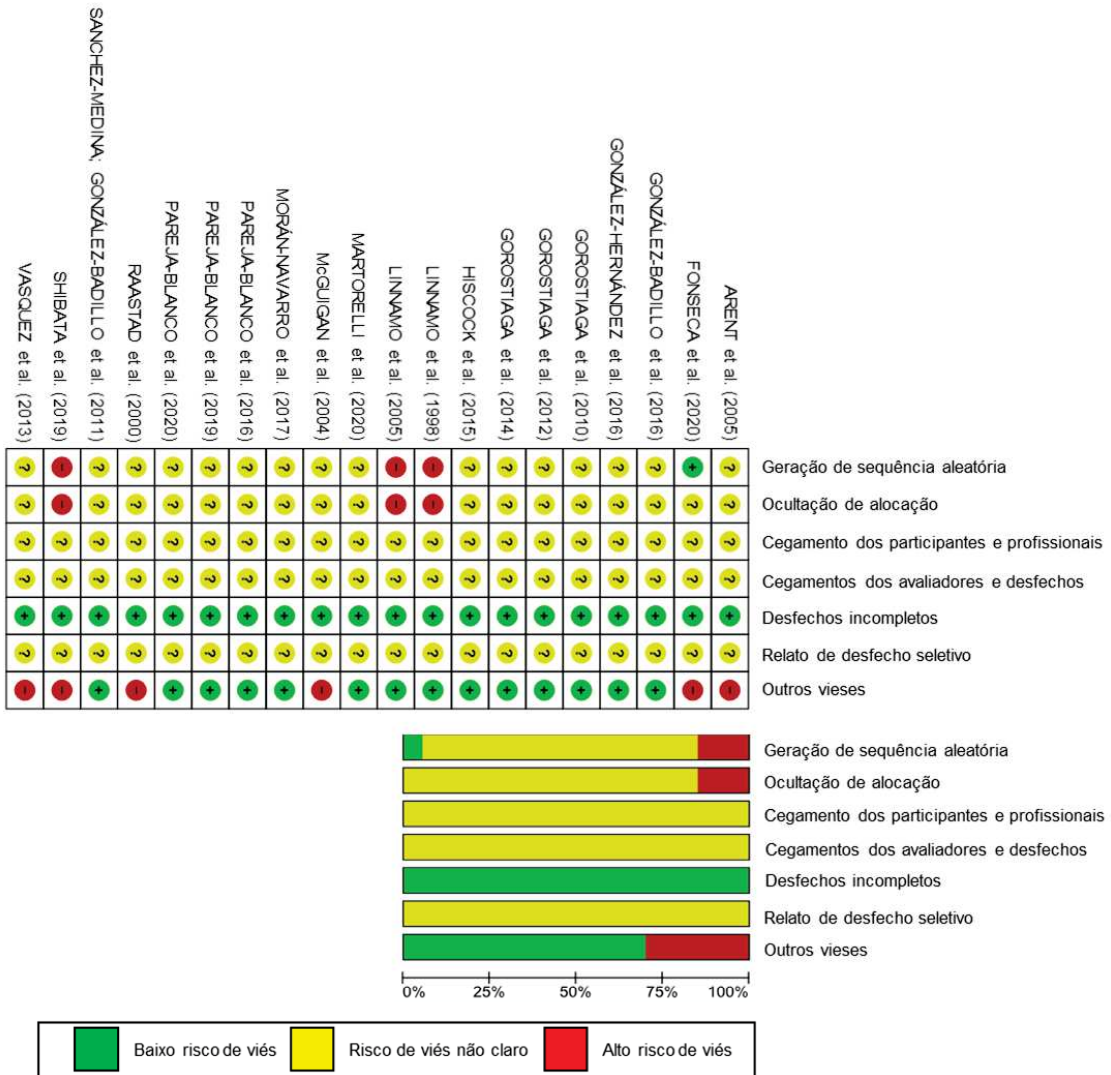
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: ua: unidades arbitrárias; CK: creatina quinase; CMJ: salto contramovimento; min: minutos; RM: repetição máxima; s: segundos; TRF: treinamento resistido realizado para falha muscular; TRNF: treinamento resistido não realizado para falha muscular.

### 7.3 RISCO DE VIÉS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

A Figura 2 mostra os resultados individuais e a distribuição percentual do risco de viés dos estudos incluídos. A maioria dos estudos tinha risco não claro para a geração de sequência aleatória e ocultação de alocação, entretanto um estudo relatou a utilização da geração de sequência aleatória (FONSECA et al., 2020) e três estudos tinham um alto risco de viés para a geração de sequência aleatória e ocultação de alocação (LINNAMO et al., 1998; LINNAMO et al., 2005; SHIBATA et al., 2019). Todos os estudos foram classificados com risco não claro para cegamento dos participantes e profissionais, cegamento dos avaliadores e desfechos e relato de desfecho seletivo, uma vez que não havia informações suficientes para o julgamento apropriado. Todos os estudos apresentaram baixo risco de viés para desfechos incompletos. Seis estudos tinham alto risco de viés para outros vieses, tais como viés de equipamento (ARENT et al., 2005; VASQUEZ et al., 2013), viés de esforço (ARENT et al., 2005; FONSECA et al., 2020; MCGUIGAN et al., 2004; RAASTAD et al., 2000) e viés de familiarização (RAASTAD et al., 2000; SHIBATA et al., 2019).

Figura 2 - Risco de viés dos estudos incluídos.



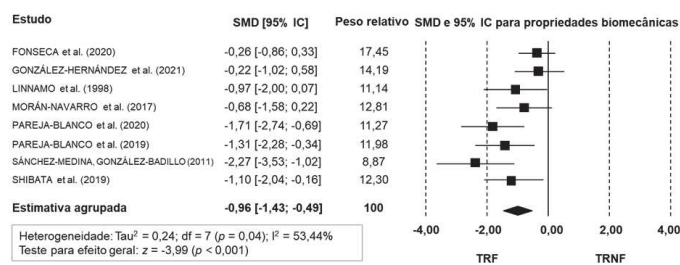
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

#### 7.4 PRINCIPAIS RESULTADOS

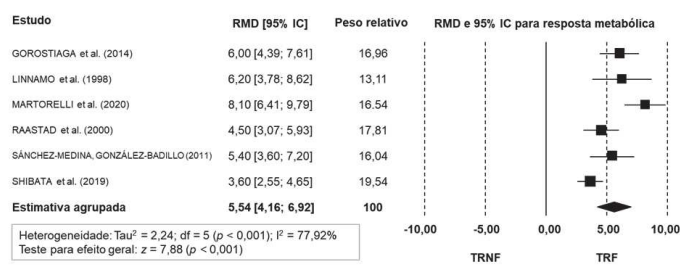
Os principais resultados mostraram que o declínio nas propriedades biomecânicas foi maior no TRF comparado ao TRNF (SMD = -0,96 [95% IC -1,43; -0,49];  $p < 0,001$ ) (Figura 3A). As análises de subgrupo mostraram que o *status* de treinamento ( $p = 0,92$ ), o tempo ( $p = 0,89$ ) e a carga ( $p = 0,08$ ) não afetaram as propriedades biomecânicas entre TRF e TRNF. A maior perda no TRF comparado ao TRNF ocorreu no teste de velocidade BP ( $p < 0,001$ ). Referente ao tempo, o TRF levou a uma redução significativa das propriedades biomecânicas imediatamente, 6h, 24h e 48h pós-exercício em comparação com TRNF.

Figura 3 - Gráfico floresta da diferença média padronizada (propriedades biomecânicas, dano muscular e PSE) e diferença média bruta (resposta metabólica) dos efeitos agudos no TRF comparado ao TRNF.

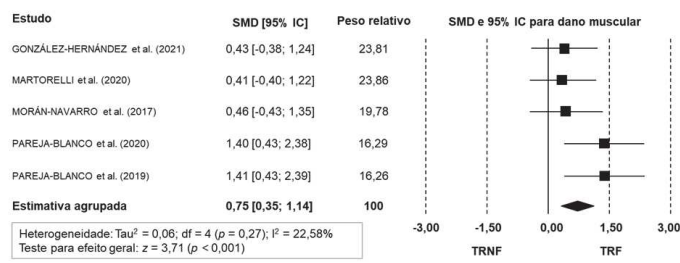
A



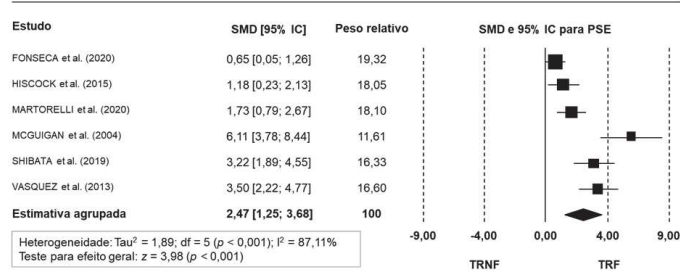
B



C



D



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: IC: A: gráfico floresta para propriedades biomecânicas; B: gráfico floresta para resposta metabólica; C: gráfico floresta para dano muscular; D: gráfico floresta para PSE; intervalo de confiança; df: graus de liberdade;  $I^2$ : heterogeneidade entre os estudos; RMD: diferença média bruta; PSE: percepção subjetiva de esforço; SMD: diferença média padronizada; TRF: treinamento resistido realizado para falha muscular; TRNF: treinamento resistido não realizado para falha muscular.

Os resultados mostraram que a concentração de lactato (RMD = 5,54 mmol·L<sup>-1</sup> [95% IC 4,16; 6,92];  $p < 0,001$ ) (Figura 3B) e amônia (RMD = 42,17 mmol·L<sup>-1</sup> [95% IC 34,67; 49,67];  $p < 0,001$ ) foram significativamente maiores no TRF comparado ao TRNF. Os níveis de creatina quinase foram significativamente maiores no TRF comparado ao TRNF (SMD = 0,75 [95% IC 0,35; 1,14];  $p < 0,001$ ) (Figura 3C). Entretanto, a análise de subgrupos mostrou que apenas 48h pós-exercício os níveis de CK eram maiores no TRF comparado ao TRNF (SMD = 0,86 [95% IC 0,40; 1,31];  $p < 0,001$ ). Finalmente, a PSE foi significativamente maior em TRF do que em TRNF (SMD = 2,47 [95% IC 1,25; 3,68];  $p < 0,001$ ) (Figura 3D). Os resultados de todas as análises de subgrupos são apresentados na Tabela 3.



Tabela 3 - Resultados das análises de subgrupo.

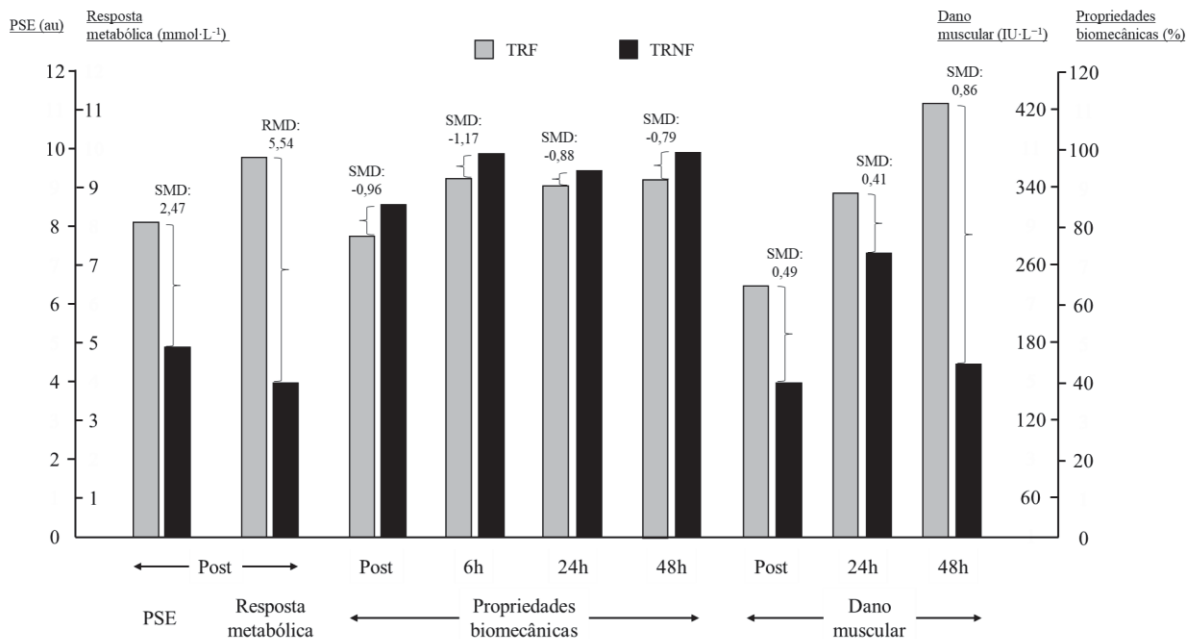
Variáveis dependentes ou independentes	SMD or RMD	95% IC	p-valor	I <sup>2</sup> % (p-valor)	k	p-valor (diferença)
<b>Propriedades biomecânicas (SMD)</b>						
<i>Status de treinamento</i>						
Treinado	-0,93	-1,53; -0,33	0,002	63,79 (0,02)	6	0,92
Não treinado	-0,88	-1,57; -0,20	0,01	0,00 (0,83)	2	-
<i>Teste realizado</i>						
CMJ (cm ou %)	-1,14	-1,86; -0,43	0,002	67,54 (0,02)	5	< 0,001
MVIC (N ou %)	-0,69	-1,21; -0,16	0,01	13,06 (0,32)	3	-
Velocidade BP (m·s <sup>-1</sup> ou %)	-2,74	-3,35; -2,13	< 0,001	0,00 (0,97)	4	-
Velocidade SQ (m·s <sup>-1</sup> ou %)	-1,64	-2,16; -1,11	< 0,001	20,39 (0,29)	4	-
<i>Tempo de análise</i>						
Imediatamente pós-exercício (até 60 s)	-0,96	-1,43; -0,49	< 0,001	53,44 (0,04)	8	0,89
Pós-6h	-1,17	-1,73; -0,61	< 0,001	51,06 (0,13)	3	-
Pós-24h	-0,88	-1,49; -0,27	0,005	60,04 (0,03)	6	-
Pós-48h	-0,79	-1,20; -0,37	< 0,001	45,73 (0,12)	5	-
<i>Carga</i>						
70%	-1,36	-2,76; 0,03	0,05	84,50 (0,001)	3	0,08
75%	-1,04	-1,40; -0,67	< 0,001	41,71 (0,11)	7	-
80%	-2,57	-3,46; -1,68	< 0,001	0,00 (0,37)	2	-
85%	-1,79	-3,67; 0,08	0,06	80,40 (0,02)	2	-
90%	-1,33	-2,06; -0,60	< 0,001	31,01 (0,23)	2	-
<b>Respostas metabólicas (RMD)</b>						
<i>Análise secundária</i>						
Amônia (μmol·L <sup>-1</sup> )	42,17	34,67; 49,67	< 0,001	56,41 (0,101)	3,0	
<b>Dano muscular (RMD)</b>						
<i>Tempo de análise</i>						
Imediatamente pós-exercício (até 5 min) (UI·L <sup>-1</sup> )	0,49	-0,03; 1,00	0,06	0,00 (0,92)		0,37
Pós-24h (UI·L <sup>-1</sup> )	0,41	-0,07; 0,89	0,09	0,00 (0,94)		-
Pós-48h (UI·L <sup>-1</sup> )	0,86	0,40; 1,31	< 0,001	29,75 (0,23)		-

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Nota: IC: intervalo de confiança; CMJ: salto contramovimento; I<sup>2</sup>: heterogeneidade entre os estudos; k: número de estudos; CIVM: contração isométrica voluntária máxima; RMD: diferença média bruta; SMD: diferença média padronizada; Velocidade BP: velocidade de movimento contra  $V_1$ load para o supino reto; Velocidade SQ: velocidade de movimento contra  $V_1$ load para o agachamento.

A Figura 4 mostra graficamente os resultados em função do tempo para todas os desfechos principais.

Figura 4 – Alterações nas propriedades biomecânicas, resposta metabólica, dano muscular e PSE no TRF comparado ao TRNF.



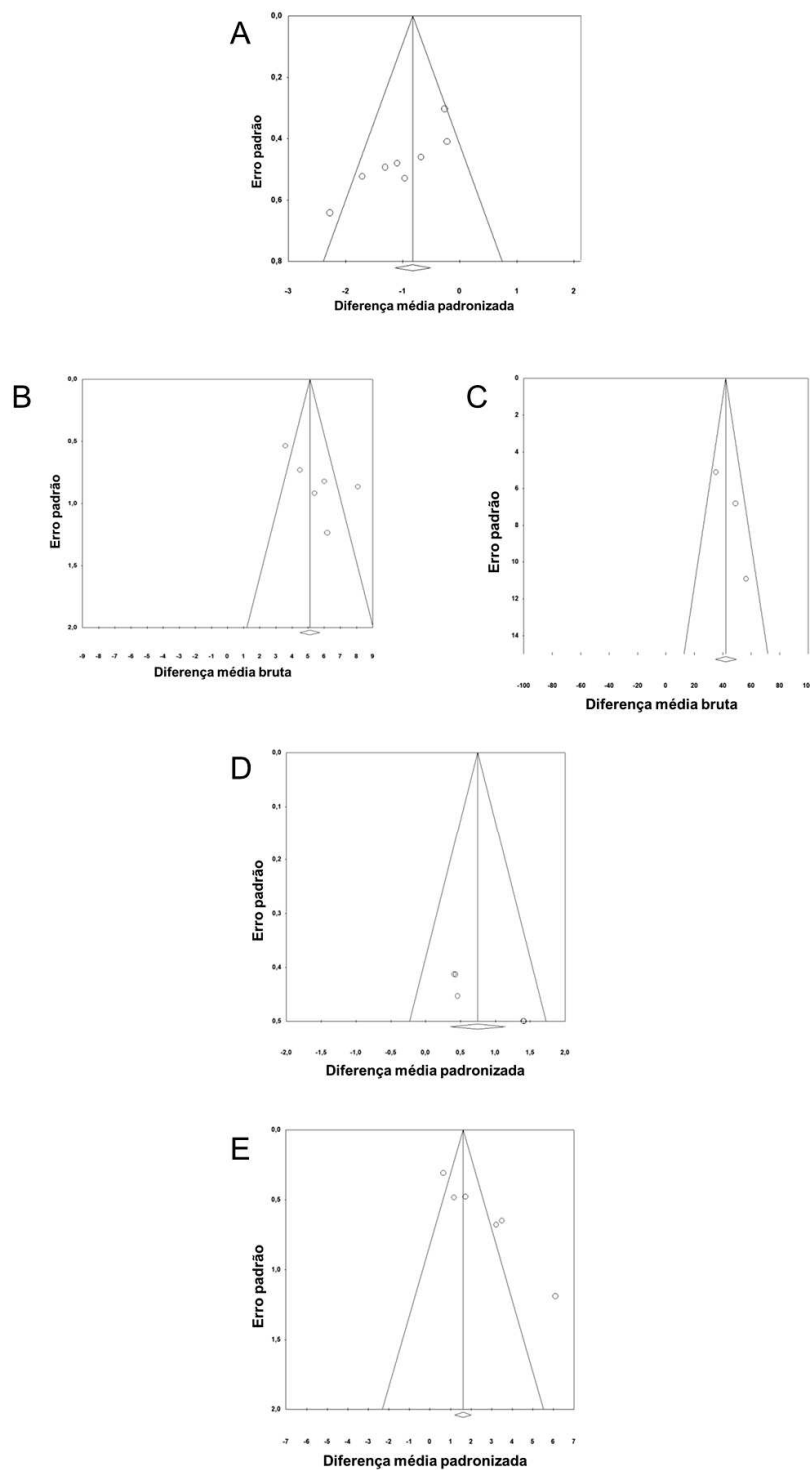
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Nota: RMD: diferença média bruta; PSE: percepção subjetiva de esforço; SMD: diferença média padronizada; TRF: treinamento resistido realizado para falha muscular; TRNF: treinamento resistido não realizado para falha muscular.

## 7.5 VIÉS DE PUBLICAÇÃO E QUALIDADE DA EVIDÊNCIA

O teste de *Egger* não mostrou risco significativo de viés de publicação na principal meta-análise da resposta metabólica ( $p = 0,10$ ). No entanto, foi encontrado um significativo viés de publicação na principal meta-análise das propriedades biomecânicas ( $p = 0,003$ ), dano muscular ( $p = 0,02$ ) da PSE ( $p = 0,001$ ). A figura 5 mostra o gráfico funil de todas as meta-análises principais.

Figura 5 – Viés de publicação nas propriedades biomecânicas, resposta metabólica (lactato e amônia), dano muscular e PSE no TRF comparado ao TRNF.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: A: viés de publicação para propriedades biomecânicas; B e C: viés de publicação para resposta metabólica (lactato e amônia); D: viés de publicação para o dano muscular; E: viés de publicação para percepção subjetiva de esforço.

A Tabela 4 mostra a qualidade da evidência (GRADE), em que foi encontrada uma muito baixa qualidade da evidência para a meta-análise das propriedades biomecânicas e da PSE (GRADE *score* = 1) e baixa qualidade da evidência para a meta-análise da resposta metabólica e dano muscular (GRADE *score* = 2).

Tabela 4 - Resumo dos resultados da meta-análise e qualidade da evidência.

Desfechos	Resumo dos achados		Qualidade da evidência (GRADE)							
	<i>k</i>	<i>n</i>	Efeito [95% IC]	Direção do efeito comparado ao TRNF	Risco de viés	Inconsistência	Evidência indireta	Imprecisão	Viés de publicação	Qualidade geral
Propriedades biomecânicas	7	78	-1,08 [-1,58; -0,57]	↓	Nenhuma limitação	-1	Nenhuma evidência indireta	-1	-1	Muito baixa
Resposta metabólica	6	60	5,54 [4,16; 6,92]	↑	Nenhuma limitação	-1	Nenhuma evidência indireta	-1	Nenhum viés de publicação	Baixa
Dano muscular	4	42	190,16 [100,65; 279,66]	↑	Nenhuma limitação	Nenhuma inconsistência importante	Nenhuma evidência indireta	-1	-1	Baixa
PSE	6	74	2,47 [1,25; 3,68]	↑	Nenhuma limitação	-1	Nenhuma evidência indireta	-1	-1	Muito baixa

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Nota: IC: intervalo de confiança; K: número de estudos; *n*: dimensão amostral; PSE: percepção subjetiva de esforço.

## 8 DISCUSSÃO

O presente estudo objetivou comparar o TRF com o TRNF sobre a fadiga aguda em homens adultos. Entre as principais descobertas da revisão sistemática, demonstramos um prejuízo significativo no desempenho das propriedades biomecânicas e maior aumento da resposta metabólica, dano muscular e PSE após o TRF comparado ao TRNF. Além disso, um maior declínio foi observado no teste de velocidade para membros superiores e um maior aumento na concentração da amônia no TRF comparado ao TRNF. Não houve nenhuma outra diferença significativa entre as diferentes categorias da análise de subgrupos.

### 8.1 PROPRIEDADES BIOMECÂNICAS

Talvez os diferentes tempos de movimento expliquem o maior comprometimento neuromuscular ocasionado pelo TRF. O tempo de movimento é um indicador de esforço correspondente à soma total dos componentes concêntricos, excêntricos e isométricos de uma repetição, referindo-se ao período em que o músculo sofre uma ação por meio de uma carga externa durante as séries de um exercício (WILK et al., 2020). Embora nenhum dos estudos incluídos nesta meta-análise tenha equalizado o tempo de movimento ou, pelo menos, tenha-o reportado (FONSECA et al., 2020; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2021; LINNAMO et al., 1998; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020; PAREJA-BLANCO et al., 2019; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011; SHIBATA et al., 2019), o maior número de repetições, principalmente o maior número de ações concêntricas realizadas no TRF, tem sido fator determinante para aumentar a fadiga muscular (WILK et al., 2021).

Um prolongado tempo de movimento associado com o TRF causa um significativo aumento nas concentrações sanguíneas de lactato e amônia que, por sua vez, está associado a mecanismos periféricos da fadiga (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010). Em geral, o aumento na concentração de marcadores metabólicos leva a uma redução do desempenho, pois indica uma utilização considerável do metabolismo glicolítico láctico como fonte primária de energia, que provavelmente está associada à redução da adenosina trifosfato intramuscular, o que compromete a força, a velocidade de movimento e a

potência muscular (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010; IGLESIAS-SOLER et al., 2012; PÁRRAGA-MONTILLA et al., 2020).

Uma interação complexa entre mecanismos centrais (por exemplo, redução do *drive* neural) e periféricos (por exemplo, acumulação de íons de hidrogênio no músculo) da fadiga com o TRF influencia diretamente o potencial do sistema muscular para realizar trabalho (GANDEVIA, 1998; IZQUIERDO et al., 2009; KENT-BRAUN; LE BLANC, 1996; ZAJAC et al., 2015). Um estudo recente não mostrou diferença na fadiga central entre TRF e TRNF quando realizado o agachamento com carga de 10RM (GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2021). Por outro lado, estudos anteriores mostraram uma correlação entre o aumento da fadiga periférica e a diminuição do desempenho (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010). TRF pode levar a uma redução na atividade da enzima ATPase e liberação/recaptação de cálcio do retículo sarcoplasmático (LEPPIK et al., 2004) e, portanto, uma maior redução nas propriedades biomecânicas no TRF comparado ao TRNF pode ser explicada pela fadiga periférica (GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2021; GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014).

Salienta-se que não foram encontradas diferenças entre as diferentes categorias de subgrupos para as propriedades biomecânicas, exceto nos diferentes testes analisados (CMJ, CIVM, velocidade BP e velocidade SQ), pois um significativo declínio no desempenho ( $p < 0,001$ ) foi encontrado no teste de velocidade BP (MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020; PAREJA-BLANCO et al., 2019; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011). Outro aspecto interessante foi que somente o teste de velocidade BP foi realizado nos membros superiores. A maior redução no desempenho dos músculos dos membros superiores pode refletir a maior taxa de diminuição na velocidade média relativa (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; PAREJA-BLANCO et al., 2016). Izquierdo et al. (2006) observaram que a diminuição da velocidade de movimento no supino reto ocorreu quando o número de repetições ultrapassou 34% do total realizado, no entanto a velocidade de movimento só diminuiu no agachamento quando 48% das repetições foram realizadas. Além disso, a velocidade de movimento alcançada durante a última repetição foi significativamente mais elevada no agachamento do que no supino reto. Outros possíveis fatores que levam a diferentes graus de fadiga entre os músculos dos membros superiores e inferiores podem estar associados a diferentes níveis de força máxima, distribuição das fibras musculares, tamanho muscular

(BAUMERT et al., 2021; LEXELL et al., 1983), mecânica muscular (i.e. comprimento e ângulo de penação muscular) e as diferenças funcionais dos músculos (GÜLCH, 1994).

O presente resultado meta-analítico para as propriedades biomecânicas pode fornecer importantes nuances sobre as adaptações a longo prazo. Em geral, a maior fadiga aguda após TRF não parece ser o principal fator para induzir a maiores ganhos de força máxima, hipertrofia muscular e potência (DAVIES et al., 2016a; b; GRGIC et al., 2021; VIEIRA et al., 2021). Entretanto, Vieira et al. (2021) observaram em suas análises de sensibilidade que houve um aumento significativo dos membros inferiores para a força máxima no TRNF comparado ao TRF quando o volume de treino foi equalizado. Por outro lado, foi observada uma maior hipertrofia muscular nos membros superiores após TRF (VIEIRA et al., 2021). Podemos especular que as diferentes respostas à fadiga aguda nos diferentes segmentos corporais observadas em nossas análises exploratórias podem explicar os resultados acima mencionados. Portanto, é necessário cautela, pois outra meta-análise recente não observou diferenças na força máxima e hipertrofia muscular nos diferentes segmentos do corpo (GRGIC et al., 2021). Alguns aspectos devem ser levados em consideração, tais como a divergência em alguns estudos incluídos nessas meta-análises que afetam as estimativas agrupadas.

## 8.2 RESPOSTA METABÓLICA

Uma possível explicação para o aumento da resposta metabólica no TRF comparado ao TRNF é que TRF exija um esforço máximo (ARENT et al., 2005; HISCOCK et al., 2015; MCGUIGAN et al., 2004; SHIBATA et al., 2019; VASQUEZ et al., 2013) que aumenta as concentrações de lactato muscular (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; GOROSTIAGA et al., 2010). Uma relação positiva entre o lactato muscular e o lactato sanguíneo ( $r = 0,90$ ) (GOROSTIAGA et al., 2014) explica a maior concentração de lactato sanguíneo após TRF comparado ao TRNF encontrada em nossa meta-análise. O aumento nas concentrações de lactato sanguíneo é uma resposta fisiológica à acidificação do meio interno, um processo decorrente do aumento dos íons hidrogênio e concomitante redução do *pH* sanguíneo (CAIRNS, 2006; GLADDEN, 2004) que reduz a função muscular pelos seguintes mecanismos: (1) redução na transição da ponte cruzada do estado de



baixa para o estado de alta resistência; (2) inibição da velocidade de encurtamento dos sarcômeros; (3) inibição da ATPase miofibrilar; (4) inibição da taxa glicolítica; (5) redução na ativação da ponte cruzada inibindo competitivamente a ligação de cálcio a troponina C; e (6) redução na captação de cálcio inibindo a ATPase sarcoplasmática (levando a uma posterior redução na liberação de cálcio) (CAIRNS, 2006; GLADDEN, 2004). Gorostiaga et al. (2014) observaram que o pico de potência durante o *leg press* começa a diminuir após a potência gerada durante as duas primeiras repetições (100%), quando a concentração de lactato sanguíneo excede  $\sim 5\text{-}6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Considerando que o protocolo TRNF atingiu um pico na concentração de lactato de  $4,0 \pm 1,3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  comparado a  $9,8 \pm 2,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  do protocolo TRF, parece evidente que o desempenho neuromuscular seja mais afetado durante o protocolo TRF.

A análise de subgrupo mostrou um aumento significativo na concentração sanguínea de amônia no TRF comparado ao TRNF. De fato, tem sido relatado que o TRF leva a uma alta demanda energética e a um importante esgotamento das purinas musculares, enquanto o TRNF permite a manutenção da homeostase celular (GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2014; SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011). Durante o exercício de alta intensidade e durante a falha muscular, existe uma diminuição na capacidade de refosforilação da adenosina difosfato associada a uma elevada taxa de *turnover* da adenosina trifosfato, que parece ser uma característica importante das condições que resultam numa concentração reduzida de adenosina trifosfato muscular, ocasionando um aumento estequiométrico na desaminação de adenosina monofosfato para inosina monofosfato e amônia (GOROSTIAGA et al., 2014; JANSSON et al., 1987). Curiosamente, assim como o lactato sanguíneo, existe também uma associação entre o declínio do pico de potência e a elevação na concentração de amônia sanguínea, a partir de  $\sim 40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $r = -0,87$ ) (GOROSTIAGA et al., 2014). A curva de associação entre variáveis metabólicas e cinemáticas foi recentemente reportada em exercícios de membros superiores e inferiores, mostrando que a amônia sanguínea só começa a aumentar acima dos valores de repouso quando há uma perda considerável na velocidade de movimento (acima  $\sim 30\%$  para o agachamento e  $\sim 35\%$  para o supino reto) (SÁNCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011).

### 8.3 DANO MUSCULAR

A respeito do curso temporal do dano muscular, apesar de ambos os protocolos TRF e TRNF aumentarem os níveis de creatina quinase imediatamente e 24h após o exercício, não foi encontrada diferença entre os protocolos. Entretanto, houve um maior dano muscular 48h após o exercício no TRF comparado ao TRNF, que parece ser causado por um aumento adicional do dano muscular induzido por TRF, enquanto o dano induzido por TRNF já começa a declinar.

Em teoria, o maior número de repetições realizadas no TRF em comparação com TRNF aumenta o número de ações excêntricas e concêntricas, o que é conhecido por aumentar o dano muscular (KANG et al., 2018). De fato, maiores danos musculares ocorrem com maior número de repetições, independentemente de serem realizados para falha muscular (MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020). Apesar do volume equalizado para os protocolos TRF e TRNF, o maior dano muscular foi observado no TRF (MORÁN-NAVARRO et al., 2017), reforçando que as repetições mais próximas da falha muscular podem ser críticas para o aumento do dano muscular. Apesar de não ter havido dados suficientes para uma meta-análise contínua do dano muscular 48h após o exercício, Morán-Navarro et al. (2017) reportaram que já não foi encontrado dano muscular 72h após o exercício em homens jovens altamente treinados.

Alguns fatores confundidores, como a variabilidade interindividual dos níveis de creatina quinase (CLARKSON; HUBAL, 2002; KOCH et al., 2014) e o efeito protetor (CHEN et al., 2019), fatores, que por sua vez, podem mascarar uma pronunciada lesão tecidual, causando severas consequências para a saúde (HUBAL et al., 2010; O'CONNOR et al., 2008; RAWSON et al., 2017). Desta forma, outros marcadores de dano muscular, tais como dor muscular, perda transitória da força muscular e inflamação local, devem ser considerados numa avaliação abrangente dos tecidos. Infelizmente, o presente estudo não explorou outros marcadores de lesão muscular; no entanto, a creatina quinase é um marcador indireto de dano muscular de custo relativamente baixo e de simples análise (KOCH et al., 2014).

Vale ressaltar que nem sempre os níveis elevados de creatina quinase sanguínea indicam uma deficiência de desempenho. Çakir-Atabek et al. (2019), mostraram que, após 60 contrações excêntricas voluntárias máximas dos flexores do cotovelo, o declínio da força estava associado a um ambiente de maior estresse

oxidativo. Especificamente, este ambiente mais oxidativo foi caracterizado por um aumento na oxidação da proteína carbonilada, aumento do estado oxidativo total e aumento do índice de estresse oxidativo (estado oxidante/estado antioxidante), e não ocorreu associação com os níveis de creatina quinase sanguínea. Entretanto, levando em consideração nossos resultados e a falta de estudos que avaliassem o curso da resposta da creatina quinase por um período maior que 48h após o exercício, parece prudente dar uma recuperação mínima de 48h antes da realização das próximas sessões de TR, principalmente quando a sessão de treino é para a falha muscular.

#### 8.4 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO

O maior *score* da PSE no TRF pode ser causado pela fadiga geral, fadiga muscular, estresse cardiovascular e dor (EMANUEL et al., 2020). Especificamente, outros desfechos avaliados no presente estudo foram associados a PSE em estudos anteriores, como a maior concentração sanguínea de lactato (KRAEMER et al., 1987) e menor potência de saída (HARDEE et al., 2012). Entretanto, existe uma importante associação entre fadiga mental e tolerância ao exercício (MARCORA et al., 2009), o que sugere que a maior ansiedade, cansaço e tensão observados no protocolo TRF podem ser causas de maior *score* da PSE quando comparado ao TRNF.

As variáveis agudas que regulam os *scores* da PSE após treinamento resistido não são claras. Estudos anteriores propuseram que a resposta da PSE no treinamento resistido é principalmente afetada pela carga (relativa ou absoluta) e volume de treinamento (HISCOCK et al., 2015; SWEET et al., 2004). Entretanto, outros estudos demonstraram que a falha muscular leva a *scores* de PSE mais elevados independentemente da carga e do volume de treino (FISHER et al., 2017; MARTORELLI et al., 2021). Fisher et al. (2017) demonstraram que, independentemente da carga utilizada (alta ou baixa), todos os indivíduos reportaram *scores* máximos de PSE em cada série e sessão de TR; contudo, os graus de desconforto foram diferentes entre as intensidades, sugerindo que a falha muscular exigida nas séries determinou a PSE.

Em resumo, nosso resultado meta-analítico para PSE pode ser devido a uma maior fadiga, ao estresse mental e principalmente devido ao esforço máximo exigido no TRF. O fato dos estudos relacionarem os *scores* máximos de PSE com a

incapacidade de realizar um exercício com o máximo esforço (FISHER et al., 2017) e as características dos protocolos de TRNF incluídos na nossa análise foram os principais fatores contribuintes da grande diferença média padronizada encontrada em nossa análise.

## 8.5 PESQUISAS FUTURAS

Embora o número total de estudos incluídos nesta meta-análise tenha sido relativamente elevado, há uma falta de investigação, incluindo participantes altamente treinados, que seriam os mais prováveis para métodos avançados de treinamento resistido que necessitam de estudos futuros. A investigação futura deve também comparar o TRF com o menor número de repetições em reserva nos protocolos TRNF e equalizar o tempo de movimento utilizado (WILK et al., 2018; WILK et al., 2021) com o controle do tempo sob tensão durante os protocolos TRF (WILK et al., 2020), para melhor isolar os efeitos provenientes dos estímulos de falha muscular propriamente ditos. Uma vez que apenas um estudo descreveu o curso da fadiga aguda até 72h (MORÁN-NAVARRO et al., 2017) e nenhum deles avaliou os resultados por períodos mais longos, há necessidade de mais esclarecimentos sobre a duração dos efeitos do TRF no corpo humano. Além disso, considerando que os protocolos TRF podem exigir intervalos de tempo mais longos entre as sessões (frequência mais baixa) para uma recuperação completa em comparação com os protocolos TRNF, estudos futuros devem investigar se estes protocolos ajustados pela frequência, podem induzir diferentes respostas neurais e morfológicas a longo prazo.

## 8.6 LIMITAÇÕES

A presente revisão sistemática com meta-análise combinou dados de diferentes estudos, com o objetivo de sumarizar o verdadeiro efeito da diferença entre os protocolos TF e TNF sobre a fadiga. Estes estudos não definiram a falha muscular utilizando um mesmo critério e compararam protocolos com diferentes números de repetições que poderiam afetar seu efeito sumarizado.

A moderada para alta inconsistência entre os estudos (propriedades biomecânicas -  $I^2 = 54,17\%$ ; resposta metabólica -  $I^2 = 77,92\%$ ; e RPE -  $I^2 = 87,11\%$ )

sugere algumas consideráveis diferenças entre os estudos. Entretanto, a análise de subgrupo foi realizada para isolar essas diferenças e esclarecer a causa dos diferentes efeitos.

Isto é importante para enfatizar um erro comum em muitas meta-análises: a sobreposição amostral. Na presente revisão sistemática, reportamos múltiplas publicações baseadas nos mesmos dados e diferentes análises para os mesmos participantes (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2016; GOROSTIAGA et al., 2012; GOROSTIAGA et al., 2010; LINNAMO et al., 2005; PAREJA-BLANCO et al., 2016). Portanto, nós não repetimos os resultados para os mesmos indivíduos nas análises principais, seguindo para uma informação com grande robustez, apesar de terem sido devidamente analisados secundariamente em análises de subgrupos.

## 9 CONCLUSÃO

Em resumo, os resultados da presente revisão sistemática e meta-análise mostraram que o TRF causou um maior aumento de todos os marcadores de fadiga aguda em homens adultos saudáveis quando comparados ao TRNF, o que inclui declínio das propriedades biomecânicas, aumento da resposta metabólica, dano muscular e PSE. Nossas descobertas permitem uma compreensão abrangente sobre o curso temporal da fadiga aguda, que é fundamental para uma prescrição adequada do TRF. Os efeitos das respostas de fadiga exacerbadas e a sugestiva necessidade de um intervalo mais longo entre as sessões de treinamento resistido para uma recuperação completa necessitam de mais atenção ao delineamento apropriado do TR. Em Particular, a frequência do TRF deve ser levada em conta, considerando que uma recuperação incompleta aumentaria o risco de lesões, *overtraining* e *burnout* psicológico, o que também poderia prejudicar as adaptações de treino a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 3, p. 687-708, 2009.
- ARENT, S. et al. Dose-response and mechanistic issues in the resistance training and affect relationship. **J Sport Exerc Psychol**, v. 27, p. 92-110, 2005.
- ASHTON, R. E. et al. 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**, v. 54, n. 6, p. 341-348, 2020.
- ATKINS, D. et al. Grading quality of evidence and strength of recommendations. **Bmj**, v. 328, n. 7454, p. 1490, 2004.
- BAUMERT, P. et al. Neuromuscular fatigue and recovery after strenuous exercise depends on skeletal muscle size and stem cell characteristics. **Sci Rep**, v. 11, n. 1, p. 7733, 2021.
- BAX, L. et al. A systematic comparison of software dedicated to meta-analysis of causal studies. **BMC Med Res Methodol**, v. 7, p. 40, 2007.
- BIGLAND-RITCHIE, B. et al. Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. **Clin Sci Mol Med**, v. 54, n. 6, p. 609-614, 1978.
- BIRD, S. P.; TARPENNING, K. M.; MARINO, F. E. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. **Sports Med**, v. 35, n. 10, p. 841-851, 2005.
- BORENSTEIN, M. et al. A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. **Res Synth Methods**, v. 1, n. 2, p. 97-111, 2010.
- BROWN, P. et al. How to formulate research recommendations. **Bmj**, v. 333, n. 7572, p. 804-806, 2006.
- CAIRNS, S. P. Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? **Sports Med**, v. 36, n. 4, p. 279-291, 2006.

ÇAKIR-ATABEK, H.; DOKUMACI, B.; AYGÜN, C. Strength loss after eccentric exercise is related to oxidative stress but not muscle damage biomarkers. **Res Q Exerc Sport**, v. 90, n. 3, p. 385-394, 2019.

CHEN, T. C. et al. Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. **Scand J Med Sci Sports**, v. 29, n. 5, p. 725-735, 2019.

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

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

COSTA, D. et al. Performing repetitions to failure in lower-limb single-joint exercise does not reduce countermovement jump performance in trained male adults. **J Hum Kinet**, v. 78, p. 209-217, 2021.

COUNTS, B. R. et al. The acute and chronic effects of "NO LOAD" resistance training. **Physiol Behav**, v. 164, n. Pt A, p. 345-352, 2016.

CUNANAN, A. J. et al. The general adaptation syndrome: a foundation for the concept of periodization. **Sports Med**, v. 48, n. 4, p. 787-797, 2018.

DAVIES, T. et al. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. **Sports Med**, v. 46, n. 4, p. 487-502, 2016a.

DAVIES, T. et al. Erratum to: effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. **Sports Med**, v. 46, n. 4, p. 605-610, 2016b.

DEBOLD, E. P.; BECK, S. E.; WARSHAW, D. M. Effect of low pH on single skeletal muscle myosin mechanics and kinetics. **Am J Physiol Cell Physiol**, v. 295, n. 1, p. C173-179, 2008.

DINYER, T. K. et al. Low-Load vs. High-Load Resistance Training to Failure on One Repetition Maximum Strength and Body Composition in Untrained Women. **J Strength Cond Res**, v. 33, n. 7, p. 1737-1744, 2019.

DRINKWATER, E. J. et al. Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. **J Strength Cond Res**, v. 19, n. 2, p. 382-388, 2005.

EGGER, M. et al. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. **Bmj**, v. 315, n. 7109, p. 629-634, 1997.

EMANUEL, A.; SMUKAS, I.; HALPERIN, I. An analysis of the perceived causes leading to task-failure in resistance-exercises. **PeerJ**, v. 8, p. e9611, 2020.

FISHER, J. P.; IRONSIDE, M.; STEELE, J. Heavier and lighter load resistance training to momentary failure produce similar increases in strength with differing degrees of discomfort. **Muscle Nerve**, v. 56, n. 4, p. 797-803, 2017.

FONSECA, F. S. et al. Acute effects of equated volume-load resistance training leading to muscular failure versus non-failure on neuromuscular performance. **J Exerc Sci Fit**, v. 18, n. 2, p. 6, 2020.

FRY, A. C.; KRAEMER, W. J. Resistance exercise overtraining and overreaching. Neuroendocrine responses. **Sports Med**, v. 23, n. 2, p. 106-129, 1997.

GANDEVIA, S. C. Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, motoneurons and motor cortical drive [corrected]. **Acta Physiol Scand**, v. 162, n. 3, p. 275-283, 1998.

GANTOIS, P. et al. Acute effects of muscle failure and training system (traditional vs. rest-pause) in resistance exercise on countermovement jump performance in trained adults. **Isokinet Exerc Sci**, v. 29, n. 1, p. 11-20, 2021.

GLADDEN, L. B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. **J Physiol**, v. 558, n. Pt 1, p. 5-30, 2004.

GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. et al. Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. **Int J Sports Med**, v. 37, n. 4, p. 295-304, 2016.

GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, J. M. et al. Resistance training to failure vs. not to failure: acute and delayed markers of mechanical, neuromuscular, and biochemical fatigue. **J Strength Cond Res**, v. 35, n. 4, p. 886-893, 2021.

GOROSTIAGA, E. M. et al. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. **PLoS One**, v. 7, n. 7, p. e40621, 2012.

GOROSTIAGA, E. M. et al. Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 10, p. 2775-2785, 2014.



GOROSTIAGA, E. M. et al. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. **PLoS One**, v. 5, n. 10, p. e13486, 2010.

GRGIC, J. et al. 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**, v. 2021.

GÜLCH, R. W. Force-velocity relations in human skeletal muscle. **Int J Sports Med**, v. 15 Suppl 1, p. S2-10, 1994.

HARDEE, J. P. et al. Effect of inter-repetition rest on ratings of perceived exertion during multiple sets of the power clean. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 8, p. 3141-3147, 2012.

HIGGINS, J. P. et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. **Bmj**, v. 343, p. d5928, 2011.

HIGGINS, J. P. et al. Measuring inconsistency in meta-analyses. **Bmj**, v. 327, n. 7414, p. 557-560, 2003.

HISCOCK, D. J.; DAWSON, B.; PEELING, P. Perceived exertion responses to changing resistance training programming variables. **J Strength Cond Res**, v. 29, n. 6, p. 1564-1569, 2015.

HUBAL, M. J. et al. CCL2 and CCR2 polymorphisms are associated with markers of exercise-induced skeletal muscle damage. **J Appl Physiol (1985)**, v. 108, n. 6, p. 1651-1658, 2010.

IGLESIAS-SOLER, E. et al. Acute effects of distribution of rest between repetitions. **Int J Sports Med**, v. 33, n. 5, p. 351-358, 2012.

IZQUIERDO, M. et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. **Int J Sports Med**, v. 27, n. 9, p. 718-724, 2006.

IZQUIERDO, M. et al. Neuromuscular fatigue after resistance training. **Int J Sports Med**, v. 30, n. 8, p. 614-623, 2009.

JANSSON, E. et al. ATP and IMP in single human muscle fibres after high intensity exercise. **Clin Physiol**, v. 7, n. 4, p. 337-345, 1987.

JUKIC, I. et al. Acute effects of cluster and rest redistribution set structures on mechanical, metabolic, and perceptual fatigue during and after resistance training: a systematic review and meta-analysis. **Sports Med**, v. 50, n. 12, p. 2209-2236, 2020.

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**, v. 14, n. 6, p. 1080-1084, 2018.

KARSTEN, B. et al. Impact of two high-volume set configuration workouts on resistance training outcomes in recreationally trained men. **J Strength Cond Res**, v. 35, n. Suppl 1, p. 136-143, 2021.

KENT-BRAUN, J. A.; LE BLANC, R. Quantitation of central activation failure during maximal voluntary contractions in humans. **Muscle Nerve**, v. 19, n. 7, p. 861-869, 1996.

KOCH, A. J.; PEREIRA, R.; MACHADO, M. The creatine kinase response to resistance exercise. **J Musculoskelet Neuronal Interact**, v. 14, n. 1, p. 68-77, 2014.

KRAEMER, W. J. et al. Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. **Int J Sports Med**, v. 8, n. 4, p. 247-252, 1987.

KRAEMER, W. J. et al. Understanding the science of resistance training: an evolutionary perspective. **Sports Med**, v. 47, n. 12, p. 2415-2435, 2017.

LEPPIK, J. A. et al. Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca<sup>2+</sup> release, and Ca<sup>2+</sup> uptake. **J Appl Physiol**, v. 97, n. 4, p. 1414-1423, 2004.

LEXELL, J. et al. Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross sections. **Muscle Nerve**, v. 6, n. 8, p. 588-595, 1983.

LIBERATI, A. et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **PLoS Med**, v. 6, n. 7, p. e1000100, 2009.

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

LINNAMO, V. et al. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. **J Strength Cond Res**, v. 19, n. 3, p. 566-571, 2005.

MACINTOSH, B. R.; RASSIER, D. E. What is fatigue? **Can J Appl Physiol**, v. 27, n. 1, p. 42-55, 2002.

MARCORA, S. M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 106, n. 3, p. 857-864, 2009.

MARTORELLI, A. S. et al. The interplay between internal and external load parameters during different strength training sessions in resistance-trained men. **Eur J Sport Sci**, v. 21, n. 1, p. 16-25, 2021.

MCGUIGAN, M. R.; EGAN, A. D.; FOSTER, C. Salivary cortisol responses and perceived exertion during high intensity and low intensity bouts of resistance exercise. **J Sports Sci Med**, v. 3, n. 1, p. 8-15, 2004.

MCLESTER, J. R. et al. A series of studies - a practical protocol for testing muscular endurance recovery. **J Strength Cond Res**, v. 17, n. 2, p. 259-273, 2003.

MORÁN-NAVARRO, R. et al. Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. **Eur J Appl Physiol**, v. 117, n. 12, p. 2387-2399, 2017.

MORTON, R. W. et al. Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. **J Appl Physiol (1985)**, v. 121, n. 1, p. 129-138, 2016.

O'CONNOR, F. G. et al. Return to physical activity after exertional rhabdomyolysis. **Curr Sports Med Rep**, v. 7, n. 6, p. 328-331, 2008.

OGASAWARA, R. et al. Low-load bench press training to fatigue results in muscle hypertrophy similar to high-load bench press training. **Int J Clin Med**, v. 4, n. 02, p. 114, 2013.

PAREJA-BLANCO, F. et al. Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. **J Strength Cond Res**, v. 34, n. 10, p. 2867-2876, 2020.

PAREJA-BLANCO, F.; RODRÍGUEZ-ROSELL, D.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. Time course of recovery from resistance exercise before and after a training program. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 59, n. 9, p. 1458-1465, 2019.

PAREJA-BLANCO, F. et al. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 37, n. 6, p. 630-639, 2016.

PÁRRAGA-MONTILLA, J. A. et al. Acute and delayed effects of a resistance training session leading to muscular failure on mechanical, metabolic, and perceptual responses. **J Strength Cond Res**, v. 34, n. 8, p. 2220-2226, 2020.

RAASTAD, T.; BJØRO, T.; HALLÉN, J. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 82, n. 1-2, p. 121-128, 2000.

RAWSON, E. S.; CLARKSON, P. M.; TARNOPOLSKY, M. A. Perspectives on exertional rhabdomyolysis. **Sports Med**, v. 47, n. Suppl 1, p. 33-49, 2017.

SÁNCHEZ-MEDINA, L.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 9, p. 1725-1734, 2011.

SANTOS, W. D. N. et al. 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**, v. 2019.

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

SHIBATA, K. et al. 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**, v. 2019.

SPIERING, B. A. et al. Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. **Sports Med**, v. 38, n. 7, p. 527-540, 2008.

STEELE, J. et al. Clarity in reporting terminology and definitions of set endpoints in resistance training. **Muscle Nerve**, v. 56, n. 3, p. 368-374, 2017.

SUCHOMEL, T. J. et al. The importance of muscular strength: training considerations. **Sports Med**, v. 48, n. 4, p. 765-785, 2018.

SWEET, T. W. et al. Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 4, p. 796-802, 2004.

VAN DEN TILLAAR, R.; ETTEMA, G. A comparison of successful and unsuccessful attempts in maximal bench pressing. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 11, p. 2056-2063, 2009.

VASQUEZ, L. M. et al. Effect of resistance exercise performed to volitional failure on ratings of perceived exertion. **Percept Mot Skills**, v. 117, n. 3, p. 881-891, 2013.

VIEIRA, A. F. et al. 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**, v. 35, n. 4, p. 1165-1175, 2021.

VØLLESTAD, N. K. Measurement of human muscle fatigue. **J Neurosci Methods**, v. 74, n. 2, p. 219-227, 1997.

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

WILK, M. et al. Does tempo of resistance exercise impact training volume? **J Hum Kinet**, v. 62, p. 241-250, 2018.

WILK, M.; TUFANO, J. J.; ZAJAC, A. The influence of movement tempo on acute neuromuscular, hormonal, and mechanical responses to resistance exercise - a mini review. **J Strength Cond Res**, v. 34, n. 8, p. 2369-2383, 2020.

WILK, M.; ZAJAC, A.; TUFANO, J. J. The influence of movement tempo during resistance training on muscular strength and hypertrophy responses: a review. **Sports Med**, v. 2021.

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

WILLARDSON, J. M.; NORTON, L.; WILSON, G. Training to failure and beyond in mainstream resistance exercise programs. **Strength Condit J**, v. 32, n. 3, p. 21-29, 2010.


ZAJAC, A. et al. Central and peripheral fatigue during resistance exercise - a critical review. **J Hum Kinet**, v. 49, p. 159-169, 2015.


## APÊNDICE A - Resumo gráfico

### Sports Medicine

#### Efeitos do treinamento resistido para falha muscular sobre a fadiga aguda: uma revisão sistemática e meta-análise

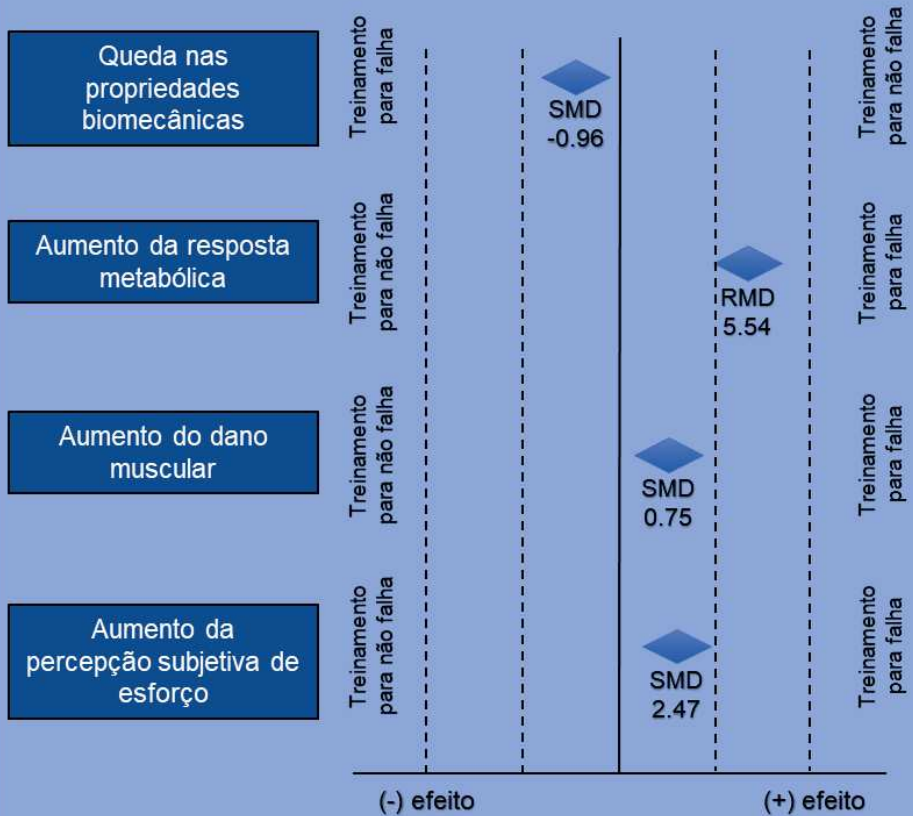
Vieira, JG; Sardeli, AV; Dias, MR; Filho, JE; Campos, Y; Sant'Ana, L; Leitão, L; Reis, V; Wilk, M; Novaes, J; Vianna, J

 20 estudos incluídos na revisão sistemática  
Busca feita em janeiro de 2021  
Somente estudos com delineamento cruzado

 13 estudos incluídos na meta-análise  
Meta-análise de efeito fixo ou randômico



Treinamento para falha      Treinamento para não falha



Em resumo, TRF comparado a TRNF levou a uma maior diminuição das propriedades biomecânicas e a um aumento simultâneo da resposta metabólica, dano muscular e PSE. As análises exploratórias sugeriram uma maior diminuição no teste de velocidade de movimento dos membros superiores em comparação com os membros inferiores, bem como um dano muscular mais pronunciado 48h após a sessão de TRF em comparação com TRNF. Portanto, conclui-se que o TRF leva a uma maior fadiga aguda em comparação com o TRNF. A maior fadiga aguda após o TRF pode também ter um impacto importante nos processos adaptativos a longo prazo. Além disso, a maior fadiga aguda pode prolongar o tempo necessário para a recuperação do que deve ser considerado quando o TRF é utilizado.

## APÊNDICE B - Sintaxe da estratégia de busca

### **Cumulative Index to Nursing and Allied Health (CINAHL)**

Atualizado em janeiro de 2021

Filtros: idioma (inglês); periódicos acadêmicos

Resultados: 302 artigos

Estratégia de busca: ( (“resistance training” OR “resistance exercise” OR “strength training” OR “strength exercise” OR “weight training” OR “weight exercise” OR “weightlifting” OR “weight-lifting” OR “weight lifting”) ) AND ( (“repetition failure” OR “repetition to failure” OR “repetitions to failure” OR “muscle failure” OR “muscular failure” OR “momentary failure” OR “failure” OR “failure training” OR “nonfailure” OR “non-failure” OR “not to failure” OR “volitional interruption”) ) NOT ( (“review” OR “blood flow restriction” OR “heart failure” OR “supplement” OR “obesity”) )

### **Cochrane Library**

Atualizado em janeiro de 2021

Filtros: ensaios

Resultados: 785 artigos

Estratégia de busca: ((“resistance training” OR “resistance exercise” OR “strength training” OR “strength exercise” OR “weight training” OR “weight exercise” OR “weightlifting” OR “weight-lifting” OR “weight lifting”)) AND ((“repetition failure” OR “repetition to failure” OR “repetitions to failure” OR “muscle failure” OR “muscular failure” OR “momentary failure” OR “failure” OR “failure training” OR “nonfailure” OR “non-failure” OR “not to failure” OR “volitional interruption”)) NOT ((“review” OR “blood flow restriction” OR “heart failure” OR “supplement” OR “obesity”)) (Word variations have been searched)

### **Embase®**

Atualizado em janeiro de 2021

Filtros: artigos; humanos

Resultados: 623 artigos

Estratégia de busca: ('resistance training' OR 'resistance exercise' OR 'strength training' OR 'strength exercise' OR 'weight training' OR 'weight exercise' OR 'weightlifting' OR 'weight-lifting' OR 'weight lifting') AND ('repetition failure' OR

'repetition to failure' OR 'repetitions to failure' OR 'muscle failure' OR 'muscular failure' OR 'momentary failure' OR 'failure' OR 'failure training' OR 'nonfailure' OR 'non-failure' OR 'not to failure' OR 'volitional interruption') NOT ('review' OR 'blood flow restriction' OR 'heart failure' OR 'supplement' OR 'obesity')

### **PubMed®**

Atualizado em janeiro de 2021

Filtros: idioma (inglês); artigo de periódico

Resultados: 623 artigos

Estratégia de busca: (((("resistance training"[All Fields] OR "resistance exercise"[All Fields] OR "strength training"[All Fields] OR "strength exercise"[All Fields] OR "weight training"[All Fields] OR "weight exercise"[All Fields] OR "weightlifting"[All Fields] OR "weight-lifting"[All Fields] OR "weight-lifting"[All Fields])) AND ("repetition failure"[All Fields] OR "repetition to failure"[All Fields] OR "repetitions to failure"[All Fields] OR "muscle failure"[All Fields] OR "muscular failure"[All Fields] OR "momentary failure"[All Fields] OR "failure"[All Fields] OR "failure training"[All Fields] OR "nonfailure"[All Fields] OR "non-failure"[All Fields] OR "not to failure"[All Fields] OR "volitional interruption"[All Fields])) NOT ("review"[All Fields] OR "blood flow restriction"[All Fields] OR "heart failure"[All Fields] OR "supplement"[All Fields] OR "obesity"[All Fields])) AND (english[Filter])

### **Scopus**

Atualizado em dezembro de 2020

Filtros: idioma (inglês); artigos; publicação em estágio final

Results: 1001 artigos

Estratégia de busca: ( ALL ( "resistance training" ) OR ALL ( "resistance exercise" ) OR ALL ( "strength training" ) OR ALL ( "strength exercise" ) OR ALL ( "weight training" ) OR ALL ( "weight exercise" ) OR ALL ( "weightlifting" ) OR ALL ( "weight-lifting" ) OR ALL ( "weight lifting" ) AND ALL ( "repetition failure" ) OR ALL ( "repetition to failure" ) OR ALL ( "repetitions to failure" ) OR ALL ( "muscle failure" ) OR ALL ( "muscular failure" ) OR ALL ( "momentary failure" ) OR ALL ( "failure" ) OR ALL ( "failure training" ) OR ALL ( "nonfailure" ) OR ALL ( "non-failure" ) OR ALL ( "not to failure" ) OR ALL ( "volitional interruption" ) AND NOT ALL ( "review" ) OR ALL ( "blood flow restriction" ) OR ALL ( "heart failure" ) OR ALL (



"supplement" ) OR ALL ( "obesity" ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBSTAGE , "final" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) )

### **SPORTDiscus**

Atualizado em janeiro de 2021

Filtros: idioma (inglês)

Resultados: 525 artigos

Estratégia de busca: ( ("resistance training" OR "resistance exercise" OR "strength training" OR "strength exercise" OR "weight training" OR "weight exercise" OR "weightlifting" OR "weight-lifting" OR "weight lifting") ) AND ( ("repetition failure" OR "repetition to failure" OR "repetitions to failure" OR "muscle failure" OR "muscular failure" OR "momentary failure" OR "failure" OR "failure training" OR "nonfailure" OR "non-failure" OR "not to failure" OR "volitional interruption") ) NOT ( ("review" OR "blood flow restriction" OR "heart failure" OR "supplement" OR "obesity") )

### **Web of Science**

Atualizado em dezembro de 2021

Filtros: idioma (inglês); artigos

Resultados: 580 artigos

Estratégia de busca: All fields: (("resistance training" OR "resistance exercise" OR "strength training" OR "strength exercise" OR "weight training" OR "weight exercise" OR "weightlifting" OR "weight-lifting" OR "weight lifting")) AND All fields: (("repetition failure" OR "repetition to failure" OR "repetitions to failure" OR "muscle failure" OR "muscular failure" OR "momentary failure" OR "failure" OR "failure training" OR "nonfailure" OR "non-failure" OR "not to failure" OR "volitional interruption")) NOT All fields: (("review" OR "blood flow restriction" OR "heart failure" OR "supplement" OR "obesity"))



## ANEXO A - Registro do protocolo no *International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO)*


Register your review now

Edit your details

You have 1 records

### My other records

*These are records that have either been published or rejected and are not currently being worked on.*

ID	Title	Status	Last edited
CRD42020192336	The impact of resistance training performed or not for concentric muscle failure on fatigue: a systematic review. <i>To enable PROSPERO to focus on COVID-19 registrations during the 2020 pandemic, this registration record was automatically published exactly as submitted. The PROSPERO team has not checked eligibility.</i>	Registered	18/07/2020 

**ANEXO B - Submissão do estudo no periódico Sports Medicine****Sports Medicine****Effects of Resistance Training to Muscle Failure on Acute Fatigue: A Systematic Review and Meta-Analysis**

--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	SPOA-D-21-00005R1
<b>Full Title:</b>	Effects of Resistance Training to Muscle Failure on Acute Fatigue: A Systematic Review and Meta-Analysis
<b>Article Type:</b>	Review Article