



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

DIOGO MARTINS RIBEIRO

**ALTERAÇÕES CARDIOMETABÓLICAS,
MUSCULOESQUELÉTICAS E FUNCIONAIS ASSOCIADAS A
DOIS ANOS DE TREINAMENTO RESISTIDO EM MULHERES
IDOSAS COM MAIOR E MENOR VULNERABILIDADE
MUSCULOESQUELÉTICA**

DIOGO MARTINS RIBEIRO

**ALTERAÇÕES CARDIOMETABÓLICAS,
MUSCULOESQUELÉTICAS E FUNCIONAIS ASSOCIADAS A
DOIS ANOS DE TREINAMENTO RESISTIDO EM MULHERES
IDOSAS COM MAIOR E MENOR VULNERABILIDADE
MUSCULOESQUELÉTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Estadual de Londrina - UEL, como
requisito parcial para o Exame de Qualificação
de Mestrado em Ciências da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Edilson Serpeloni Cyrino
Coorientador: Prof. Dr. Paolo Marcello Cunha

Londrina
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Martins Ribeiro, Diogo.

ALTERAÇÕES CARDIOMETABÓLICAS, MUSCULOESQUELÉTICAS E FUNCIONAIS ASSOCIADAS A DOIS ANOS DE TREINAMENTO RESISTIDO EM MULHERES IDOSAS COM MAIOR E MENOR VULNERABILIDADE MUSCULOESQUELÉTICA / Diogo Martins Ribeiro. - Londrina, 2026.
76 f.

Orientador: Edilson Serpeloni Cyrino.

Coorientador: Paolo Marcello da Cunha Fabro.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, 2026.

Inclui bibliografia.

1. Treinamento de força - Tese. 2. Envelhecimento - Tese. 3. Biomarcadores cardiometabólicos - Tese. 4. Massa muscular - Tese. I. Serpeloni Cyrino, Edilson . II. Marcello da Cunha Fabro, Paolo. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde. IV. Título.

CDU 61

DIOGO MARTINS RIBEIRO

**ALTERAÇÕES CARDIOMETABÓLICAS,
MUSCULOESQUELÉTICAS E FUNCIONAIS ASSOCIADAS A
DOIS ANOS DE TREINAMENTO RESISTIDO EM MULHERES
IDOSAS COM MAIOR E MENOR VULNERABILIDADE
MUSCULOESQUELÉTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Estadual de Londrina - UEL,
como requisito parcial para o Exame de
Qualificação de Mestrado em Ciências da
Saúde.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edilson Serpeloni Cyrino
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Letícia Trindade Cyrino de Sousa
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Witalo Kassiano
Universidade Estadual de Londrina - UNOPAR

Londrina, 01 de setembro de 2026.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Clabes, e ao meu pai, Francisco, por todo o apoio incondicional durante esta trajetória que se mostrou particularmente desafiadora em razão da minha neurodivergência.

Ao professor Edilson e ao professor Paolo, minha sincera gratidão não apenas pela competente orientação acadêmica, mas também pela compreensão, acolhimento e respeito ao meu ritmo e às minhas particularidades ao longo desta caminhada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo imprescindível apoio financeiro que viabilizou a realização desta pesquisa.

RIBEIRO, Diogo Martins. **Alterações cardiometabólicas, musculoesqueléticas e funcionais associadas a dois anos de treinamento resistido em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética**. 2026. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde). Centro de Ciências da Saúde. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

RESUMO

A redução da massa e, particularmente, da força muscular associada ao envelhecimento pode contribuir para uma condição musculoesquelética menos favorável e coexistir com alterações cardiometabólicas e funcionais em mulheres idosas. Embora o treinamento resistido (TR) seja recomendado para atenuar alterações relacionadas ao envelhecimento, são limitadas as evidências sobre adaptações associadas à participação prolongada em programas de TR em mulheres idosas com diferentes condições musculoesqueléticas iniciais. O objetivo deste estudo foi analisar alterações cardiometabólicas, morfológicas, neuromusculares e funcionais associadas a dois anos de TR supervisionado em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética e investigar se a condição musculoesquelética inicial estaria associada à magnitude dessas alterações. Participaram 62 mulheres fisicamente independentes (≥ 60 anos), classificadas em maior vulnerabilidade musculoesquelética (MVM; $n = 32$) e menor vulnerabilidade musculoesquelética (mVM; $n = 30$) por meio de um escore-z composto derivado do índice de massa muscular esquelética apendicular e da força muscular total. Essa classificação representou uma estratificação relativa da condição musculoesquelética da amostra e não um diagnóstico clínico de sarcopenia. As participantes realizaram TR supervisionado, três vezes por semana, durante dois anos, composto por oito exercícios executados em três séries de 8–12 repetições, com progressão sistemática das cargas. Antes e após o período de acompanhamento foram avaliados indicadores de composição corporal, força muscular, aptidão funcional e fatores de risco cardiometabólico. Ambos os grupos apresentaram aumentos significantes na força muscular e melhorias na aptidão funcional ($P < 0,05$). A massa muscular esquelética e o tecido mole magro apendicular aumentaram numericamente nos dois grupos, embora as alterações tenham sido menos consistentes do que aquelas observadas para força muscular e aptidão funcional. Foram observadas reduções significantes na glicemia de jejum (MVM: $-6,6\%$; mVM: $-4,6\%$), no LDL-c (MVM: $-14,2\%$; mVM: $-9,1\%$) e no colesterol total em ambos os grupos ($P < 0,05$). Adicionalmente, reduções significantes nos triglicerídeos ($-15,3\%$) e na proteína C-reativa ($-16,1\%$) foram observadas apenas no grupo MVM; entretanto, as comparações ajustadas entre os grupos não forneceram evidências consistentes de maior responsividade desse grupo. Alterações na massa muscular esquelética e na força muscular apresentaram associações inversas de pequena magnitude com as alterações no perfil cardiometabólico. Em conjunto, dois anos de participação em TR supervisionado estiveram associados a melhorias relevantes na força muscular e aptidão funcional, acompanhadas por alterações favoráveis na composição corporal e em diferentes fatores de risco cardiometabólico de mulheres idosas com distintos níveis iniciais de vulnerabilidade musculoesquelética. Embora alguns desfechos tenham apresentado alterações significantes em apenas um dos grupos, não foram encontradas evidências consistentes de que a condição musculoesquelética inicial estivesse associada a diferenças na magnitude das adaptações. Esses achados sugerem que mulheres idosas podem apresentar adaptações favoráveis após participação prolongada em TR independentemente de sua condição musculoesquelética inicial.

Palavras-chave: treinamento de força; envelhecimento; biomarcadores cardiometabólicos; massa muscular; força muscular.

RIBEIRO, Diogo Martins. **Cardiometabolic, musculoskeletal, and functional changes associated with two years of resistance training in older women with higher and lower musculoskeletal vulnerability**. 2026. 76 p. Thesis (Master in Health Sciences) - Health Sciences Center. State University of Londrina, Londrina, 2026.

ABSTRACT

Age-related reductions in muscle mass and, particularly, muscular strength may contribute to a less favorable musculoskeletal condition and coexist with cardiometabolic and functional alterations in older women. Although resistance training (RT) is recommended to attenuate age-related changes, evidence regarding adaptations associated with prolonged participation in RT programs among older women with different baseline musculoskeletal conditions remains limited. The aim of this study was to analyze cardiometabolic, morphological, neuromuscular, and functional changes associated with two years of supervised RT in older women with higher and lower musculoskeletal vulnerability and to investigate whether baseline musculoskeletal condition was associated with the magnitude of these changes. Sixty-two physically independent older women (≥ 60 years) were classified as having higher musculoskeletal vulnerability (HMV; $n = 32$) or lower musculoskeletal vulnerability (LMV; $n = 30$) based on a composite z-score derived from appendicular skeletal muscle mass index and total muscular strength. This classification represented a relative stratification of the musculoskeletal condition within the study sample rather than a clinical diagnosis of sarcopenia. Participants performed supervised RT three times per week for two years, consisting of eight exercises performed for three sets of 8–12 repetitions with systematic load progression. Body composition, muscular strength, functional fitness, and cardiometabolic risk factors were assessed before and after the follow-up period. Both groups showed significant increases in muscular strength and improvements in functional fitness ($P < 0.05$). Skeletal muscle mass and appendicular lean soft tissue increased numerically in both groups, although these changes were less consistent than those observed for muscular strength and functional fitness. Significant reductions were observed in fasting glucose (HMV: -6.6% ; LMV: -4.6%), LDL-c (HMV: -14.2% ; LMV: -9.1%), and total cholesterol in both groups ($P < 0.05$). Additionally, significant reductions in triglycerides (-15.3%) and C-reactive protein (-16.1%) were observed only in the HMV group; however, adjusted between-group comparisons did not provide consistent evidence of greater responsiveness in this group. Changes in skeletal muscle mass and muscular strength showed small inverse associations with changes in the cardiometabolic profile. Overall, two years of participation in supervised RT were associated with meaningful improvements in muscular strength and functional fitness, accompanied by favorable changes in body composition and several cardiometabolic risk factors in older women with different levels of baseline musculoskeletal vulnerability. Although some outcomes changed significantly in only one group, there was no consistent evidence that baseline musculoskeletal condition was associated with differences in the magnitude of adaptations. These findings suggest that older women may experience favorable adaptations following prolonged participation in RT regardless of their baseline musculoskeletal condition.

Key-words: strength training; aging; cardiometabolic biomarkers; skeletal muscle mass; muscular strength.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Flowchart of the study.....	35
Figure 2. Cardiometabolic risk factors according to groups. Data are expressed as ANCOVA-adjusted means and 95% confidence intervals. Covariate means for: Glucose = 104.3; HDL-c = 60.0; LDL-c = 121.8; TG = 119.8; TC = 206.5; C-reactive protein = 2.57.	38
Figure 3. Body composition according to groups. Data are expressed as ANCOVA-adjusted means and 95% confidence intervals. Covariate means for: SMM = 18.3; ALST = 16.4; ASMI = 5.2; TG = 119.8; Relative fat mass = 40.5; Fat mass = 27.8. ‡ = P < 0.05 between groups.	40
Figure 4. Functional capacity and muscular strength according to groups. Data are expressed as ANCOVA-adjusted means and 95% confidence intervals. Covariate means for: Chest press = 40.2; Leg extension = 54.8; Preacher curl = 25.1; Total strength = 120.2; Gait speed = 3.2; Walking agility = 6.9; 30s chair stand = 12.8; 6MWT = 513.7.....	42
Figure 5. Correlation between z-score cardiometabolic risk factor (delta) and z-score SMM (delta); r = -0.27 (P = 0.04).....	44

LISTA DE TABELAS

Table 1. General characteristics of both groups.	36
Table 2. Energy and macronutrient intake at baseline according to the groups.	37
Table 3. Cardiovascular risk factors at pre- and post-training in both experimental groups..	39
Table 4. Body composition and muscular strength at pre- and post-training in both experimental groups.....	41
Table 5. Functional fitness at pre and post-training in both experimental groups.....	43
Table 6. Effect sizes and MCID values of all outcomes according to both groups.	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Envelhecimento, saúde muscular e vulnerabilidade musculoesquelética.....	10
1.2	Vulnerabilidade musculoesquelética e saúde cardiometabólica	11
1.3	Particularidades do envelhecimento feminino.....	12
1.4	Treinamento resistido como estratégia de intervenção	12
1.5	Lacunas do conhecimento e justificativa do estudo.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	HIPÓTESES.....	16
4	MÉTODOS	17
4.1	Delineamento experimental	17
4.2	Participantes.....	17
4.3	Fatores de risco cardiometabólico.....	19
4.4	Composição corporal	20
4.5	Força muscular	20
4.6	Testes de aptidão funcional.....	21
4.7	Programa de treinamento resistido	21
4.8	Ingestão alimentar.....	22
4.9	Análise Estatística.....	23
5	ARTIGO 1 – LONG-TERM RESISTANCE TRAINING ON CARDIOMETABOLIC RISK FACTORS IN OLDER WOMEN AT HIGHER AND LOWER MUSCULOSKELETAL VULNERABILITY.....	25
5.1.1	Introduction.....	27
5.1.2	Methods.....	29
5.1.2.1	Experimental Design	29
5.1.2.2	Participants.....	29
5.1.2.3	Resistance training program.....	30
5.1.2.4	Cardiometabolic risk factors	31
5.1.2.5	Muscular strength.....	31
5.1.2.6	Body composition.....	32
5.1.2.7	Functional fitness tests	32
5.1.2.8	Dietary intake	33
5.1.2.9	Statistical analysis.....	33
5.1.3	Results.....	34
5.1.4	Discussion	45
5.1.5	Conclusion.....	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
7	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	70
	ANEXO A – CARTA DE APROVAÇÃO DO PROJETO PELO COMITÊ DE ÉTICA.....	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Envelhecimento, saúde muscular e vulnerabilidade musculoesquelética

O envelhecimento populacional constitui um fenômeno global associado, entre outros fatores, ao aumento da expectativa de vida e à redução das taxas de fecundidade (BLOOM et al., 2015; CHENG et al., 2022). Estimativas indicam que indivíduos com 65 anos ou mais representarão aproximadamente 16% da população mundial até 2050 (UNITED NATIONS OF ECONOMIC AFFAIRS, 2022). No Brasil, esse processo ocorre de forma particularmente acelerada, com aumento expressivo da participação de pessoas idosas na composição populacional previsto para as próximas décadas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2024).

Embora o aumento da longevidade represente importante avanço social e sanitário, o envelhecimento é acompanhado por alterações fisiológicas nos sistemas musculoesquelético, metabólico, cardiovascular e neurológico, que podem favorecer o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, reduzir a aptidão funcional e comprometer a independência e a qualidade de vida (BAUER et al., 2019; HU et al., 2022; PALMER et al., 2019; CAI et al., 2024). Entre essas alterações, destacam-se as reduções progressivas da massa muscular e, particularmente, da força, uma vez que o comprometimento da função muscular está associado a desfechos adversos à saúde durante o envelhecimento (LARSSON et al., 2019).

Quando o comprometimento muscular alcança determinados critérios clínicos, pode caracterizar a sarcopenia, condição associada a maior risco de quedas, incapacidade funcional, hospitalizações, institucionalização e mortalidade (FONG, 2019; OGAZ-GONZÁLEZ et al., 2024; REZQ et al., 2024; RIZZUTO et al., 2017). De acordo com o *European Working Group on Sarcopenia in Older People 2* (EWGSOP2), a baixa força muscular constitui o principal parâmetro para identificação da sarcopenia, enquanto a presença concomitante de baixa quantidade ou qualidade muscular confirma o diagnóstico e o comprometimento do desempenho físico caracteriza sua gravidade (CRUZ-JENTOFT et al., 2019).

Entretanto, o comprometimento musculoesquelético associado ao envelhecimento não deve ser compreendido exclusivamente a partir da presença ou ausência de sarcopenia. A prevalência dessa condição varia consideravelmente de acordo com os critérios diagnósticos e pontos de corte empregados, com estimativas entre 10% e 27% em pessoas idosas (PETERMANN-ROCHA et al., 2022). Além disso, diferenças interindividuais na preservação da massa muscular e da força podem estar presentes mesmo entre indivíduos que não atendem aos critérios clínicos para sarcopenia. Nesse sentido, a análise conjunta desses

componentes pode contribuir para caracterizar diferentes graus de comprometimento musculoesquelético em uma determinada população.

Tal condição pode ser denominada vulnerabilidade musculoesquelética e representa uma abordagem operacional destinada a caracterizar diferenças relativas na condição muscular das participantes a partir da combinação de indicadores de massa muscular e força. Portanto, essa classificação não corresponde ao diagnóstico clínico de sarcopenia, mas permite investigar se mulheres idosas com condições musculoesqueléticas iniciais distintas apresentam diferentes adaptações diante da exposição prolongada a um programa de intervenção.

1.2 Vulnerabilidade musculoesquelética e saúde cardiometabólica

A relevância da condição musculoesquelética durante o envelhecimento não se restringe à força, mobilidade ou independência funcional. Estudos indicam que menor massa muscular e função muscular estão associadas a alterações metabólicas e inflamatórias, sugerindo uma estreita inter-relação entre a preservação do sistema musculoesquelético e a saúde cardiometabólica (BANO et al., 2017; BUCHMANN et al., 2022).

Indivíduos com comprometimento muscular, particularmente aqueles classificados com sarcopenia, frequentemente apresentam resistência à insulina, dislipidemia, obesidade abdominal e inflamação crônica de baixo grau, condições associadas ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares e diabetes mellitus tipo 2 (BI et al., 2024; DU et al., 2018; TUTTLE et al., 2020). Embora grande parte dessas evidências tenha sido produzida em populações classificadas segundo critérios diagnósticos de sarcopenia, os achados sugerem que a deterioração da saúde muscular pode integrar um contexto fisiopatológico mais amplo, envolvendo alterações metabólicas e inflamatórias sistêmicas.

Essa relação parece ser bidirecional. Alterações metabólicas e inflamatórias relacionadas ao envelhecimento podem aumentar a degradação proteica e comprometer a síntese proteica muscular, contribuindo para o declínio da massa muscular e da função muscular (BODINE; BAEHR, 2014; DASURI et al., 2013). Em contrapartida, a redução da massa muscular pode comprometer a captação periférica de glicose e a regulação metabólica sistêmica, favorecendo resistência à insulina e outras alterações cardiometabólicas (KIM et al., 2021; TERADA et al., 2022). Adicionalmente, concentrações aumentadas de biomarcadores inflamatórios, como proteína C-reativa, interleucina-6 e fator de necrose tumoral alfa, têm sido associadas ao comprometimento muscular e a maior risco cardiovascular e funcional (DU et al., 2018; WESTBURY et al., 2018).

Assim, a condição musculoesquelética pode representar não somente um componente relacionado à aptidão funcional, mas também um marcador de uma condição biológica mais

ampla, na qual alterações musculares, metabólicas e inflamatórias coexistem e potencialmente interagem. Investigar idosos posicionados em diferentes níveis de vulnerabilidade musculoesquelética pode, portanto, contribuir para compreender se a condição muscular inicial está associada não apenas às adaptações neuromusculares, mas também às respostas cardiometabólicas decorrentes da participação prolongada em programas de exercício físico.

1.3 Particularidades do envelhecimento feminino

A investigação das relações apresentadas anteriormente assume particular importância em mulheres idosas. A transição menopausal e a redução das concentrações de estrogênio estão associadas a modificações desfavoráveis na composição corporal, incluindo redução da massa muscular e maior acúmulo de gordura visceral, além de alterações metabólicas e inflamatórias (CRITCHLOW et al., 2023; MONTELEONE et al., 2018).

O estrogênio participa da regulação do metabolismo da glicose, da sensibilidade à insulina e de processos inflamatórios. Consequentemente, sua redução após a menopausa pode favorecer simultaneamente alterações musculoesqueléticas e cardiometabólicas (MOHAMAD et al., 2020; PERNOUD et al., 2024). Paralelamente, a maior predisposição ao acúmulo de gordura visceral e ectópica pode aumentar a produção de mediadores pró-inflamatórios relacionados à resistência à insulina, dislipidemia e inflamação sistêmica (KHOUDARY et al., 2020).

Desse modo, o envelhecimento feminino envolve a interação de alterações hormonais, musculoesqueléticas e metabólicas que pode resultar em considerável heterogeneidade interindividual. Mulheres da mesma faixa etária podem, portanto, apresentar condições musculares e cardiometabólicas substancialmente distintas, reforçando a necessidade de investigar estratégias capazes de preservar ou aumentar a força e a massa muscular e, simultaneamente, favorecer a saúde metabólica.

1.4 Treinamento resistido como estratégia de intervenção

Entre as estratégias não farmacológicas utilizadas para minimizar as alterações associadas ao envelhecimento, o treinamento resistido (TR) ocupa posição de destaque. Estudos demonstram que sua prática sistemática pode aumentar a força e a massa muscular e melhorar a aptidão funcional e a qualidade de vida de pessoas idosas (BAO et al., 2020; CARNEIRO et al., 2020, 2023; CHEN et al., 2023; CUNHA et al., 2021; KASSIANO et al., 2021; SHEN et al., 2022).

Os benefícios associados ao TR não parecem se limitar ao sistema musculoesquelético. Revisões e estudos de intervenção indicam alterações favoráveis em

componentes da saúde cardiometabólica, incluindo controle glicêmico, perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios (ASHTON et al., 2020; NUNES et al., 2024; SARDELI et al., 2018). Considerando a participação do músculo esquelético na captação periférica de glicose e na regulação metabólica, alterações na quantidade e na função muscular decorrentes do treinamento apresentam plausibilidade biológica para estarem relacionadas a modificações no perfil cardiometabólico.

Entretanto, a magnitude das adaptações ao TR pode apresentar considerável variabilidade interindividual. Em particular, a condição musculoesquelética inicial pode representar um fator potencialmente associado à resposta ao treinamento. Mulheres idosas com menores níveis iniciais de massa muscular e força apresentam, teoricamente, maior margem para mudança, enquanto aquelas com condição musculoesquelética mais preservada podem apresentar padrões distintos de adaptação. Apesar dessa plausibilidade, permanece insuficientemente esclarecido se diferentes níveis iniciais de vulnerabilidade musculoesquelética estão associados ou não à magnitude das adaptações musculares, funcionais e cardiometabólicas ao TR.

Outro aspecto relevante refere-se à duração da intervenção. Grande parte das evidências disponíveis é proveniente de programas relativamente curtos, o que limita a compreensão das adaptações associadas à exposição prolongada ao TR. Intervenções de curta duração permitem identificar respostas iniciais ao treinamento, mas fornecem informações limitadas sobre a manutenção ou magnitude das adaptações ao longo de períodos mais extensos. Nesse sentido, investigações longitudinais são particularmente relevantes quando se pretende analisar simultaneamente alterações musculoesqueléticas, funcionais e cardiometabólicas decorrentes da participação continuada em programas de TR.

A importância de investigar o impacto de intervenções mais prolongadas é reforçada pelo fato de que as adaptações ao TR não necessariamente ocorrem com a mesma magnitude ou trajetória temporal nos diferentes sistemas fisiológicos. Ganhos de força, alterações na massa muscular, modificações na aptidão funcional e respostas cardiometabólicas podem apresentar ritmos distintos, tornando limitada a extrapolação de resultados provenientes de intervenções de poucas semanas para exposições de longo prazo. Portanto, estudos com acompanhamento prolongado podem ampliar a compreensão sobre a associação entre participação continuada no TR e diferentes dimensões da saúde de mulheres idosas.

1.5 Lacunas do conhecimento e justificativa do estudo

Apesar do consistente corpo de evidências que sustenta a utilização do TR durante o envelhecimento, três lacunas principais permanecem. Primeiro, grande parte dos estudos

disponíveis emprega intervenções relativamente curtas, de modo que as adaptações associadas à participação prolongada em programas estruturados e supervisionados de TR permanecem menos compreendidas. Segundo, embora mulheres idosas apresentem particularidades hormonais, musculoesqueléticas e metabólicas que justificam sua investigação específica, ainda são necessárias evidências que integrem simultaneamente diferentes dimensões da saúde nessa população. Terceiro, permanece pouco esclarecido se a condição musculoesquelética inicial está associada ou não à magnitude das adaptações decorrentes do TR, particularmente quando são considerados conjuntamente desfechos de composição corporal, força muscular, aptidão funcional e saúde cardiometabólica.

Essa última questão possui relevância tanto científica quanto aplicada. Se mulheres com maior vulnerabilidade musculoesquelética apresentarem respostas distintas daquelas com condição muscular mais preservada, a caracterização inicial da condição musculoesquelética poderá contribuir para compreender a heterogeneidade das respostas ao treinamento e, potencialmente, subsidiar estratégias mais individualizadas. Por outro lado, se benefícios semelhantes forem observados em diferentes níveis de vulnerabilidade, os achados poderão reforçar a aplicabilidade do TR prolongado a uma população mais ampla de mulheres idosas. Diante desse cenário, torna-se relevante analisar o comportamento de mulheres idosas com diferentes condições musculoesqueléticas iniciais submetidas a um período prolongado de TR supervisionado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar as alterações nos fatores de risco cardiometabólico, na composição corporal, na força muscular e na aptidão funcional associadas a dois anos de TR supervisionado e progressivo em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética, bem como comparar a magnitude dessas alterações entre os grupos.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar as alterações nos fatores de risco cardiometabólico, incluindo glicemia de jejum, colesterol total, LDL-c, HDL-c, triglicerídeos e proteína C-reativa, após dois anos de TR supervisionado em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética;
- Examinar as alterações na composição corporal, incluindo massa muscular esquelética, tecido mole e magro apendicular, índice de massa muscular esquelética apendicular e indicadores de adiposidade, após dois anos de TR supervisionado nos dois grupos;
- Avaliar as alterações na força muscular, determinada por testes de 1RM, e na aptidão funcional, avaliada por testes de mobilidade, agilidade, força funcional de membros inferiores e capacidade de caminhada, após dois anos de TR supervisionado nos dois grupos;
- Comparar a magnitude das alterações nos fatores de risco cardiometabólico, na composição corporal, na força muscular e na aptidão funcional entre mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética;
- Investigar a associação entre as alterações na condição musculoesquelética e as alterações nos fatores de risco cardiometabólico após dois anos de TR.

3 HIPÓTESES

Com base nas evidências disponíveis sobre as adaptações ao TR em mulheres idosas e sobre a inter-relação entre a condição musculoesquelética e a saúde cardiometabólica, foram estabelecidas as seguintes hipóteses:

- **Fatores de risco cardiometabólico:** dois anos de TR supervisionado e progressivo estarão associados a alterações favoráveis nos fatores de risco cardiometabólico em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética, caracterizadas por reduções na glicemia de jejum, colesterol total, LDL-c, triglicerídeos e proteína C-reativa, bem como por manutenção ou aumento das concentrações de HDL-c;
- **Composição corporal:** dois anos de TR supervisionado e progressivo estarão associados a aumentos da massa muscular esquelética, do tecido mole magro apendicular e do índice de massa muscular esquelética apendicular, bem como a reduções dos indicadores de adiposidade, em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética;
- **Força muscular e aptidão funcional:** dois anos de TR supervisionado e progressivo estarão associados a aumentos da força muscular e a melhorias na aptidão funcional, expressas por melhor desempenho nos indicadores de mobilidade, agilidade, força funcional de membros inferiores e capacidade de caminhada, em ambos os grupos;
- **Magnitude das alterações entre os grupos:** a magnitude das alterações cardiometabólicas, morfológicas, neuromusculares e funcionais associadas aos dois anos de TR diferirá entre mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética, sendo esperadas alterações mais pronunciadas entre aquelas com maior vulnerabilidade inicial, em razão de sua condição musculoesquelética menos favorável e, conseqüentemente, de sua maior margem potencial para adaptação.
- **Associação entre alterações musculoesqueléticas e cardiometabólicas:** as alterações favoráveis na condição musculoesquelética ao longo dos dois anos de TR estarão associadas a alterações favoráveis nos fatores de risco cardiometabólico, de modo que maiores aumentos na massa muscular e na força muscular estarão associados a maiores reduções no risco cardiometabólico.

4 MÉTODOS

4.1 Delineamento experimental

O presente estudo integra o *Active Aging Longitudinal Study*, um projeto multiprofissional iniciado em 2012 com o propósito de investigar as adaptações associadas à participação em programas de TR supervisionado e progressivo sobre diferentes indicadores de saúde de mulheres idosas.

Trata-se de um estudo longitudinal, com duração de dois anos, no qual mulheres idosas fisicamente independentes participaram de um programa de TR supervisionado e progressivo, realizado três vezes por semana. As avaliações foram conduzidas antes do início do programa (pré) e após dois anos de acompanhamento (pós) e incluíram indicadores de composição corporal, força muscular, aptidão funcional e fatores de risco cardiometabólico. A ingestão alimentar foi avaliada nas duas primeiras e nas duas últimas semanas do período de acompanhamento.

Para investigar se a condição musculoesquelética inicial estaria associada à magnitude das alterações observadas ao longo do período, as participantes foram classificadas dicotomicamente em dois grupos, de acordo com um escore composto estabelecido a partir de indicadores de massa muscular e força: maior vulnerabilidade musculoesquelética (MVM) e menor vulnerabilidade musculoesquelética (mVM).

Todas as sessões de TR foram supervisionadas por profissionais de Educação Física, e as participantes foram orientadas a não iniciar ou participar sistematicamente de outros programas estruturados de exercícios físicos durante o período de acompanhamento.

Considerando a ausência de um grupo controle não submetido ao TR e a natureza não randomizada do delineamento, as análises foram direcionadas à investigação das alterações associadas à participação prolongada no programa de TR, bem como à comparação da magnitude dessas alterações entre mulheres com diferentes condições musculoesqueléticas iniciais.

4.2 Participantes

As participantes foram recrutadas por meio de divulgação em televisão e rádio locais, jornais e mídias sociais. Inicialmente, as voluntárias responderam a questionários sobre histórico de saúde e foram posteriormente submetidas aos procedimentos de triagem para determinação da elegibilidade.

Para esta investigação foram adotados os seguintes critérios de inclusão: (a) sexo feminino e idade ≥ 60 anos; (b) independência física para realização das atividades da vida diária; (c) ausência de disfunções cardíacas, ortopédicas ou musculoesqueléticas que

impedissem a prática de exercícios físicos; (d) ausência de diabetes mellitus ou hipertensão arterial não controlados; (e) não participação em programas regulares de exercício físico realizados mais de uma vez por semana nos três meses anteriores ao início do estudo; e (f) liberação médica para participação no programa de TR sem restrições, obtida mediante avaliação clínica realizada por cardiologista, eletrocardiograma de repouso de 12 derivações e teste de esforço em esteira, quando considerado necessário.

Todas as participantes foram informadas sobre os objetivos, procedimentos, benefícios e possíveis riscos associados ao estudo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes do início dos procedimentos experimentais. A investigação foi conduzida de acordo com os princípios da Declaração de Helsinki, aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa local e registrada na plataforma *ClinicalTrials.gov* (NCT06621368).

Inicialmente, 120 mulheres foram avaliadas para elegibilidade, das quais 40 foram excluídas por não atenderem aos critérios estabelecidos. Assim, 80 participantes iniciaram o período de acompanhamento e foram classificadas nos grupos MVM ($n = 40$) e mVM ($n = 40$). Ao longo dos dois anos, 18 participantes descontinuaram sua participação por motivos pessoais, sendo oito do grupo MVM e 10 do grupo mVM. Dessa forma, a amostra final foi composta por 62 mulheres, sendo 32 no grupo MVM e 30 no grupo mVM.

4.2.1 Classificação da vulnerabilidade musculoesquelética

A condição musculoesquelética inicial foi caracterizada a partir de um escore-z composto, derivado de dois componentes: o índice de massa muscular esquelética apendicular (ASMI, kg/m^2) e a força muscular total.

O ASMI foi determinado a partir da massa muscular esquelética apendicular relativa à estatura ao quadrado. A força muscular total foi determinada pela soma das cargas obtidas nos testes de uma repetição máxima (1RM) nos exercícios *chest press*, cadeira extensora e rosca Scott.

Inicialmente, os valores individuais de ASMI e força muscular total foram padronizados em escores-z. Posteriormente, esses valores foram combinados para obtenção de um indicador composto da condição musculoesquelética, calculado da seguinte forma:

$$\text{Escore-z composto} = (\text{escore-z do ASMI} + \text{escore-z da força muscular total})/2.$$

Valores mais baixos do escore composto representaram uma condição musculoesquelética relativamente menos favorável, caracterizada pela combinação de menores níveis relativos de massa muscular e força, enquanto valores mais elevados representaram uma condição musculoesquelética relativamente mais favorável.

Com base nos escores previamente estabelecidos, as participantes foram classificadas dicotomicamente em dois grupos: maior vulnerabilidade musculoesquelética (MVM) e menor vulnerabilidade musculoesquelética (mVM). Essa classificação foi empregada com a finalidade de estratificar as participantes de acordo com sua condição musculoesquelética inicial e permitir a comparação das alterações associadas ao período de dois anos de TR entre mulheres com diferentes níveis de vulnerabilidade musculoesquelética.

A classificação utilizada no presente estudo representa uma estratificação operacional e relativa da condição musculoesquelética da amostra investigada, não correspondendo ao diagnóstico clínico de sarcopenia. De acordo com o *European Working Group on Sarcopenia in Older People 2* (EWGSOP2), o diagnóstico de sarcopenia envolve critérios e pontos de corte específicos para força muscular, quantidade ou qualidade muscular e desempenho físico (CRUZ-JENTOFT et al., 2019). Portanto, as denominações MVM e mVM foram empregadas exclusivamente para caracterizar diferenças na condição musculoesquelética inicial das participantes, sem implicar diagnóstico clínico ou prognóstico individual.

Embora a força de preensão manual seja amplamente empregada nos algoritmos diagnósticos de sarcopenia, no presente estudo foi utilizada a força dinâmica máxima obtida nos testes de 1RM. Essa escolha possibilitou avaliar a força dos principais segmentos corporais envolvidos no programa de treinamento e encontra respaldo em evidências que demonstram forte associação entre o desempenho em testes de 1RM e indicadores globais de força muscular em mulheres idosas (NUNES et al., 2020).

4.3 Fatores de risco cardiometabólico

As coletas sanguíneas foram realizadas no período da manhã, entre 7h00min e 9h00min, após jejum noturno de pelo menos 12 h. Antes da coleta, as participantes permaneceram sentadas em repouso por pelo menos cinco minutos. Amostras de sangue venoso foram obtidas de uma veia superficial proeminente da fossa antecubital por profissional treinado, utilizando sistema de coleta a vácuo.

Após a coleta, as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm durante 15 min, e alíquotas de plasma ou soro foram armazenadas a -80 °C até a realização das análises. Os coeficientes de variação intra e interensaio foram inferiores a 10%. Foram determinadas as concentrações de glicemia de jejum, colesterol total (CT), lipoproteína de alta densidade colesterol (HDL-c), triglicerídeos (TG) e proteína C-reativa (PCR) por métodos laboratoriais padronizados. As análises foram realizadas em sistema automatizado Dimension RxL Max (Siemens Dade Behring, Erlangen, Alemanha), seguindo as recomendações do fabricante.

As concentrações de lipoproteína de baixa densidade colesterol (LDL-c) foram estimadas pela equação de Friedewald: $LDL-c = CT - [HDL-c + (TG/5)]$ (FRIEDEWALD et al.,

1972). Os indicadores cardiometabólicos foram analisados individualmente e, adicionalmente, utilizados para composição do indicador empregado nas análises de associação entre alterações musculoesqueléticas e cardiometabólicas.

4.4 Composição corporal

A composição corporal foi avaliada por absorptiometria radiológica de dupla energia (DXA), utilizando equipamento Lunar Prodigy Advance, modelo NRL 41990 (General Electric, Madison, WI, USA). Foram determinadas a massa livre de gordura e osso (MIGO) total e regional, o tecido mole e magro (LST) apendicular, a massa gorda corporal total e os compartimentos de gordura androide e ginoide. A massa muscular esquelética (SMM) foi estimada por equação preditiva previamente validada (KIM et al., 2002). O ASMI foi determinado pela razão entre a massa muscular esquelética apendicular e a estatura ao quadrado (kg/m^2), conforme procedimentos estabelecidos na literatura (CRUZ-JENTOFT et al., 2019).

Antes das avaliações, as participantes foram orientadas a remover objetos metálicos e permaneceram em decúbito dorsal ao longo do eixo longitudinal da mesa do equipamento. O posicionamento e a análise das imagens foram realizados pelo mesmo pesquisador treinado, seguindo as recomendações do fabricante.

Os procedimentos apresentaram elevada reprodutibilidade para os diferentes compartimentos corporais avaliados, com coeficientes de correlação intraclasse (CCI) elevados e baixos erros padrão de medida (EPM). O EPM e o CCI foram satisfatórios para MIGO de membros superiores (EPM = 0,1 kg; CCI = 0,99) e inferiores (EPM = 0,2 kg; CCI = 0,99), LST apendicular (EPM = 0,3 kg; CCI = 0,99), gordura corporal total (EPM = 0,1 kg; CCI = 0,99), gordura do tronco (EPM = 0,6 kg; CCI = 0,99), gordura ginoide (EPM = 0,1 kg; CCI = 0,99) e gordura androide (EPM = 0,2 kg; CCI = 0,99).

4.5 Força muscular

A força muscular dinâmica máxima foi avaliada por meio de testes de 1RM nos exercícios *chest press*, cadeira extensora e rosca Scott (Ipiranga Fitness, Presidente Prudente, SP, Brasil), seguindo procedimentos previamente padronizados (DO NASCIMENTO et al., 2013; NUNES et al., 2020).

Foram realizadas três sessões de testes, no período da manhã, separadas por intervalos de 48-72 h. Em cada sessão, as participantes realizaram aquecimento específico de 10–15 repetições com aproximadamente 50% da carga estimada para a primeira tentativa, seguido de três tentativas para determinação da carga máxima.

Quando uma tentativa era realizada com sucesso, a carga era aumentada em aproximadamente 3–10% para a tentativa subsequente. Quando a participante não conseguia completar a repetição com a técnica estabelecida, a carga era reduzida em proporção semelhante. Foram adotados intervalos de recuperação de 3–5 min entre as tentativas e cinco minutos entre os exercícios. Nas segunda e terceira sessões, a primeira tentativa foi determinada com base na maior carga obtida na sessão anterior.

O valor de 1RM foi definido como a maior carga que a participante conseguiu levantar uma única vez, com amplitude de movimento e técnica adequadas, entre as três sessões de avaliação. Todas as avaliações foram supervisionadas por pesquisadores experientes para garantir a padronização dos procedimentos e a segurança das participantes. A força muscular total foi determinada pela soma das cargas de 1RM obtidas nos três exercícios. Os procedimentos apresentaram EPM <5% e CCI >0,96.

4.6 Testes de aptidão funcional

A aptidão funcional foi avaliada por meio de testes de caminhada de 4 m, agilidade, levantar e sentar da cadeira em 30 s e caminhada de 6 min (6MWT), seguindo procedimentos padronizados (RIKLI; JONES, 2013).

No teste de caminhada de 4 m, as participantes percorreram uma distância total de 8 m em velocidade habitual, sendo cronometrado apenas o segmento central de 4 m para minimizar os efeitos das fases de aceleração e desaceleração. Foram realizadas três tentativas, sendo utilizada a média dos tempos obtidos.

Para avaliação da agilidade, as participantes iniciaram o teste sentadas em uma cadeira, levantaram-se, caminharam até contornar um cone posicionado a 2,44 m, retornaram à posição inicial e sentaram-se novamente. Foram realizadas três tentativas, sendo considerado para análise o menor tempo obtido.

No teste de levantar e sentar da cadeira em 30 s, as participantes foram orientadas a realizar o maior número possível de ciclos completos de levantar e sentar durante 30 s, mantendo os braços cruzados sobre o tórax. O número total de repetições completas foi utilizado para análise.

No teste 6MWT, as participantes foram orientadas a percorrer a maior distância possível durante seis minutos, sem correr, em percurso previamente demarcado. A distância total percorrida foi registrada em metros.

4.7 Programa de treinamento resistido

O programa de TR foi realizado durante dois anos, com frequência de três sessões semanais, em dias não consecutivos, às segundas, quartas e sextas-feiras, no período da

manhã, em academia universitária.

Todas as sessões foram supervisionadas presencialmente por profissionais de Educação Física com experiência em TR para pessoas idosas. A supervisão teve como objetivo garantir a segurança das participantes, a execução técnica adequada dos exercícios, o cumprimento da zona de repetições estabelecida e a progressão sistemática das cargas ao longo do período de acompanhamento.

O programa foi composto por oito exercícios envolvendo os principais grupos musculares: *chest press*, *leg press* horizontal, remada sentada, cadeira extensora, tríceps no *pulley*, cadeira flexora, rosca Scott e cadeira solear. Cada exercício foi realizado em três séries de 8–12 repetições, de acordo com recomendações para a prescrição do TR para idosos (FRAGALA et al., 2019).

As participantes foram orientadas a executar as ações musculares de maneira controlada, com duração aproximada de 1 s para a fase concêntrica e 2 s para a fase excêntrica, inspirando durante a ação excêntrica e expirando durante a concêntrica. Os intervalos de recuperação foram de 1–2 min entre séries e 2–3 min entre exercícios.

As cargas foram ajustadas individualmente ao longo do programa com base no desempenho apresentado durante as sessões. Quando a participante atingia o limite superior da zona de repetições prescrita em todas as séries durante duas sessões consecutivas, a carga era aumentada em aproximadamente 2–5% para exercícios de membros superiores e 5–10% para exercícios de membros inferiores. Caso a participante não conseguisse atingir o limite inferior da zona de repetições com técnica adequada, a carga era reduzida na mesma proporção para permitir a manutenção do estímulo dentro da faixa estabelecida. Esse procedimento possibilitou a aplicação de sobrecarga progressiva individualizada durante todo o período de acompanhamento. A frequência às sessões foi registrada individualmente ao longo do estudo para acompanhamento da aderência ao programa.

4.8 Ingestão alimentar

A ingestão alimentar foi avaliada por meio de recordatórios alimentares de 24 h realizados em três dias não consecutivos (segundas, quartas e sextas-feiras), nas duas primeiras e nas duas últimas semanas do período de acompanhamento. As entrevistas foram conduzidas por nutricionistas experientes, com auxílio de manual fotográfico de porções alimentares para aumentar a precisão das estimativas. As medidas caseiras relatadas pelas participantes foram convertidas em gramas ou mililitros.

A ingestão energética total e de macronutrientes foi analisada utilizando o software Virtual Nutri Plus (Keeple®, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Para alimentos não disponíveis no banco de dados do programa, foram utilizadas informações provenientes de tabelas de

composição alimentar de referência. A avaliação da ingestão alimentar nos momentos inicial e final foi utilizada para verificar possíveis alterações no consumo energético e de macronutrientes que pudessem contribuir para a interpretação das modificações observadas na composição corporal e nos indicadores cardiometabólicos.

4.9 Análise Estatística

Os dados foram inicialmente analisados por meio de estatística descritiva. As variáveis contínuas foram apresentadas em média e desvio-padrão, enquanto as variáveis categóricas foram expressas em frequências absoluta e relativa. A distribuição dos dados foi examinada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene.

As possíveis diferenças entre os grupos na linha de base foram avaliadas pelo teste do qui-quadrado para as variáveis categóricas, análise de variância de uma via (ANOVA one-way) para as variáveis contínuas que atenderam aos pressupostos paramétricos e teste de Kruskal-Wallis para aquelas que não atenderam a esses pressupostos.

Para comparar os desfechos entre mulheres com maior vulnerabilidade musculoesquelética (MVM) e menor vulnerabilidade musculoesquelética (mVM) após os dois anos de acompanhamento, foi utilizada análise de covariância (ANCOVA). Em cada modelo, o valor pós-intervenção do respectivo desfecho foi considerado como variável dependente, o grupo (MVM vs. mVM) como fator fixo e o respectivo valor basal, a idade e a massa gorda como covariáveis. Essa abordagem foi empregada para comparar os grupos no momento pós-intervenção, minimizando a influência de diferenças iniciais nos desfechos investigados e de potenciais efeitos relacionados à idade e à adiposidade.

Foram estimadas as médias ajustadas e seus respectivos intervalos de confiança de 95%. Quando identificado efeito estatisticamente significativo de grupo pelo teste F da ANCOVA, as diferenças entre as médias pós-intervenção ajustadas foram examinadas a partir das comparações correspondentes. As alterações ocorridas dentro de cada grupo entre os momentos pré e pós foram analisadas separadamente. Essas análises foram utilizadas para descrever a direção e a magnitude das alterações observadas ao longo dos dois anos. Entretanto, a ocorrência de uma alteração estatisticamente significativa em um grupo e não significativa no outro não foi considerada, isoladamente, evidência de diferença na magnitude da resposta entre os grupos. A interpretação de diferenças entre MVM e mVM foi fundamentada na comparação direta entre os grupos fornecida pela ANCOVA.

Para investigar a associação entre as alterações na condição musculoesquelética e no perfil cardiometabólico, foram calculadas as variações individuais entre os momentos pós e pré (Δ = pós – pré). Os fatores de risco cardiometabólico foram padronizados em escores-z e combinados em um escore composto, considerando-se a direção de cada variável de

modo que os valores representassem consistentemente alterações mais ou menos favoráveis no perfil cardiometabólico.

As associações entre as alterações na MME e na força muscular total e as alterações no escore composto dos fatores de risco cardiometabólico foram examinadas pelo coeficiente de correlação de Pearson. Para variáveis que não atenderam aos pressupostos das análises paramétricas, foi utilizado o procedimento não paramétrico correspondente. A interpretação considerou a direção e a magnitude dos coeficientes, sem atribuição de causalidade às associações observadas.

Os tamanhos de efeito (TE) foram calculados a partir da diferença entre os valores pós e pré-intervenção dividida pelo desvio-padrão agrupado do momento basal. Os valores foram interpretados segundo os critérios propostos por Cohen (1992): trivial (0,00–0,19), pequeno (0,20–0,49), moderado (0,50–0,79) e grande ($\geq 0,80$). Adicionalmente, foi estimado um limiar de mudança minimamente importante baseado na distribuição, calculado como $0,2 \times$ desvio-padrão dos valores basais (BLOOM et al., 2023). Por se tratar de uma abordagem baseada na distribuição dos dados, e não em um critério externo, esse indicador foi utilizado como referência complementar para interpretação da magnitude das alterações e não como uma diferença mínima clinicamente importante validada especificamente para cada desfecho. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software JAMOV, versão 2.4.11 (JAMOV Project, Sydney, Austrália), adotando-se nível de significância estatística de $P < 0,05$.

5 ARTIGO 1 – LONG-TERM RESISTANCE TRAINING ON CARDIOMETABOLIC RISK FACTORS IN OLDER WOMEN AT HIGHER AND LOWER MUSCULOSKELETAL VULNERABILITY

Running title: Resistance training in musculoskeletal vulnerability

Authors: Diogo M. Ribeiro^{1*}, Paolo M. Cunha¹, Analiza M. Silva^{2,3}, Leandro dos Santos¹, Jhenephan Macedo¹, Alexandre M. Domingos Cavalcanti¹, Felipe Gomes¹, Felipe Lisboa¹, Felipe Duarte¹, Aline Prado¹, Pâmela Castro-e-Souza¹, Witalo Kassiano¹, Natã Stavinski¹, Vanessa Santos-Melo¹, Jarlisson Francsuel¹, Luis A. Lima¹, Ingrid Manske¹, Letícia T. Cyrino¹, Alexandre Picoloto¹, Gabriel Kunevaliki¹, Marcelo Vitor da Costa¹, Nelson H. Carneiro¹, Ricardo J. Rodrigues¹, Décio S. Barbosa¹, Danielle Venturini¹, Luís B. Sardinha², Alex S. Ribeiro⁴, Edílson S. Cyrino¹.

Affiliation

¹ Metabolism, Nutrition, and Exercise Laboratory, Physical Education and Sport Center, State University of Londrina, Londrina, PR, Brazil;

² Exercise and Health Laboratory, CIPER, Faculty of Human Kinetics, University of Lisbon, Estrada da Costa, 1499-002 Cruz-Quebrada, Portugal;

³ Department of Movement Sciences and Sports, Training, School of Sport Sciences, The University of Jordan, Amman, Jordan;

⁴ University of Coimbra, FCDEF, Coimbra, Portugal.

***Address for correspondence:** Diogo M. Ribeiro, Ph.D., e-mail: diogoadmr@gmail.com. Nutrition, and Exercise Laboratory, State University of Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid km 380, Londrina, PR, 86057-970, Brazil.

D.M.R and P.M.C. share first authorship for contributing equally to this work.

Abstract

Purpose: This study investigated the changes associated with a two-year supervised resistance training (RT) program in cardiometabolic risk factors, body composition, muscular strength, and functional fitness in older women with higher and lower musculoskeletal vulnerability. **Methods:** Sixty-two physically independent older women (≥ 60 years) completed a supervised RT program performed three times per week for two years. Participants were classified into higher musculoskeletal vulnerability (HMV; $n = 32$) and lower musculoskeletal vulnerability (LMV; $n = 30$) groups according to a composite z-score derived from appendicular skeletal muscle mass index and total muscular strength. The RT program consisted of eight exercises performed for three sets of 8–12 repetitions with progressive overload. Body composition was assessed by dual-energy X-ray absorptiometry, muscular strength by one-repetition maximum tests, cardiometabolic biomarkers by biochemical analyses, and functional fitness by standardized motor tests. **Results:** Following the two-year intervention, both groups showed significant improvements in muscular strength and functional fitness ($P < 0.05$). Fasting glucose decreased by 6.7% in HMV and 4.2% in LMV, LDL-c by 14.4% and 9.6%, and total cholesterol by 11.2% and 8.3%, respectively ($P < 0.05$). Significant reductions in triglycerides (–16.0%) and C-reactive protein (–16.0%) were observed in HMV, whereas HDL-c remained unchanged in both groups. Relative fat mass decreased in both groups, while statistically significant increases in skeletal muscle mass and appendicular lean soft tissue were observed primarily in LMV. Changes in skeletal muscle mass and total muscular strength were modestly and inversely associated with changes in the composite cardiometabolic risk score ($r = -0.27$ and $r = -0.28$, respectively; $P < 0.05$). Overall, there was no consistent evidence that the magnitude of adaptations differed between groups. **Conclusion:** Two years of supervised RT were associated with favorable changes in muscular strength, functional fitness, body composition, and several cardiometabolic risk factors in older women with different levels of initial musculoskeletal vulnerability. Although some cardiometabolic markers improved significantly only in women with higher musculoskeletal vulnerability, the findings do not provide consistent evidence of greater responsiveness in this group. These results suggest that older women may benefit from prolonged RT across different levels of initial musculoskeletal condition. However, given the absence of a non-training control group, the observed changes cannot be attributed exclusively to RT.

Keywords: strength training; cardiometabolic health; body composition; muscular strength; aging.

5.1.1 Introduction

Population aging is accompanied by progressive changes in skeletal muscle mass (SMM), muscular strength, body composition, and metabolic regulation that may compromise physical function and increase the risk of chronic disease in older adults (CRUZ-JENTOFT et al., 2019; BUCHMANN et al., 2022; BEAUDART et al., 2025). Among these alterations, reductions in muscular strength and SMM are particularly relevant because they are associated not only with mobility limitations, disability, falls, and loss of functional independence, but also with unfavorable metabolic and inflammatory profiles (FRAGALA et al., 2019; CRUZ-JENTOFT et al., 2019; BUCHMANN et al., 2022). Importantly, age-related musculoskeletal deterioration occurs along a continuum, and substantial interindividual variability in SMM and strength may be present even among older adults who do not meet established diagnostic criteria for sarcopenia. Thus, examining different levels of baseline musculoskeletal condition may provide additional insight into the heterogeneity of health-related adaptations during aging.

The relationship between musculoskeletal and cardiometabolic health is particularly relevant because skeletal muscle plays an important role in glucose disposal, lipid metabolism, energy homeostasis, and inflammatory regulation. Lower SMM and impaired muscle function have been associated with insulin resistance, dyslipidemia, metabolic syndrome, and chronic low-grade inflammation (BUCHMANN et al., 2022; KIM et al., 2021; TERADA et al., 2022). Conversely, metabolic and inflammatory disturbances may accelerate muscle protein breakdown and impair anabolic processes, contributing to further deterioration of SMM and muscle function (BODINE; BAEHR, 2014; DASURI et al., 2013). This bidirectional relationship suggests that musculoskeletal vulnerability may reflect a broader biological condition in which muscular, metabolic, and inflammatory alterations coexist and potentially interact.

These relationships may be especially important in older women. The menopausal transition and the progressive decline in estrogen concentrations are associated with unfavorable changes in body composition, glucose metabolism, lipid regulation, and systemic inflammation, together with reductions in SMM and muscle function (MONTELEONE et al., 2018; EL KHOUDARY et al., 2020; CRITCHLOW et al., 2023). Consequently, older women of similar chronological age may present substantially different musculoskeletal and cardiometabolic profiles. Such heterogeneity reinforces the importance of identifying strategies capable of simultaneously preserving muscle health, physical function, and cardiometabolic status in this population.

Resistance training (RT) is widely recognized as one of the most effective non-pharmacological strategies for counteracting age-related declines in muscular strength, skeletal muscle mass, and physical function (FRAGALA et al., 2019; CUNHA et al., 2021; KASSIANO et al., 2021; IZQUIERDO et al., 2025). In addition to these neuromuscular and

functional adaptations, RT may favorably influence glycemic control, lipid profile, body composition, and inflammatory biomarkers (ASHTON et al., 2020; TOMELERI et al., 2016; NUNES et al., 2024). Improvements in muscle quantity and function may contribute to some of these cardiometabolic adaptations, given the central role of skeletal muscle in peripheral glucose uptake and metabolic regulation. Nevertheless, the extent to which baseline musculoskeletal condition influences these adaptations remains insufficiently understood.

A less favorable initial musculoskeletal condition could theoretically provide greater room for improvement in response to RT. Conversely, greater age-related biological constraints, lower physiological reserve, and other individual characteristics may limit the magnitude of adaptation in individuals with greater baseline vulnerability. Therefore, baseline musculoskeletal status may not modify responsiveness to RT in a simple or uniform manner. Despite its potential relevance, relatively few studies have examined whether older women with different initial combinations of SMM and muscular strength exhibit distinct musculoskeletal, functional, and cardiometabolic adaptations to prolonged RT.

Another important limitation of the available literature is the relatively short duration of most RT interventions involving older adults. Although short- and medium-term studies have consistently demonstrated favorable neuromuscular and metabolic responses, considerably less is known about adaptations associated with continued participation in structured and supervised RT over longer periods (ASHTON et al., 2020; KEMMLER et al., 2020; LICHTENBERG et al., 2019). This issue is particularly relevant because muscular strength, muscle mass, functional fitness, and cardiometabolic biomarkers may follow different temporal trajectories. Therefore, findings from interventions lasting only a few weeks or months may not fully represent the adaptations observed after prolonged exposure to RT.

Accordingly, the present study classified older women according to their baseline musculoskeletal condition using a composite score derived from appendicular skeletal muscle mass index (ASMI) and total muscular strength. This approach was intended to provide an operational and relative characterization of musculoskeletal vulnerability within the study sample rather than a clinical diagnosis of sarcopenia. The study aimed to investigate changes in cardiometabolic risk factors, body composition, muscular strength, and functional fitness associated with two years of supervised and progressive RT in older women with higher and lower musculoskeletal vulnerability and to compare the magnitude of these changes between groups. We hypothesized that prolonged RT would be associated with favorable cardiometabolic, morphological, neuromuscular, and functional changes in both groups. We also hypothesized that women with higher baseline musculoskeletal vulnerability would exhibit greater adaptations in some outcomes because of their less favorable initial condition and consequently greater potential room for improvement.

5.1.2 Methods

5.1.2.1 Experimental Design

The present investigation is part of the Active Aging Longitudinal Study, an ongoing research project initiated in 2012 to investigate the effects of supervised and progressive RT on neuromuscular, morphological, functional, metabolic, cognitive, and behavioral outcomes in older women. The present study adopted a longitudinal, non-randomized design with a two-year follow-up. All participants underwent the same supervised RT program and were retrospectively stratified according to their baseline musculoskeletal condition into higher musculoskeletal vulnerability (HMV) and lower musculoskeletal vulnerability (LMV) groups.

Assessments were performed at baseline and after the two-year follow-up under standardized laboratory conditions. The outcomes included cardiometabolic biomarkers, body composition, muscular strength, and functional fitness. Because the study did not include a non-training control group, changes observed between baseline and follow-up were interpreted as being associated with prolonged participation in RT rather than as effects attributable exclusively to the intervention. Participants were instructed to maintain their habitual dietary intake, medication use, and physical activity patterns throughout the study and not to engage in structured exercise programs other than the prescribed RT. Dietary intake was assessed during the first and last two weeks of the follow-up using food records analyzed by trained nutrition researchers.

5.1.2.2 Participants

Participants were recruited through advertisements on local television, radio, newspapers, and social media. Initially, 120 older women were screened for eligibility through clinical interviews and health-history questionnaires. Inclusion criteria were: (a) women aged ≥ 60 years; (b) physical independence; (c) absence of cardiac, orthopedic, or musculoskeletal conditions that could contraindicate participation in the exercise program; (d) absence of uncontrolled diabetes mellitus or hypertension; (e) no participation in regular structured physical exercise (>1 session/week) during the three months preceding the study; and (f) medical clearance for participation in the RT program, including resting electrocardiography and treadmill stress testing when considered necessary.

Participants were excluded when health-related conditions or other circumstances prevented safe participation in the exercise program, compromised adherence, or precluded completion of the follow-up assessments. After the eligibility procedures, 80 women entered the study. During the two-year follow-up, 18 participants discontinued participation for personal reasons unrelated to the study protocol, resulting in a final analytical sample of 62 women.

All participants received detailed verbal and written information regarding the procedures and provided written informed consent before participation. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, approved by the local Research Ethics Committee, and registered at ClinicalTrials.gov (NCT06621368).

Musculoskeletal vulnerability was operationally defined from the combination of ASMI and maximal muscular strength. These variables were selected because muscle quantity and muscular strength represent complementary dimensions of musculoskeletal health during aging (CRUZ-JENTOFT et al., 2019). Moreover, muscular strength may provide information regarding functional deterioration that is not fully captured by SMM alone, supporting a multidimensional characterization of muscle health in older adults (CRUZ-JENTOFT et al., 2019; NUNES et al., 2020).

For each participant, standardized scores (z-scores) were calculated separately for ASMI and total muscular strength. Total muscular strength was determined as the sum of the loads obtained in the one-repetition maximum (1RM) tests for the chest press, leg extension, and preacher curl exercises. A composite musculoskeletal score was then calculated as:

$$(\text{ASMI z-score} + \text{total muscular strength z-score}) / 2.$$

Participants were stratified according to the median of the composite score into HMV (values below the median) and LMV (values at or above the median). The initial stratification resulted in 40 participants in each group. Following attrition during the two-year follow-up, the final analytical sample comprised 32 women in the HMV group and 30 women in the LMV group.

Importantly, this classification was designed to provide a relative and operational characterization of baseline musculoskeletal condition within the study sample. It was not intended to diagnose sarcopenia or to replace established clinical criteria for this condition (CRUZ-JENTOFT et al., 2019). Therefore, HMV and LMV refer exclusively to the relative combination of SMM and muscular strength within the distribution of the present sample.

5.1.2.3 *Resistance training program*

The RT program was performed for two years, three times per week on non-consecutive days (Mondays, Wednesdays, and Fridays), at the university fitness facility. All training sessions were directly supervised by experienced Physical Education professionals to ensure participant safety, exercise standardization, appropriate execution technique, and progression of training loads.

The program comprised eight exercises targeting the major muscle groups: chest press, seated row, triceps pushdown, preacher curl, horizontal leg press, leg extension, seated

leg curl, and seated calf raise. Participants performed three sets of 8–12 repetitions per exercise, consistent with recommendations for RT prescription in older adults (FRAGALA et al., 2019; RATAMESS et al., 2009). The concentric and eccentric phases of each repetition were performed in approximately 1–2 s, respectively. Rest intervals of 1–2 min were provided between sets and 2–3 min between exercises.

Training loads were individually adjusted according to repetition performance to maintain progressive overload throughout the intervention. When participants completed the upper limit of the prescribed repetition range in all sets in two consecutive sessions, loads were progressively increased by approximately 2–5% for upper-body exercises and 5–10% for lower-body exercises (RATAMESS et al., 2009). Training attendance was recorded throughout the follow-up period.

5.1.2.4 *Cardiometabolic risk factors*

Venous blood samples were collected between 7:00 and 9:00 a.m. following a minimum 12-h overnight fast. Participants remained seated at rest for at least 5 min before blood collection. Samples were obtained by trained laboratory personnel using standardized procedures.

Serum concentrations of fasting glucose, triglycerides, total cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol (HDL-c), and high-sensitivity C-reactive protein were determined using standardized laboratory procedures at a specialized university hospital laboratory. Low-density lipoprotein cholesterol (LDL-c) was estimated using the Friedewald equation (FRIEDEWALD et al., 1972). Biochemical analyses were performed using an automated analyzer (Dimension RxL Max; Siemens Dade Behring, Erlangen, Germany) according to the manufacturer's recommendations and established laboratory procedures. Inter- and intra-assay coefficients of variation were <10%.

For exploratory analyses examining the relationship between musculoskeletal and cardiometabolic changes, individual cardiometabolic variables were standardized and combined into a composite cardiometabolic risk score. The direction of variables was standardized so that higher scores consistently represented a less favorable cardiometabolic profile.

5.1.2.5 *Muscular strength*

Maximal dynamic muscular strength was assessed using 1RM tests in the chest press, leg extension, and preacher curl exercises according to procedures previously shown to provide reliable measurements in older women (DO NASCIMENTO et al., 2013; NUNES et al., 2020). Although handgrip strength is commonly used for clinical screening of low muscle strength (CRUZ-JENTOFT et al., 2019), exercise-specific 1RM tests were used to provide a

broader assessment of maximal dynamic strength and have demonstrated strong relationships with overall muscular strength in older women (NUNES et al., 2020).

Participants underwent three testing sessions separated by 48–72 h to minimize learning effects and improve measurement reliability. Each session included a standardized warm-up followed by up to three maximal attempts with progressively adjusted loads. The highest load successfully lifted through the complete range of motion was recorded as the 1RM for each exercise. Two experienced evaluators supervised all testing procedures. Total muscular strength was calculated as the sum of the 1RM loads obtained in the chest press, leg extension, and preacher curl. The procedures demonstrated high reproducibility, with standard errors of measurement < 5% and intraclass correlation coefficients > 0.96.

5.1.2.6 Body composition

Body composition was assessed by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) using a Lunar Prodigy Advance scanner (model NRL 41990; General Electric, Madison, WI, USA). Measurements included total and regional lean soft tissue (LST), appendicular lean soft tissue (ALST), and total and regional fat mass. SMM was estimated from DXA-derived ALST using the predictive equation proposed by Kim et al. (2002). ASMI was calculated from appendicular muscle mass divided by height squared (kg/m^2), consistent with the use of appendicular muscle quantity in the assessment of musculoskeletal health in older adults (CRUZ-JENTOFT et al., 2019).

Before scanning, participants removed all metal objects and were positioned supine along the longitudinal centerline of the scanning table. Feet were secured together at the toes to minimize movement, and the hands were maintained in a pronated position within the scanning region. Calibration, acquisition, and analysis were performed by the same experienced technician according to the manufacturer's recommendations. Standard anatomical lines generated by the software were inspected and manually adjusted when necessary according to manufacturer-defined anatomical landmarks.

Reliability was high for upper-limb LST (SEM = 0.1 kg; ICC = 0.99), lower-limb LST (SEM = 0.2 kg; ICC = 0.99), trunk LST (SEM = 0.3 kg; ICC = 0.99), total body fat (SEM = 0.1 kg; ICC = 0.99), trunk fat (SEM = 0.6 kg; ICC = 0.99), gynoid fat (SEM = 0.1 kg; ICC = 0.99), and android fat (SEM = 0.2 kg; ICC = 0.99).

5.1.2.7 Functional fitness tests

Functional fitness was assessed using four standardized motor tests: 4-m usual gait speed, walking agility, 30-s chair stand, and the 6-min walk test (6MWT) (RIKLI; JONES, 2013). For the 4-m gait test, participants walked along an 8-m course comprising a central 4-m timed section and 2-m acceleration and deceleration zones. Time to complete the central 4

m was recorded to the nearest 0.01 s using a stopwatch. Three trials were performed, and the mean value was used for analysis.

For the walking agility test, participants started seated on a chair with their back against the backrest, feet supported on the floor, and hands resting on the thighs. At the evaluator's command, participants stood, walked around a cone positioned in front of the chair, returned to the starting position, and sat down as quickly as possible without running. Time was recorded from the initial movement to stand until the participant returned to the seated position. Three trials were performed, and the best performance was retained for analysis. For the 30-s chair stand test, participants began seated with their feet supported on the floor and arms crossed over the chest. They were instructed to perform as many complete sit-to-stand repetitions as possible within 30 s. The number of correctly completed repetitions was recorded. For the 6MWT, participants were instructed to walk as far as possible without running for 6 min around a standardized rectangular course. Total distance covered was recorded in meters. The test was used as an indicator of walking capacity and functional endurance.

5.1.2.8 Dietary intake

Dietary intake was assessed using 24-hour dietary recall obtained during the first and last two weeks of the follow-up. Participants were instructed by trained researchers to record all foods and beverages consumed, including portion sizes and preparation methods. Total energy intake and the relative intake of protein, carbohydrate, and fat were subsequently estimated and expressed relative to body mass when appropriate. Dietary data were used to examine whether major changes in habitual energy and macronutrient intake occurred during the study period.

5.1.2.9 Statistical analysis

Data distribution and homogeneity of variance were examined using the Shapiro–Wilk and Levene tests, respectively. Descriptive data are presented as mean $\pm$ standard deviation or relative frequencies, as appropriate. Baseline characteristics were compared between groups using independent-samples t-tests, one-way analysis of variance, Kruskal–Wallis tests, or chi-square tests according to variable type and distribution.

Because the HMV and LMV groups were defined according to baseline musculoskeletal characteristics and consequently differed in several baseline variables, between-group comparisons following the two-year follow-up were performed using analysis of covariance (ANCOVA). Post-intervention values were entered as dependent variables, with the corresponding baseline value, age, and fat mass included as covariates. Adjusted post-intervention means and 95% confidence intervals were calculated. When appropriate, pairwise comparisons were performed using Bonferroni-adjusted procedures.

Within-group changes from baseline to follow-up were examined separately to characterize the longitudinal changes observed in each group. However, statistical significance within one group and absence of significance within the other were not interpreted as evidence of differential responsiveness. Evidence of differences between HMV and LMV was based on direct adjusted between-group comparisons.

Associations between changes in SMM and total muscular strength and changes in the composite cardiometabolic risk score were examined using Pearson correlation coefficients. When assumptions for parametric analyses were not satisfied, the corresponding non-parametric procedure was applied. Correlation coefficients were interpreted according to their direction and magnitude, without inferring causality from the observed associations.

Effect sizes (ES) were calculated as the difference between post- and pre-intervention means divided by the pooled baseline standard deviation. ES values were interpreted according to Cohen (1992) as trivial (<0.20), small ($0.20\text{--}0.49$), moderate ($0.50\text{--}0.79$), or large (≥ 0.80).

To complement the interpretation of the magnitude of longitudinal changes, a distribution-based threshold for minimally important change was estimated as $0.2 \times$ the baseline standard deviation (BLOOM et al., 2023). Because this threshold was derived from the statistical distribution of the sample rather than from an external clinical or patient-centered anchor, it was considered a complementary distribution-based indicator and was not interpreted as a validated minimal clinically important difference (MCID) for the respective outcomes. All statistical analyses were performed using JAMOV software (version 2.4.11; The JAMOV Project, Sydney, Australia), with statistical significance set at $P < 0.05$.

5.1.3 Results

A total of 120 older women were initially screened for eligibility, of whom 80 met the inclusion criteria and entered the two-year follow-up. Based on the baseline composite musculoskeletal score, 40 participants were classified as having HMV and 40 as having LMV. During the follow-up, 18 participants discontinued participation for personal reasons unrelated to the study protocol (HMV, $n = 8$; LMV, $n = 10$). Therefore, the final analytical sample comprised 62 women (HMV, $n = 32$; LMV, $n = 30$). No adverse events related to the RT program were reported during the intervention period (**Figure 1**).

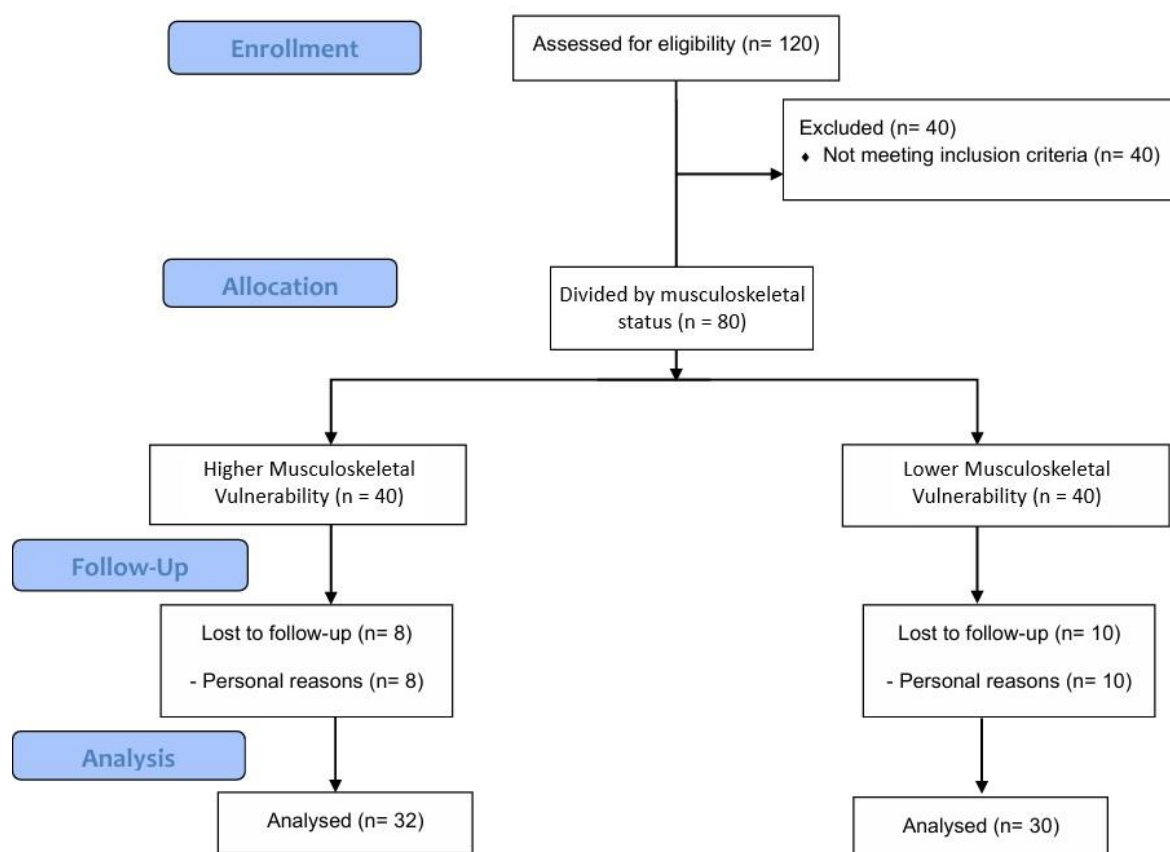


Figure 1. Flowchart of the study.

Baseline characteristics are presented in **Table 1**. As expected from the stratification procedure, women in the HMV group had lower SMM, ALST, ASMI, and muscular strength than those in the LMV group ($P < 0.001$). The HMV group was also older and had lower body mass, stature, BMI, and absolute fat mass ($P < 0.001$). Functional fitness and most cardiometabolic variables were similar between groups at baseline, whereas HDL-c was higher in HMV than in LMV ($P = 0.004$).

Table 1. General characteristics of both groups.

Variables	HMV (n = 32)	LMV (n = 30)	<i>P</i> -value
Age (Years)	72.0 ± 5.5	66.4 ± 5.2	< 0.001
Body mass (kg)	58.1 ± 8.3	79.0 ± 10.9	< 0.001
Stature (cm)	151.1 ± 4.6	159.8 ± 6.0	< 0.001
BMI (kg/m ²)	25.4 ± 3.5	30.9 ± 4.2	< 0.001
SMM (kg)	15.40 ± 1.54	21.74 ± 2.53	< 0.001
ALST (kg)	14.05 ± 1.37	19.56 ± 2.25	< 0.001
ASMI (kg/m ²)	6.15 ± 0.55	7.67 ± 0.95	< 0.001
Relative fat mass (%)	39.5 ± 6.1	41.9 ± 4.1	0.066
Fat mass	23.4 ± 6.4	33.4 ± 7.5	< 0.001
Chest press 1RM (kg)	32.89 ± 6.13	46.43 ± 7.31	< 0.001
Leg extension 1RM (kg)	40.67 ± 8.83	65.30 ± 13.10	< 0.001
Preacher curl 1RM (kg)	20.83 ± 3.19	28.97 ± 3.34	< 0.001
Total strength 1RM (kg)	94.39 ± 15.23	140.70 ± 16.24	< 0.001
Gait speed (s)	3.38 ± 0.49	3.33 ± 0.52	0.72
Walking agility (s)	7.29 ± 1.70	7.00 ± 1.69	0.47
30-s chair stand (reps)	12.57 ± 2.50	12.49 ± 2.94	0.89
6MWT (m)	494.69 ± 67.76	509.89 ± 58.17	0.32
Glucose (mg/dL)	104.51 ± 19.34	107.15 ± 16.35	0.54
HDL-c (mg/dL)	64.37 ± 12.83*	54.47 ± 14.46	0.004
LDL-c (mg/dL)	119.85 ± 34.02	120.20 ± 34.39	0.96
TG (mg/dL)	112.17 ± 43.13	127.24 ± 59.41	0.23
TC (mg/dL)	206.46 ± 36.59	200.94 ± 38.63	0.54
C-reactive protein (mg/L)	2.44 ± 1.59	2.63 ± 1.58	0.61
<i>Medical history (%)</i>			
Hypertension	54.3	54.2	1.00
Diabetes	11.4	25.7	0.12
Dyslipidemia	31.4	37.1	0.61
Other	45.7	51.4	0.63

Note: SMM = skeletal muscle mass; ALST = appendicular lean soft tissue; ASMI = appendicular skeletal muscle mass index; RM = repetition maximum; 6MWT = six minutes walking test; HDL-c = high-density lipoprotein cholesterol; LDL-c = low-density lipoprotein cholesterol; TG = triglycerides; TC = total cholesterol.

Energy and macronutrient intake are presented in **Table 2**. No evidence of differential changes between groups was observed for total energy, protein, carbohydrate, or fat intake over the study period ($P > 0.05$). Overall, dietary intake remained relatively stable between the beginning and end of the two-year follow-up.

Table 2. Energy and macronutrient intake at baseline according to the groups.

	HMV (n = 32)	LMV (n = 30)	Interaction effects ANCOVA <i>P</i> -value
<i>Energy (kcal/kg/day)</i>			
Pre-training	22.5 ± 5.1	28.4 ± 9.4	0.30
Post-training	20.5 ± 5.9	24.1 ± 6.0	
<i>Protein (g/kg/day)</i>			
Pre-training	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.5	0.45
Post-training	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.3	
<i>Carbohydrate (g/kg/day)</i>			
Pre-training	3.1 ± 0.9	3.7 ± 1.3	0.83
Post-training	3.2 ± 0.8	3.2 ± 0.8	
<i>Lipid (g/kg/day)</i>			
Pre-training	0.7 ± 0.3	0.9 ± 0.3	0.27
Post-training	0.6 ± 0.2	0.8 ± 0.3	

Note: Data are expressed as mean and standard deviation.

Cardiometabolic outcomes are presented in **Figure 2** and **Table 3**. Fasting glucose decreased from 105.7 ± 21.0 to 98.6 ± 17.0 mg/dL in HMV and from 103.0 ± 12.5 to 98.6 ± 11.1 mg/dL in LMV, corresponding to reductions of approximately 6.7% and 4.3%, respectively. Significant within-group reductions were observed in both groups ($P < 0.05$), whereas the adjusted between-group comparison did not indicate a difference in the magnitude of change ($P = 0.87$).

LDL-c also decreased significantly in both groups, from 120.8 ± 30.9 to 103.4 ± 29.3 mg/dL in HMV and from 122.8 ± 36.9 to 111.0 ± 33.8 mg/dL in LMV ($P < 0.05$), representing reductions of approximately 14.4% and 9.6%, respectively. The corresponding effect sizes were -0.51 and -0.35 . No adjusted between-group difference was detected ($P = 0.88$). Total cholesterol decreased from 207.2 ± 34.6 to 184.0 ± 34.0 mg/dL in HMV and from 205.9 ± 40.3 to 188.7 ± 35.9 mg/dL in LMV ($P < 0.05$), corresponding to reductions of approximately 11.2% and 8.4%, respectively. Effect sizes were moderate in HMV ($ES = -0.62$) and small in LMV ($ES = -0.46$), with no evidence of an adjusted between-group difference ($P = 0.32$). Triglycerides decreased significantly in HMV, from 115.6 ± 46.8 to 97.0 ± 39.5 mg/dL (-16.1% ; $P < 0.05$; $ES = -0.34$), whereas little change was observed in LMV (123.9 ± 62.0 to 121.7 ± 65.0 mg/dL; $ES = -0.04$). However, the adjusted between-group comparison was not statistically significant ($P = 0.13$). HDL-c did not change significantly in either group (HMV: 63.2 ± 13.1 to 61.1 ± 10.4 mg/dL; LMV: 56.8 ± 14.5 to 54.4 ± 13.0 mg/dL), and the adjusted comparison between groups was not significant ($P = 0.48$).

Similarly, C-reactive protein decreased significantly within HMV, from 2.62 ± 1.69 to 2.20 ± 1.41 mg/L (-16.0% ; $P < 0.05$; $ES = -0.27$), whereas the change in LMV was small (2.52

± 1.47 to 2.40 ± 1.72 mg/L; ES = -0.08). Nevertheless, no adjusted between-group difference was detected ($P = 0.52$). Overall, therefore, favorable changes in fasting glucose, LDL-c, and total cholesterol were observed in both musculoskeletal vulnerability groups. Although reductions in triglycerides and C-reactive protein reached statistical significance only within HMV, the adjusted between-group analyses did not provide evidence that the magnitude of these changes differed between HMV and LMV.

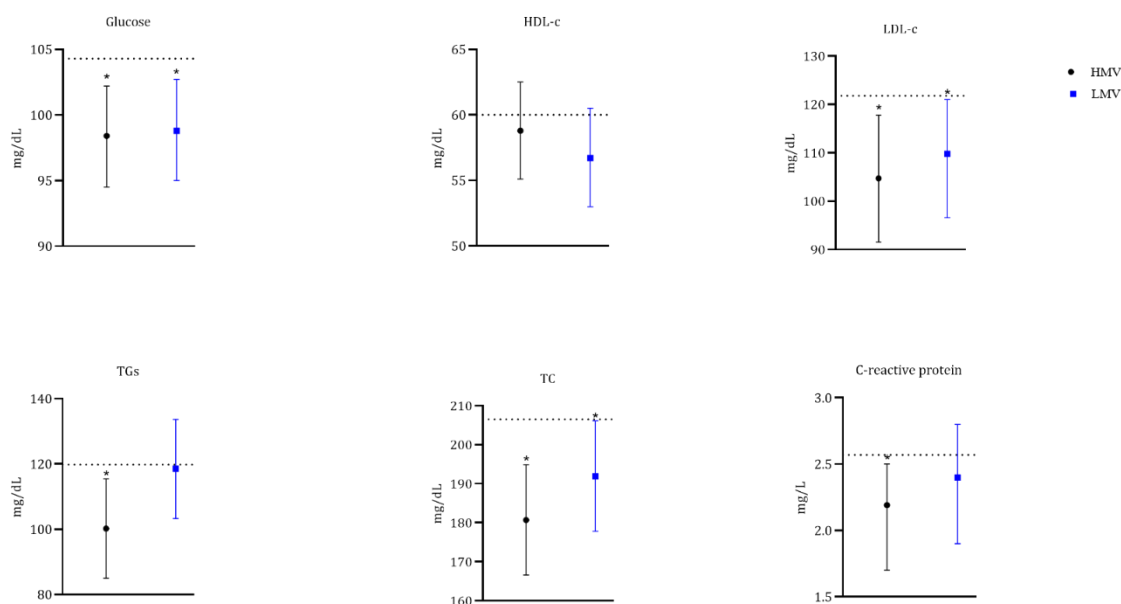


Figure 2. Cardiometabolic risk factors according to groups. Data are expressed as ANCOVA-adjusted means and 95% confidence intervals. Covariate means for: Glucose = 104.3; HDL-c = 60.0; LDL-c = 121.8; TG = 119.8; TC = 206.5; C-reactive protein = 2.57.

Table 3. Cardiovascular risk factors at pre- and post-training in both experimental groups.

Variables	HMV (n = 32)	LMV (n = 30)	Interaction <i>P</i> -value
<i>Glucose (mg/dL)</i>			
Pre-training	105.7 ± 21.0	103.0 ± 12.5	0.87
Post-training	98.6 ± 17.0*	98.6 ± 11.1*	
Effect size	-0.42	-0.26	
<i>HDL-c (mg/dL)</i>			
Pre-training	63.2 ± 13.1	56.8 ± 14.46	0.48
Post-training	61.1 ± 10.4	54.4 ± 13.0	
Effect size	-0.15	-0.17	
<i>LDL-c (mg/dL)</i>			
Pre-training	120.8 ± 30.9	122.8 ± 36.9	0.88
Post-training	103.4 ± 29.3*	111.0 ± 33.8*	
Effect size	-0.51	-0.35	
<i>TG (mg/dL)</i>			
Pre-training	115.6 ± 46.8	123.9 ± 62.0	0.13
Post-training	97.0 ± 39.5*	121.7 ± 65.0	
Effect size	-0.34	-0.04	
<i>TC (mg/dL)</i>			
Pre-training	207.2 ± 34.6	205.9 ± 40.3	0.32
Post-training	184.0 ± 34.0*	188.7 ± 35.9*	
Effect size	-0.62	-0.46	
<i>C-reactive protein (mg/L)</i>			
Pre-training	2.62 ± 1.69	2.52 ± 1.47	0.52
Post-training	2.20 ± 1.41*	2.40 ± 1.72	
Effect size	-0.27	-0.08	

Note: HDL-c = high-density lipoprotein cholesterol; LDL-c = low-density lipoprotein cholesterol; TG = triglycerides; TC = total cholesterol. Values are presented as mean and standard. * = $P < 0.05$ vs pre-training.

Changes in body composition are presented in **Figure 3** and **Table 4**. SMM increased from 15.30 ± 1.67 to 16.30 ± 1.89 kg in HMV and from 21.35 ± 2.44 to 22.26 ± 2.17 kg in LMV, corresponding to increases of approximately 6.5% and 4.3%, respectively. The increase reached statistical significance after adjustment in LMV, whereas it did not consistently reach statistical significance in HMV. Nevertheless, the effect sizes were similar and large in both groups (HMV, ES = 0.97; LMV, ES = 0.89), and no adjusted between-group difference was detected ($P = 0.27$).

ALST increased from 13.99 ± 1.40 to 14.64 ± 1.46 kg in HMV and from 19.25 ± 2.25 to 19.86 ± 1.89 kg in LMV. The corresponding effect sizes were small and similar between groups (ES = 0.36 and 0.33, respectively). A statistically significant adjusted difference between groups was observed for ALST ($P < 0.001$), with higher absolute values in LMV, consistent with the baseline stratification of the sample. ASMI showed comparatively smaller changes, increasing from 6.13 ± 0.55 to 6.27 ± 1.49 kg/m² in HMV and from 7.51 ± 0.87 to 7.75 ± 0.73 kg/m² in LMV. Effect sizes were small (HMV, ES = 0.20; LMV, ES = 0.34), and no adjusted between-group difference in the longitudinal response was identified.

Relative fat mass decreased significantly in both groups, from $39.32 \pm 6.68\%$ to $38.29 \pm 6.59\%$ in HMV and from $41.74 \pm 4.35\%$ to $40.55 \pm 4.53\%$ in LMV ($P < 0.05$). Effect sizes were trivial to small ($ES = -0.18$ and -0.22 , respectively), and the adjusted between-group comparison was not significant ($P = 0.98$). Absolute fat mass decreased from 23.24 ± 7.02 to 22.69 ± 6.73 kg in HMV and from 32.54 ± 7.15 to 31.45 ± 7.39 kg in LMV. The reduction reached statistical significance only in LMV, although effect sizes were trivial in both groups (HMV, $ES = -0.08$; LMV, $ES = -0.15$), with no evidence of an adjusted between-group difference ($P = 0.56$). Thus, changes in body composition were less uniform than those observed for muscular strength and functional fitness. Although some muscle- and fat-related variables reached statistical significance within only one group, the overall pattern did not consistently support differential responsiveness according to baseline musculoskeletal vulnerability.

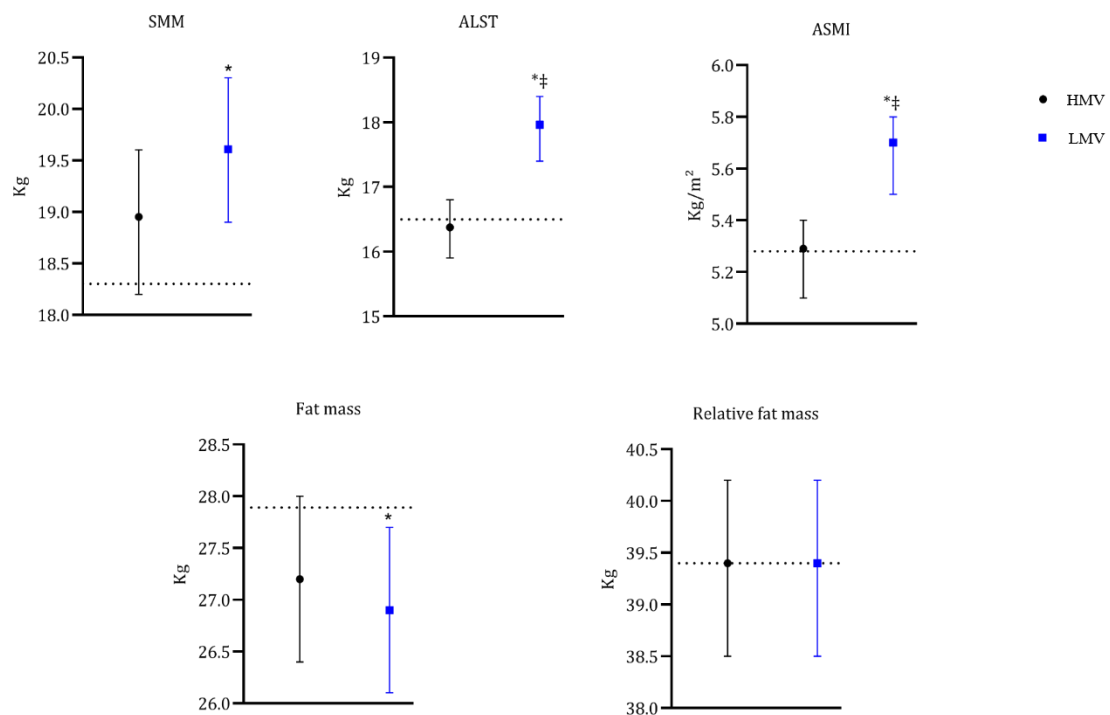


Figure 3. Body composition according to groups. Data are expressed as ANCOVA-adjusted means and 95% confidence intervals. Covariate means for: SMM = 18.3; ALST = 16.4; ASMI = 5.2; TG = 119.8; Relative fat mass = 40.5; Fat mass = 27.8. ‡ = $P < 0.05$ between groups.

Table 4. Body composition and muscular strength at pre- and post-training in both experimental groups.

Variables	HMV (n = 32)	LMV (n = 30)	Interaction <i>P</i> -value
<i>SMM (kg)</i>			
Pre-training	15.30 ± 1.67	21.35 ± 2.44	0.27
Post-training	16.30 ± 1.89	22.26 ± 2.17*	
Effect size	0.97	0.89	
<i>ALST (kg)</i>			
Pre-training	13.99 ± 1.40	19.25 ± 2.25	< 0.001
Post-training	14.64 ± 1.46	19.86 ± 1.89*‡	
Effect size	0.36	0.33	
<i>ASMI (kg/m²)</i>			
Pre-training	6.13 ± 0.55	7.51 ± 0.87	0.10
Post-training	6.27 ± 1.49	7.75 ± 0.73	
Effect size	0.20	0.34	
<i>Relative fat mass (%)</i>			
Pre-training	39.32 ± 6.68	41.74 ± 4.35	0.98
Post-training	38.29 ± 6.59*	40.55 ± 4.53*	
Effect size	-0.18	-0.22	
<i>Fat mass (kg)</i>			
Pre-training	23.24 ± 7.02	32.54 ± 7.15	0.56
Post-training	22.69 ± 6.73	31.45 ± 7.39*	
Effect size	-0.08	-0.15	
<i>Chest press 1RM (kg)</i>			
Pre-training	33.5 ± 5.8	46.7 ± 6.6	0.24
Post-training	48.5 ± 9.3*	64.4 ± 11.7*	
Effect size	2.42	2.85	
<i>Leg extension 1RM (kg)</i>			
Pre-training	41.6 ± 8.3	68.1 ± 12.3	0.72
Post-training	52.4 ± 10.9*	78.8 ± 16.4*	
Effect size	1.05	1.04	
<i>Preacher curl 1RM (kg)</i>			
Pre-training	20.7 ± 3.2	29.1 ± 3.1	0.62
Post-training	28.2 ± 4.6*	37.2 ± 8.2*	
Effect size	2.38	2.57	
<i>Total strength 1RM (kg)</i>			
Pre-training	96.3 ± 14.6	144.0 ± 15.0	0.70
Post-training	124.4 ± 22.2*	180.5 ± 23.0*	
Effect size	1.90	2.47	

Note: SMM = skeletal muscle mass; ALST = appendicular lean soft tissue; ASMI = appendicular skeletal muscle mass index. Values are presented as mean and standard deviation. * = $P < 0.05$ vs pre-training. ‡ = $P < 0.05$ between groups.

Substantial increases in maximal muscular strength were observed in both groups (**Figure 4** and **Table 4**). Chest press 1RM increased from 33.5 ± 5.8 to 48.5 ± 9.3 kg in HMV and from 46.7 ± 6.6 to 64.4 ± 11.7 kg in LMV ($P < 0.05$). The effect sizes were large in both groups (ES = 2.42 and 2.85, respectively), with no evidence of an adjusted difference in response between groups ($P = 0.24$). Leg extension 1RM increased from 41.6 ± 8.3 to 52.4 ± 10.9 kg in HMV and from 68.1 ± 12.3 to 78.8 ± 16.4 kg in LMV ($P < 0.05$). Effect sizes were similarly large (ES = 1.05 and 1.04), and the adjusted between-group comparison was not

significant ($P = 0.72$). Preacher curl 1RM increased from 20.7 ± 3.2 to 28.2 ± 4.6 kg in HMV and from 29.1 ± 3.1 to 37.2 ± 8.2 kg in LMV ($P < 0.05$), with large effect sizes in both groups ($ES = 2.38$ and 2.57 , respectively; adjusted between-group $P = 0.62$). Total muscular strength increased from 96.3 ± 14.6 to 124.4 ± 22.2 kg in HMV and from 144.0 ± 15.0 to 180.5 ± 23.0 kg in LMV ($P < 0.05$). The corresponding effect sizes were large (HMV, $ES = 1.90$; LMV, $ES = 2.47$), and no adjusted between-group difference was observed ($P = 0.70$). Collectively, these findings indicate substantial strength adaptations in both HMV and LMV, without consistent evidence that baseline musculoskeletal vulnerability was associated with a different magnitude of strength response.

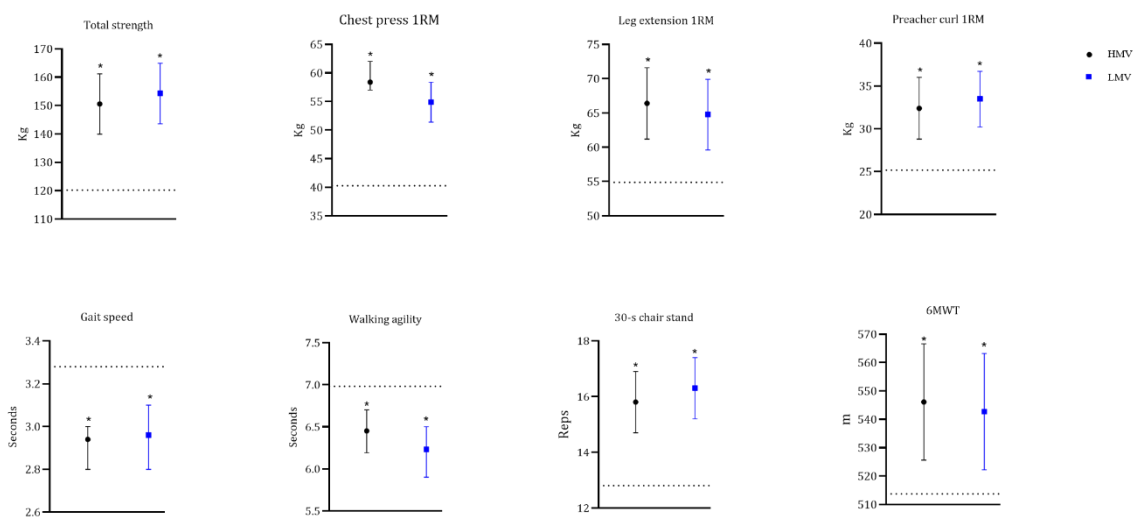


Figure 4. Functional capacity and muscular strength according to groups. Data are expressed as ANCOVA-adjusted means and 95% confidence intervals. Covariate means for: Chest press = 40.2; Leg extension = 54.8; Preacher curl = 25.1; Total strength = 120.2; Gait speed = 3.2; Walking agility = 6.9; 30s chair stand = 12.8; 6MWT = 513.7.

All functional fitness outcomes improved significantly ($P < 0.05$) in both groups ($P < 0.05$). Time to complete the 4-m gait test decreased from 3.29 ± 0.46 to 2.96 ± 0.43 s in HMV and from 3.27 ± 0.51 to 2.96 ± 0.43 s in LMV. Effect sizes were moderate and similar between groups ($ES = -0.68$ and -0.64 , respectively), with no adjusted between-group difference ($P = 0.85$). Walking agility time decreased from 7.05 ± 1.31 to 6.52 ± 1.02 s in HMV and from 6.91 ± 1.75 to 6.17 ± 1.07 s in LMV ($P < 0.05$), corresponding to small effect sizes ($ES = -0.35$ and -0.48 , respectively). The adjusted between-group comparison was not significant ($P = 0.28$). Performance in the 30-s chair stand increased from 12.8 ± 2.6 to 16.0 ± 2.7 repetitions in HMV and from 12.8 ± 3.0 to 16.2 ± 4.4 repetitions in LMV ($P < 0.05$). Large effect sizes were observed in both groups ($ES = 1.14$ and 1.21), with no adjusted difference between groups ($P = 0.58$). The distance covered during the 6MWT increased from 500.7 ± 63.3 to 535.1 ± 58.8

m in HMV and from 526.7 ± 43.5 to 553.7 ± 58.0 m in LMV ($P < 0.05$). Effect sizes were moderate (ES = 0.64 and 0.51, respectively), and the adjusted between-group comparison was not significant ($P = 0.83$). Thus, improvements in mobility, agility, lower-body functional performance, and walking capacity were observed in both groups, with no consistent evidence of differential functional responsiveness according to baseline musculoskeletal vulnerability.

Table 5. Functional fitness at pre and post-training in both experimental groups.

Variables	HMV (n = 32)	LMV (n = 30)	Interaction <i>P</i> -value
<i>Gait speed (s)</i>			
Pre-training	3.29 ± 0.46	3.27 ± 0.51	0.85
Post-training	$2.96 \pm 0.43^*$	$2.96 \pm 0.43^*$	
Effect size	-0.68	-0.64	
<i>Walking agility (s)</i>			
Pre-training	7.05 ± 1.31	6.91 ± 1.75	0.28
Post-training	$6.52 \pm 1.02^*$	$6.17 \pm 1.07^*$	
Effect size	-0.35	-0.48	
<i>30-s chair stand (reps)</i>			
Pre-training	12.8 ± 2.6	12.8 ± 3.0	0.58
Post-training	$16.0 \pm 2.7^*$	$16.2 \pm 4.4^*$	
Effect size	1.14	1.21	
<i>6MWT (m)</i>			
Pre-training	500.7 ± 63.3	526.7 ± 43.5	0.83
Post-training	$535.1 \pm 58.8^*$	$553.7 \pm 58.0^*$	
Effect size	0.64	0.51	

Note: Values are presented as mean and standard deviation. * = $P < 0.05$ vs pre-training.

Changes in SMM were inversely associated with changes in the composite cardiometabolic risk score ($r = -0.27$; $P = 0.04$), indicating that greater increases in SMM tended to occur alongside more favorable changes in the cardiometabolic profile. Similarly, changes in total muscular strength were inversely associated with changes in the composite cardiometabolic risk score ($r = -0.28$; $P = 0.03$). Although statistically significant, both associations were small in magnitude and should therefore be interpreted as modest relationships between concurrent musculoskeletal and cardiometabolic changes rather than evidence of a causal relationship (**Figure 5**).

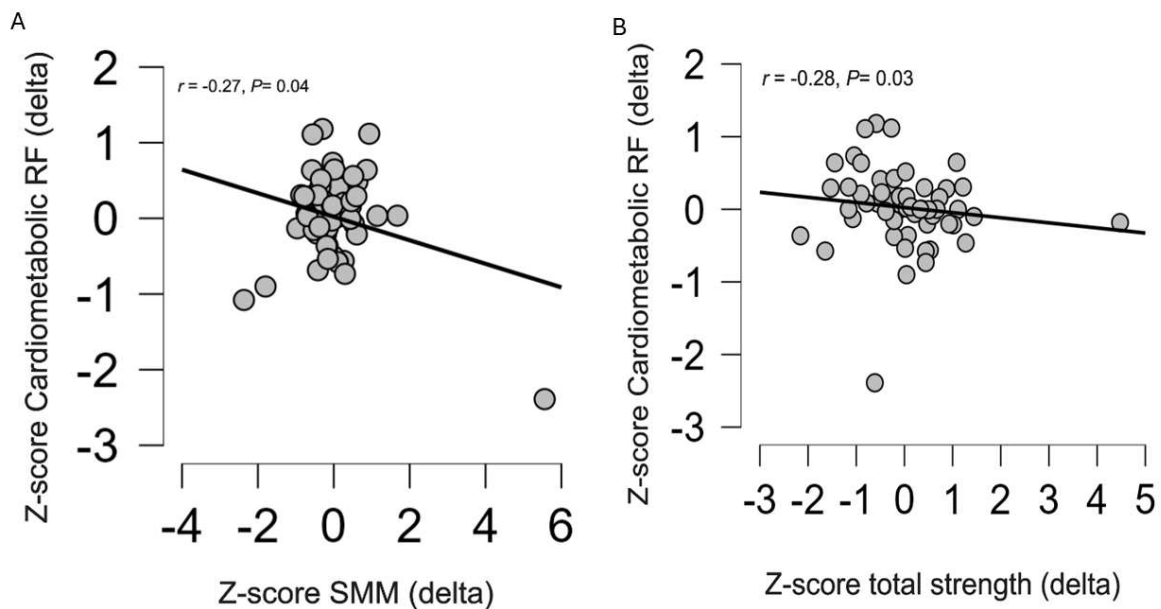


Figure 5. Correlation between z-score cardiometabolic risk factor (delta) and z-score SMM (delta); $r = -0.27$ ($P = 0.04$).

Effect-size analyses showed that the largest adaptations occurred in muscular strength, with large effects across all 1RM outcomes in both groups. Large effects were also observed for the 30-s chair stand, whereas moderate effects were observed for gait speed and the 6MWT. Cardiometabolic outcomes generally showed small-to-moderate effect sizes, while changes in adiposity were predominantly trivial to small. A distribution-based threshold corresponding to $0.2 \times$ the baseline standard deviation was additionally used as a complementary indicator of the magnitude of individual outcome changes. Because this threshold was derived from sample variability rather than from an external clinical or patient-centered anchor, it was interpreted only as a distribution-based estimate of minimally important change and not as a validated minimal clinically important difference.

Table 6. Effect sizes and MCID values of all outcomes according to both groups.

Variables	Effect Size			MCID	
	HMV	LMV	Difference	HMV	LMV
SMM	0.97	0.89	0.08	0.33	0.48
ALST	0.36	0.33	0.03	0.28	0.45
ASMI	0.20	0.34	-0.14	0.11	0.17
Relative fat mass	-0.18	-0.22	0.04	1.33	0.87
Fat mass	-0.08	-0.15	0.07	1.40	1.43
Chest press 1RM	2.42	2.85	-0.43	1.16	1.32
Leg extension 1RM	1.05	1.04	0.01	1.66	2.46
Preacher curl 1RM	2.38	2.57	-0.19	0.64	0.62
Total strength 1RM	1.90	2.47	-0.57	2.92	3.0
Glucose	-0.42	-0.26	-0.16	4.2	2.5
HDL-c	-0.15	-0.17	0.02	2.62	2.89
LDL-c	-0.51	-0.35	-0.16	6.18	7.38
TGs	-0.34	-0.04	-0.3	9.36	12.4
TC	-0.62	-0.46	-0.16	6.92	8.06
C-reactive protein	-0.27	-0.08	-0.19	0.33	0.29
Gait speed	-0.68	-0.64	-0.04	0.09	0.10
Walking agility	-0.35	-0.48	0.13	0.26	0.35
30-s chair stand	1.14	1.21	-0.07	0.52	0.6
6MWT	0.64	0.51	0.13	12.66	8.7

Note: Difference effect size = Sarcopenic minus Non-sarcopenic. Effect size interpretation: 0.00–0.19 = trivial, 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = moderate, and ≥ 0.80 = large. MCID = minimal clinically important difference. The changes that have reached the MCID are presented in **bold**.

SMM = skeletal muscle mass; ALST = appendicular lean soft tissue; ASMI = appendicular skeletal muscle mass index; HDL-c = high-density lipoprotein cholesterol; LDL-c = low-density lipoprotein cholesterol; TGs = triglycerides; TC = total cholesterol; 6MWT = six-minute walking test.

5.1.4 Discussion

The present study investigated changes in cardiometabolic risk factors, body composition, muscular strength, and functional fitness associated with two years of supervised and progressive RT in older women with HMV and LMV. The main findings were that: (i) fasting glucose, LDL-c, and total cholesterol decreased in both groups; (ii) triglycerides and C-reactive protein decreased significantly only in women with HMV; (iii) SMM and ALST increased numerically in both groups, although statistically significant adjusted changes were observed predominantly in women with LMV; (iv) substantial increases in muscular strength and improvements in functional fitness were observed in both groups; and (v) changes in musculoskeletal characteristics were modestly associated with changes in cardiometabolic risk. Overall, these findings support the hypothesis that favorable adaptations may occur during long-term RT across different levels of baseline musculoskeletal vulnerability. Conversely, the hypothesis that women with HMV would systematically exhibit greater adaptations was not consistently supported.

The favorable changes observed in fasting glucose, LDL-c, and total cholesterol are consistent with previous evidence indicating that RT may contribute to improvements in several

components of cardiometabolic health. Systematic reviews and meta-analyses have reported favorable effects of RT on glycemic control and lipid profile, although the magnitude of these adaptations may vary according to baseline metabolic status, participant characteristics, and features of the training program (ASHTON et al., 2020; SARDELI et al., 2018). The reductions observed in the present study are particularly relevant because metabolic dysregulation becomes increasingly prevalent with advancing age and may coexist with deterioration in musculoskeletal health.

The reduction in fasting glucose observed in women with both HMV and LMV may be related, at least in part, to adaptations involving skeletal muscle. SMM represents a major site of peripheral glucose uptake and utilization, and lower SMM and muscle function have been associated with impaired metabolic regulation (KIM et al., 2021; TERADA et al., 2022). Accordingly, improvements in muscle quantity and, particularly, muscle function may provide a physiological environment more favorable to glucose homeostasis. Nevertheless, direct measures of insulin sensitivity, glucose transport, or intracellular signaling pathways were not obtained in the present study. Therefore, these mechanisms should be regarded as biologically plausible explanations rather than mechanisms directly demonstrated by our findings.

Similarly, the reductions in LDL-c and total cholesterol are consistent with evidence suggesting that RT may favorably influence lipid metabolism (ASHTON et al., 2020; SARDELI et al., 2018). However, lipid responses to exercise are heterogeneous and may be influenced by body composition, dietary intake, habitual physical activity, medication use, and baseline metabolic status. Thus, although participants were instructed to maintain their habitual dietary intake, medication use, and physical activity patterns throughout the study, the absence of a non-training control group prevents the observed lipid changes from being attributed exclusively to RT.

An interesting finding was that triglycerides and C-reactive protein decreased significantly only among women with higher musculoskeletal vulnerability. Lower SMM and muscle function have been associated with insulin resistance, lipid abnormalities, and chronic low-grade inflammation (BI et al., 2024; DU et al., 2018; TUTTLE et al., 2020), whereas higher concentrations of inflammatory biomarkers have been associated with lower SMM, strength, and physical function in older adults (WESTBURY et al., 2018). Thus, women with a less favorable baseline musculoskeletal condition might theoretically have greater room for metabolic and inflammatory improvement.

This interpretation, however, requires caution. A statistically significant change within one group and a non-significant change within another do not necessarily indicate that the groups differed in responsiveness. Evidence of differential responses should be based on the direct between-group comparison of post-intervention values adjusted for the respective baseline values and relevant covariates, as performed by the ANCOVA in the present study.

Therefore, although triglycerides and C-reactive protein decreased significantly only among women with HMV, these within-group findings should not be interpreted as evidence of greater responsiveness in this group unless supported by the adjusted between-group comparison. This distinction is particularly important when evaluating the hypothesis that greater baseline musculoskeletal vulnerability would be associated with greater adaptations to long-term RT.

Changes in body composition were less consistent than those observed for muscular strength and functional fitness. Although SMM and ALST increased numerically in both groups, statistically significant adjusted changes were observed predominantly among women with LMV. Importantly, this pattern should not be interpreted as evidence that women with LMV were more responsive. Indeed, the effect sizes for SMM were 0.97 and 0.89 and those for ALST were 0.36 and 0.33 in women with HMV and LMV, respectively, indicating broadly comparable magnitudes of change despite differences in within-group statistical significance. Accordingly, conclusions regarding differences between groups should be based on the adjusted between-group comparisons derived from the ANCOVA rather than on whether statistical significance was reached separately within each group.

The apparent dissociation between changes in SMM and muscular strength is physiologically plausible. Strength adaptations to RT reflect the combined contribution of morphological and neural adaptations; therefore, substantial increases in strength may occur even when changes in muscle tissue quantity are comparatively modest. Previous investigations involving older women have similarly demonstrated that RT can produce substantial improvements in strength with more heterogeneous changes in body composition (CARNEIRO et al., 2020, 2023; CUNHA et al., 2021; KASSIANO et al., 2021). Thus, the present findings reinforce the importance of evaluating muscle health multidimensionally rather than assuming that changes in muscular strength necessarily parallel changes in SMM.

Another consideration is that the groups were defined according to a composite score incorporating ASMI and muscular strength. Consequently, baseline differences in these variables were expected by design, with women classified as having HMV presenting a less favorable initial musculoskeletal profile. The use of ANCOVA, with post-intervention values adjusted for the corresponding baseline values, age, and fat mass, was therefore particularly important to reduce the influence of these initial differences when comparing groups. Nevertheless, because group classification was based on baseline characteristics that were subsequently reassessed, regression to the mean cannot be entirely excluded. Accordingly, greater changes among participants with less favorable baseline values should not automatically be interpreted as evidence of greater physiological responsiveness to RT.

In contrast to the less consistent changes in SMM, muscular strength increased substantially in both groups. Large effect sizes were observed across the 1RM tests, with effect sizes of 1.90 and 2.47 for total muscular strength in women with HMV and LMV, respectively.

These findings demonstrate substantial neuromuscular adaptations across different baseline musculoskeletal conditions and are consistent with previous studies showing that older women retain a considerable capacity to increase muscular strength in response to RT (CARNEIRO et al., 2020, 2023; CUNHA et al., 2021; KASSIANO et al., 2021). They are also consistent with recommendations positioning RT as a central component of exercise programs aimed at preserving physical capacity during aging (FRAGALA et al., 2019; IZQUIERDO et al., 2025).

The magnitude of these strength adaptations is particularly relevant because muscular strength is closely related to mobility and the ability to perform activities of daily living, whereas lower strength is associated with an increased risk of falls and loss of functional independence in older adults (BOBOWIK; WISZOMIRSKA, 2020; CHO et al., 2012). Accordingly, the improvements observed in gait speed, walking agility, the 30-s chair stand, and the 6-min walk test indicate that the adaptations associated with participation in the RT program extended beyond performance in the trained strength exercises. The particularly large effect sizes observed for the 30-s chair stand and the moderate effects observed for gait speed and 6-min walking performance reinforce the potential functional relevance of these adaptations.

These functional findings have important practical implications because walking, changing direction, rising from a chair, and sustaining locomotion are essential components of independent living. Favorable functional changes were observed in women with both HMV and LMV in baseline, suggesting that a less favorable initial musculoskeletal condition did not preclude meaningful functional adaptations during prolonged participation in RT. Nevertheless, as with the other outcomes, the presence of significant within-group improvements should not be interpreted as evidence of differential responsiveness between groups unless supported by the adjusted comparisons obtained from the ANCOVA.

Another relevant finding was the association between changes in musculoskeletal characteristics and cardiometabolic risk. Increases in SMM were inversely associated with changes in the composite cardiometabolic risk score ($r = -0.27$; $P = 0.04$), indicating that greater favorable changes in SMM tended to coexist with more favorable changes in the cardiometabolic profile. Similar associations between muscle-related characteristics and metabolic health have been reported previously (DE CARVALHO et al., 2021; CHUNG et al., 2013). The biological plausibility of this relationship is supported by the important role of skeletal muscle in glucose disposal and energy metabolism, as well as by the bidirectional relationship between muscle health, metabolic dysfunction, and systemic inflammation (BODINE; BAEHR, 2014; DASURI et al., 2013; KIM et al., 2021; TERADA et al., 2022).

Nevertheless, the magnitude of this association was small. A correlation of $r = -0.27$ corresponds to approximately 7% shared variance, indicating that most of the variability in cardiometabolic changes was not accounted for by changes in SMM. Cardiometabolic health is multifactorial and may be influenced by adiposity, habitual physical activity, dietary intake,

medication use, genetic characteristics, and other biological and behavioral factors. Therefore, this association should not be interpreted as evidence that increases in SMM caused the observed cardiometabolic changes. Rather, it provides modest support for an interrelationship between musculoskeletal and cardiometabolic adaptations. The same caution applies to the association observed between changes in muscular strength and the cardiometabolic risk score.

An exploratory finding was that approximately 25% of the women initially classified as having HMV no longer met the operational criterion for this category after two years. Although potentially relevant, this finding should not be interpreted as reversal of sarcopenia. Musculoskeletal vulnerability in the present investigation was defined by a composite z-score reflecting the relative distribution of SMM and muscular strength within the study sample rather than by validated clinical diagnostic criteria. Therefore, movement between categories indicates a change in relative musculoskeletal status according to the operational classification employed in the present study. Moreover, because the variables used to establish the groups were reassessed at follow-up, regression to the mean cannot be excluded. This result should therefore be considered exploratory rather than a clinical endpoint.

Taken together, the findings provide varying degrees of support for the study hypotheses. The hypothesis of favorable changes in cardiometabolic risk factors was generally supported, particularly for fasting glucose, LDL-c, and total cholesterol. The hypothesis regarding body composition received partial support, since changes in muscle-related outcomes were less consistent than those observed for muscular strength. In contrast, the hypothesis of increased muscular strength and improved functional fitness was strongly supported, with substantial adaptations observed in both groups. The hypothesis that women with HMV would exhibit systematically greater adaptations because of their greater potential room for improvement was not consistently supported by the adjusted between-group comparisons. Finally, the hypothesis of an association between musculoskeletal and cardiometabolic adaptations was supported, although the magnitude of these relationships was small.

These findings suggest that baseline musculoskeletal status does not determine responsiveness to long-term RT in a simple or uniform manner. Women with greater vulnerability may have more room for improvement in some outcomes, but lower physiological reserve, age-related biological constraints, or other individual characteristics could potentially attenuate adaptation. Conversely, women with a more favorable initial musculoskeletal condition may have less room for improvement in specific outcomes without necessarily possessing a lower capacity to adapt. Therefore, the findings more consistently support the interpretation that older women can exhibit favorable adaptations associated with prolonged

RT across different levels of baseline musculoskeletal vulnerability, rather than the proposition that women with greater vulnerability systematically respond better.

An important feature of the present study is the two-year duration of the RT program. Much of the available literature involving older adults is based on considerably shorter interventions, limiting understanding of adaptations associated with prolonged participation in structured exercise programs. Previous evidence indicates that intervention duration may influence cardiometabolic and musculoskeletal outcomes (ASHTON et al., 2020). Therefore, the substantial differences observed between baseline and the two-year assessment, particularly for muscular strength and functional fitness, extend previous evidence by demonstrating that favorable outcomes are present after prolonged participation in supervised and progressive RT.

However, the presence of only two assessment points is important when interpreting the longitudinal nature of these findings. The present design cannot determine whether adaptations progressively accumulated throughout the two-year period, occurred predominantly during the initial months and were subsequently maintained, or followed other temporal trajectories. Consequently, the findings support favorable adaptations associated with long-term participation in RT, but they should not be interpreted as evidence that these adaptations continued to increase throughout the entire two-year period.

The present study has several strengths. The two-year follow-up represents an important feature, particularly considering the predominance of shorter RT interventions in the literature involving older adults. In addition, all training sessions were directly supervised, and training loads were progressively adjusted according to individual performance. The multidimensional assessment of musculoskeletal, functional, and cardiometabolic outcomes, including DXA-derived body composition measures, standardized 1RM procedures, validated functional tests, and biochemical analyses, further strengthens the methodological quality of the investigation. Finally, the classification of women according to different baseline musculoskeletal conditions allowed the exploration of whether initial vulnerability was associated with the magnitude of adaptations observed over the prolonged follow-up.

Several limitations should also be acknowledged. First, the absence of a non-training control group and the non-randomized design limit internal validity and preclude strong causal inferences regarding the observed changes. Although ANCOVA models adjusted post-intervention values for the respective baseline values, age, and fat mass, statistical adjustment cannot account for all potential confounding factors. Changes in dietary intake, habitual physical activity, medication use, or other lifestyle and health-related factors during the two-year follow-up may have contributed to the observed outcomes. Second, habitual physical activity outside the RT sessions was not objectively monitored throughout the entire follow-up.

Given the prolonged duration of the study, potential changes in medication type or dosage may also have influenced cardiometabolic biomarkers.

Third, the classification of musculoskeletal vulnerability was based on a composite score derived from the study sample and therefore represents a relative and operational stratification rather than a clinical diagnosis. This characteristic limits direct comparison with investigations applying established diagnostic criteria for sarcopenia and may restrict the external generalizability of the classification. Moreover, because variables included in the classification were subsequently evaluated as outcomes, regression to the mean should be considered when interpreting longitudinal changes. Fourth, mechanistic measures such as insulin sensitivity, specific inflammatory cytokines, molecular signaling pathways, or skeletal muscle tissue analyses were not obtained, limiting the ability to explain the biological mechanisms underlying the observed associations.

Finally, the distribution-based threshold used to complement the interpretation of changes was calculated from sample variability. Therefore, this indicator should be interpreted as a distribution-based estimate of minimally important change rather than a validated minimal clinically important difference derived from an external clinical or patient-centered anchor.

From a practical perspective, the present findings indicate that a less favorable baseline musculoskeletal condition should not be interpreted as a barrier to participation in RT or as evidence of a reduced capacity to benefit from this type of exercise. Women with both HMV and LMV exhibited substantial improvements, particularly in muscular strength and functional fitness, during prolonged participation in a supervised and progressive RT program. These findings are consistent with recommendations supporting RT as a central component of strategies aimed at preserving physical capacity and independence during aging (FRAGALA et al., 2019; IZQUIERDO et al., 2025).

Future randomized controlled trials should determine whether baseline musculoskeletal vulnerability actually modifies long-term responsiveness to RT. Studies incorporating larger samples, intermediate assessment points, objective monitoring of habitual physical activity, longitudinal assessment of dietary intake and medication use, and mechanistic outcomes related to insulin sensitivity, systemic inflammation, and skeletal muscle metabolism may help clarify the trajectories and mechanisms underlying these adaptations. External validation of the musculoskeletal vulnerability classification would also be important before this approach is considered for broader research or clinical applications.

5.1.5 Conclusion

Two years of supervised and progressive RT were associated with substantial improvements in muscular strength and functional fitness and favorable changes in several cardiometabolic risk factors in older women with both HMV and LMV. Changes in SMM were

less consistent, and the associations between musculoskeletal and cardiometabolic adaptations were modest. Although some cardiometabolic outcomes improved significantly only among women with higher vulnerability, the adjusted between-group comparisons did not provide consistent evidence that these women exhibited greater responsiveness. Rather, the findings indicate that favorable neuromuscular, functional, body composition, and cardiometabolic changes can be observed after prolonged participation in RT across different levels of baseline musculoskeletal vulnerability.

References

ARGILÉS, J. M.; BUSQUETS, S.; STEMMLER, B.; LÓPEZ-SORIANO, F. J. Cachexia and sarcopenia: mechanisms and potential targets for intervention. **Current Opinion in Pharmacology**, v. 22, p. 100–106, 2015.

ASHTON, R. E.; TEW, G. A.; ANING, J. J. 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. **British Journal of Sports Medicine**, v. 54, n. 6, p. 341–348, 2020.

BEAUDART, C.; ALCAZAR, J.; APRAHAMIAN, I. et al. Health outcomes of sarcopenia: a consensus report by the outcome working group of the Global Leadership Initiative in Sarcopenia (GLIS). **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 37, n. 1, p. 100, 2025.

BLOOM, D. A.; KAPLAN, D. J.; MOJICA, E. et al. The minimal clinically important difference: a review of clinical significance. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 2, p. 520–524, 2023.

BOBOWIK, P.; WISZOMIRSKA, I. Diagnostic dependence of muscle strength measurements and the risk of falls in the elderly. **International Journal of Rehabilitation Research**, v. 43, n. 4, p. 330–336, 2020.

BUCHMANN, N.; FIELITZ, J.; SPIRA, D. et al. Muscle mass and inflammation in older adults: impact of the metabolic syndrome. **Gerontology**, v. 68, n. 9, p. 989–998, 2022.

CHO, K. H.; BOK, S. K.; KIM, Y. J.; HWANG, S. L. Effect of lower limb strength on falls and balance of the elderly. **Annals of Rehabilitation Medicine**, v. 36, n. 3, p. 386–393, 2012.

CHUNG, J. Y.; KANG, H. T.; LEE, D. C.; LEE, H. R.; LEE, Y. J. Body composition and its association with cardiometabolic risk factors in the elderly: a focus on sarcopenic obesity. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 56, n. 1, p. 270–278, 2013.

COHEN, J. A power primer. **Psychological Bulletin**, v. 112, n. 1, p. 155–159, 1992.

CRITCHLOW, A. J.; HIAM, D.; WILLIAMS, R.; SCOTT, D.; LAMON, S. The role of estrogen in female skeletal muscle aging: a systematic review. **Maturitas**, v. 178, p. 107844, 2023.

CRUZ-JENTOFT, A. J.; BAHAT, G.; BAUER, J. et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. **Age and Ageing**, v. 48, n. 1, p. 16–31, 2019.

CUNHA, P. M.; NUNES, J. P.; WERNECK, A. O. et al. Effect of resistance exercise orders on health parameters in trained older women: a randomized crossover trial. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 55, n. 1, p. 119–132, 2023.

CUNHA, P. M.; TOMELERI, C. M.; NASCIMENTO, M. A. et al. Comparison of low and high volume of resistance training on body fat and blood biomarkers in untrained older women: a randomized clinical trial. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 1, p. 1–8, 2021.

DE CARVALHO, C. J.; LONGO, G. Z.; KAKEHASI, A. M. et al. Association between skeletal mass indices and metabolic syndrome in Brazilian adults. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 24, n. 1, p. 118–128, 2021.

DO NASCIMENTO, M. A.; BORGES, R. S. J.; GERAGE, A. M. et al. Familiarization and reliability of the one repetition maximum strength testing in older women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 6, p. 1636–1642, 2013.

EL KHOUDARY, S. R.; AGGARWAL, B.; BECKIE, T. M. et al. Menopause transition and cardiovascular disease risk: implications for timing of early prevention: a scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, v. 142, n. 25, p. e506–e532, 2020.

FRAGALA, M. S.; CADORE, E. L.; DORGIO, S. et al. Resistance training for older adults: position statement from the National Strength and Conditioning Association. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 8, p. 2019–2052, 2019.

FRIEDEWALD, W. T.; LEVY, R. I.; FREDRICKSON, D. S. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. **Clinical Chemistry**, v. 18, n. 6, p. 499–502, 1972.

IZQUIERDO, M.; DE SOUTO BARRETO, P.; ARAI, H. et al. Global consensus on optimal exercise recommendations for enhancing healthy longevity in older adults (ICFSR). **The Journal of Nutrition, Health & Aging**, v. 29, n. 1, p. 100401, 2025.

JO, E.; LEE, S. R.; PARK, B. S.; KIM, J. S. Potential mechanisms underlying the role of chronic inflammation in age-related muscle wasting. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 24, n. 5, p. 412–422, 2012.

KEMMLER, W.; KOHL, M.; VON STENGEL, S.; SCHOENE, D. Effect of high-intensity resistance exercise on cardiometabolic health in older men with osteosarcopenia: the randomised controlled Franconian Osteopenia and Sarcopenia Trial (FrOST). **BMJ Open Sport & Exercise Medicine**, v. 6, n. 1, p. e000846, 2020.

KEMMLER, W.; WEINECK, M.; KOHL, M. et al. High intensity resistance exercise training to improve body composition and strength in older men with osteosarcopenia: results of the randomized controlled Franconian Osteopenia and Sarcopenia Trial (FrOST). **Frontiers in Sports and Active Living**, v. 2, p. 4, 2020.

KIM, J.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, S. B.; BAUMGARTNER, R. N.; GALLAGHER, D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, n. 2, p. 378–383, 2002.

KIM, S. H.; JEONG, J. B.; KANG, J. et al. Association between sarcopenia level and metabolic syndrome. **PLoS ONE**, v. 16, n. 3, p. e0248856, 2021.

LICHTENBERG, T.; VON STENGEL, S.; SIEBER, C.; KEMMLER, W. The favorable effects of a high-intensity resistance training on sarcopenia in older community-dwelling men with osteosarcopenia: the randomized controlled FrOST study. **Clinical Interventions in Aging**, v. 14, p. 2173–2186, 2019.

MONTELEONE, P.; MASCAGNI, G.; GIANNINI, A.; GENAZZANI, A. R.; SIMONCINI, T. Symptoms of menopause: global prevalence, physiology and implications. **Nature Reviews Endocrinology**, v. 14, n. 4, p. 199–215, 2018.

NUNES, J. P.; CUNHA, P. M.; ANTUNES, M. et al. The generality of strength: relationship between different measures of muscular strength in older women. **International Journal of Exercise Science**, v. 13, n. 3, p. 1638–1649, 2020.

NUNES, P. R. P.; KASSIANO, W.; CASTRO-E-SOUZA, P. et al. Higher volume resistance training enhances whole-body muscle hypertrophy in postmenopausal and older females: a

secondary analysis of systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 124, p. 105474, 2024.

QIPO, O.; GAJAUSKAITĖ, G.; VINTS, W. A. J. et al. Dose-response relationship of resistance training and the effects on circulating biomarkers of inflammation or neuroplasticity in older adults: a systematic review and meta-analysis. **Ageing Research Reviews**, v. 113, p. 102917, p. 1–14, 2026.

RATAMESS, N. A. et al. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 3, p. 687–708, 2009.

RIBEIRO, A. S.; PICOLOTO, A.; NUNES, J. P. et al. Effects of different resistance training loads on the muscle quality index in older women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 5, p. 1445–1449, 2022.

SANTOS, V. R. DOS; ANTUNES, M.; SANTOS, L. DOS et al. Effects of different resistance training frequencies on body composition, muscular strength, muscle quality, and metabolic biomarkers in sarcopenic older women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 38, n. 9, p. e521–e528, 2024.

TERADA, T.; REED, J. L.; VIDAL-ALMELA, S. et al. Sex-specific associations of fat mass and muscle mass with cardiovascular disease risk factors in adults with type 2 diabetes living with overweight and obesity: secondary analysis of the Look AHEAD trial. **Cardiovascular Diabetology**, v. 21, n. 1, p. 40, 2022.

TOMELERI, C. M.; RIBEIRO, A. S.; SOUZA, M. F. et al. Resistance training improves inflammatory level, lipid and glycemic profiles in obese older women: a randomized controlled trial. **Experimental Gerontology**, v. 84, p. 80–87, 2016.

TUTTLE, C. S. L.; THANG, L. A. N.; MAIER, A. B. Markers of inflammation and their association with muscle strength and mass: a systematic review and meta-analysis. **Ageing Research Reviews**, v. 64, p. 101185, 2020.

VERONESE, N.; PIZZOL, D.; DEMURTAS, J. et al. Association between sarcopenia and diabetes: a systematic review and meta-analysis of observational studies. **European Geriatric Medicine**, v. 10, n. 5, p. 685–696, 2019.

WÄHLIN-LARSSON, B.; WILKINSON, D. J.; STRANDBERG, E. et al. Mechanistic links underlying the impact of C-reactive protein on muscle mass in elderly. **Cellular Physiology and Biochemistry**, v. 44, n. 1, p. 267–278, 2017.

ZUO, X.; LI, X.; TANG, K. et al. Sarcopenia and cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, v. 14, n. 3, p. 1183–1198, 2023.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou ampliar a compreensão acerca das alterações cardiometabólicas, morfológicas, neuromusculares e funcionais associadas à participação prolongada em um programa de treinamento resistido (TR) supervisionado em mulheres idosas com diferentes condições musculoesqueléticas iniciais. Essa abordagem assume relevância diante do aumento da vulnerabilidade musculoesquelética associado ao envelhecimento e da estreita relação existente entre a preservação da massa e da força muscular, a capacidade funcional e a saúde cardiometabólica. Nesse contexto, o TR tem sido reconhecido como uma das principais estratégias não farmacológicas para atenuar o declínio da massa muscular, força e função física relacionado à idade (FRAGALA et al., 2019; IZQUIERDO et al., 2025), além de apresentar efeitos favoráveis sobre componentes da saúde cardiometabólica, como controle glicêmico, perfil lipídico, composição corporal e marcadores inflamatórios (ASHTON et al., 2020; NUNES et al., 2024).

A duração de dois anos representa um aspecto relevante da presente investigação, uma vez que grande parte dos estudos sobre TR em pessoas idosas utiliza intervenções de menor duração, o que limita a compreensão das adaptações associadas à exposição prolongada ao exercício. A literatura utilizada na dissertação destaca essa lacuna e indica que a duração da intervenção pode influenciar diferentes respostas musculoesqueléticas e cardiometabólicas (ASHTON et al., 2020; KEMMLER et al., 2020; LICHTENBERG et al., 2019). Dessa forma, o acompanhamento de longo prazo empregado neste estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre a manutenção de adaptações relevantes em mulheres idosas submetidas regularmente ao TR.

De modo geral, os resultados indicaram que dois anos de TR supervisionado estiveram associados a alterações favoráveis em importantes componentes da saúde de mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética. Ambos os grupos apresentaram aumentos expressivos da força muscular e melhorias na aptidão funcional, acompanhados por reduções na glicemia de jejum, LDL-c e colesterol total. Por outro lado, as adaptações relacionadas à massa muscular apresentaram comportamento menos uniforme, uma vez que, embora a massa muscular esquelética e o tecido mole magro apendicular tenham aumentado numericamente em ambos os grupos, alterações estatisticamente significantes após os ajustes foram observadas predominantemente nas mulheres com menor vulnerabilidade musculoesquelética. Esses achados estão alinhados a estudos prévios que demonstram a capacidade do TR de melhorar força muscular, composição corporal e desempenho funcional em mulheres idosas, embora a magnitude dessas respostas possa apresentar ampla variabilidade interindividual (CARNEIRO et al., 2020, 2023; CUNHA et al.,

2021; KASSIANO et al., 2021).

Os aumentos expressivos da força muscular observados nos dois grupos merecem destaque em razão de sua relevância funcional. Evidências indicam que menores níveis de força muscular estão associados a limitações de mobilidade, maior risco de quedas e redução da independência funcional em pessoas idosas (BOBOWIK; WISZOMIRSKA, 2020; CHO et al., 2012). Adicionalmente, estudos anteriores e recomendações internacionais posicionam o TR como um componente fundamental para a manutenção da capacidade física durante o envelhecimento (CARNEIRO et al., 2020, 2023; CUNHA et al., 2021; KASSIANO et al., 2021; FRAGALA et al., 2019; IZQUIERDO et al., 2025). Assim, as melhorias observadas na velocidade da marcha, agilidade, capacidade de levantar-se da cadeira e capacidade de caminhada reforçam a importância prática da participação prolongada em programas estruturados de TR para a preservação da autonomia funcional.

As alterações favoráveis observadas nos fatores de risco cardiometabólico também encontram respaldo na literatura adotada pela dissertação. Revisões sistemáticas e estudos de intervenção indicam que o TR pode contribuir para melhora do controle glicêmico, do perfil lipídico e de marcadores inflamatórios (ASHTON et al., 2020; SARDELI et al., 2018; NUNES et al., 2024). O músculo esquelético exerce papel relevante na captação periférica de glicose, no metabolismo energético e na regulação metabólica sistêmica, o que oferece plausibilidade biológica para uma possível conexão entre saúde muscular e saúde cardiometabólica (ARGILÉS et al., 2015; BUCHMANN et al., 2022; KIM et al., 2021; TERADA et al., 2022).

Nesse sentido, a correlação inversa observada entre as alterações na massa muscular e no escore cardiometabólico é coerente com estudos que apontam associação entre maior quantidade ou qualidade muscular e perfil metabólico mais favorável (DE CARVALHO et al., 2021; CHUNG et al., 2013). Todavia, a magnitude reduzida dessa associação indica que as alterações cardiometabólicas não podem ser explicadas exclusivamente pelas modificações da massa muscular. A relação entre saúde musculoesquelética e saúde metabólica é complexa e bidirecional, uma vez que alterações inflamatórias e metabólicas podem favorecer o catabolismo muscular, enquanto menor massa muscular pode prejudicar a regulação metabólica sistêmica (BODINE; BAEHR, 2014; DASURI et al., 2013; KIM et al., 2021; TERADA et al., 2022). Assim, a associação identificada no presente estudo deve ser interpretada como suporte adicional à inter-relação entre os sistemas musculoesquelético e cardiometabólico, e não como evidência de relação causal.

As reduções dos triglicerídeos e da proteína C-reativa observadas apenas entre as mulheres com maior vulnerabilidade musculoesquelética também merecem atenção. Menor massa e função muscular têm sido associadas a resistência à insulina, dislipidemia e inflamação crônica de baixo grau, enquanto maiores concentrações de marcadores

inflamatórios têm sido relacionadas a menor massa, força e função muscular (BI et al., 2024; DU et al., 2018; TUTTLE et al., 2020; WESTBURY et al., 2018). Entretanto, a significância estatística observada exclusivamente em um grupo não demonstra, por si só, que esse grupo tenha respondido de forma superior. Assim, na ausência de evidência de interação grupo $\times$ tempo, essas alterações devem ser interpretadas como respostas intragrupo e não como comprovação de maior responsividade das mulheres com maior vulnerabilidade musculoesquelética.

Dessa forma, a hipótese de que mulheres com maior vulnerabilidade musculoesquelética apresentariam adaptações sistematicamente mais pronunciadas recebeu apenas suporte parcial. Embora sua condição inicial menos favorável pudesse representar maior margem potencial para mudança, os resultados mostram que adaptações expressivas também ocorreram entre as mulheres com menor vulnerabilidade. A interpretação mais consistente é, portanto, que mulheres idosas podem apresentar respostas favoráveis ao TR prolongado em diferentes níveis de condição musculoesquelética inicial, sem evidência suficientemente consistente de que aquelas com maior vulnerabilidade respondam sistematicamente melhor. Essa interpretação está de acordo com a literatura utilizada na própria dissertação, segundo a qual o TR pode produzir adaptações relevantes na força, massa muscular e função física em diferentes perfis de mulheres idosas (CARNEIRO et al., 2020, 2023; CUNHA et al., 2021; KASSIANO et al., 2021).

A classificação das participantes em maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética deve, contudo, ser compreendida dentro de seus limites metodológicos. O escore adotado integrou indicadores de massa e força muscular e foi construído a partir da distribuição interna da própria amostra. Portanto, não corresponde ao diagnóstico clínico de sarcopenia, cuja identificação considera critérios específicos de força, quantidade ou qualidade muscular e desempenho físico (CRUZ-JENTOFT et al., 2019). A própria discussão da dissertação destaca que a vulnerabilidade musculoesquelética deve ser interpretada como uma estratificação relativa da condição muscular inicial. Nesse sentido, a mudança de classificação observada em algumas participantes não deve ser interpretada como reversão da sarcopenia, mas como alteração da posição relativa dessas mulheres no critério operacional utilizado no estudo.

Algumas limitações precisam ser consideradas. A ausência de um grupo controle não submetido ao treinamento e o caráter não randomizado do delineamento impedem que as alterações observadas sejam atribuídas exclusivamente ao TR. Mesmo com ajustes estatísticos para valores basais, idade e massa gorda, fatores relacionados ao estilo de vida, alimentação, atividade física habitual, uso de medicamentos e outras modificações ocorridas ao longo dos dois anos podem ter influenciado os resultados. Além disso, a atividade física

realizada fora das sessões não foi monitorada objetivamente durante todo o acompanhamento, e a ausência de medidas mecanísticas, como citocinas específicas, indicadores diretos de sensibilidade à insulina, marcadores moleculares ou análises do tecido muscular, limita a compreensão dos mecanismos fisiológicos responsáveis pelas associações observadas.

Outra limitação está relacionada à existência de apenas dois momentos de avaliação, antes e após os dois anos de acompanhamento. Embora esse delineamento permita identificar alterações entre os momentos, não possibilita determinar a trajetória temporal das adaptações. Assim, não é possível estabelecer se os ganhos ocorreram progressivamente ao longo de todo o período ou se foram alcançados predominantemente nos meses iniciais e posteriormente mantidos. Portanto, os resultados sustentam a ocorrência de adaptações associadas à participação prolongada no TR, mas não demonstram que essas adaptações tenham continuado a aumentar durante todo o período de dois anos.

Apesar dessas limitações, o estudo apresenta aspectos que fortalecem sua contribuição científica, particularmente a duração de dois anos, a supervisão direta e sistemática das sessões, a progressão individualizada das cargas e a avaliação multidimensional das participantes. A utilização de DXA, testes padronizados de 1RM, testes funcionais reconhecidos e análises laboratoriais padronizadas permitiu examinar simultaneamente diferentes dimensões relacionadas à saúde musculoesquelética, funcional e cardiometabólica.

Do ponto de vista prático, os resultados reforçam que mulheres idosas com menores níveis iniciais de massa e força muscular não devem ser consideradas menos aptas ou necessariamente menos responsivas ao TR. As recomendações adotadas na dissertação reconhecem o treinamento resistido como estratégia central para preservar capacidade física, função muscular e independência durante o envelhecimento (FRAGALA et al., 2019; IZQUIERDO et al., 2025). Nesse contexto, os resultados desta investigação apoiam a inclusão de mulheres idosas com diferentes graus de vulnerabilidade musculoesquelética em programas de TR estruturados, progressivos e supervisionados.

Investigações futuras deverão empregar delineamentos randomizados e controlados, amostras maiores, avaliações intermediárias e acompanhamento mais rigoroso de potenciais fatores de confusão. A incorporação de medidas objetivas de atividade física habitual, controle longitudinal da ingestão alimentar e do uso de medicamentos, além de indicadores de sensibilidade à insulina, inflamação sistêmica, sinalização molecular e metabolismo do músculo esquelético, poderá contribuir para esclarecer os mecanismos envolvidos nas adaptações observadas. Também será importante verificar, em amostras independentes, se a condição musculoesquelética inicial efetivamente modifica a magnitude das respostas ao

TR.

Em síntese, dois anos de TR supervisionado estiveram associados a melhorias substanciais na força muscular e na aptidão funcional, acompanhadas por alterações favoráveis em diferentes fatores de risco cardiometabólico em mulheres idosas com maior e menor vulnerabilidade musculoesquelética. Esses resultados são coerentes com o corpo de evidências que reconhece o TR como importante estratégia para atenuar alterações neuromusculares, funcionais e metabólicas associadas ao envelhecimento (FRAGALA et al., 2019; IZQUIERDO et al., 2025; ASHTON et al., 2020; NUNES et al., 2024). A condição musculoesquelética inicial não pareceu impedir a ocorrência de adaptações favoráveis; contudo, os resultados não sustentam de maneira consistente que mulheres com maior vulnerabilidade apresentem respostas sistematicamente superiores. Dessa forma, a principal contribuição desta dissertação reside em demonstrar que mulheres idosas com diferentes condições musculoesqueléticas iniciais podem apresentar alterações neuromusculares, funcionais e cardiometabólicas favoráveis durante a participação prolongada em um programa estruturado e supervisionado de TR, embora estudos controlados sejam necessários para estabelecer relações causais e determinar em que medida a vulnerabilidade musculoesquelética inicial pode modificar as adaptações de longo prazo ao treinamento.

7 REFERÊNCIAS

ASHTON, R. E.; TEW, G. A.; ANING, J. J.; 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. **British Journal of Sports Medicine**, v. 54, n. 6, p. 341-348, 2020.

BANO, G.; TREVISAN, C.; CARRARO, S.; et al. Inflammation and sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. **Maturitas**, v. 96, p. 10-15, 2017.

BAO, W.; SUN, Y.; ZHANG, T.; et al. Exercise programs for muscle mass, muscle strength and physical performance in older adults with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. **Aging and Disease**, v. 11, n. 4, p. 863-873, 2020.

BARRETO, P. D. S.; ROLLAND, Y.; VELLAS, B.; MALTAIS, M. Association of Long-term Exercise Training with Risk of Falls, Fractures, Hospitalizations, and Mortality in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. **JAMA Internal Medicine**, v. 179, n. 3, p. 394–405, 2019.

BAUER, J.; MORLEY, J. E.; SCHOLS, A. M. W. J.; et al. Sarcopenia: A Time for Action. An SCWD Position Paper. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, v. 10, n. 5, p. 956–961, 2019.

BEAUDART, C.; DEMONCEAU, C.; REGINSTER, J. Y.; et al. Sarcopenia and health-related quality of life: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, v. 14, n. 3, p. 1228-1243, 2023.

BI, B.; DONG, X.; YAN, M.; et al. Dyslipidemia is associated with sarcopenia of the elderly: a meta-analysis. **BMC Geriatrics**, v. 24, n. 1, 2024.

BLOOM, D. A.; KAPLAN, D. J.; MOJICA, E.; et al. The Minimal Clinically Important Difference: A Review of Clinical Significance. **American Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 2, p. 520–524, 2023.

BLOOM, D. E.; CANNING, D.; LUBET, A. Global population aging: Facts, challenges, solutions & perspectives. **Daedalus**, v. 144, n. 2, p. 80–92, 2015.

BODINE, S. C.; BAEHR, L. M. Skeletal muscle atrophy and the E3 ubiquitin ligases MuRF1 and MAFbx/atrogen-1. **American Journal of Physiology, Endocrinol and Metabolism**, v. 307, n. 6, p. 469–484, 2014.

BUCHMANN, N.; FIELITZ, J.; SPIRA, D.; et al. Muscle Mass and Inflammation in Older Adults: Impact of the Metabolic Syndrome. **Gerontology**, v. 68, n. 9, p. 989-998, 2022.

CAI, Y.; HAN, Z.; CHENG, H.; et al. The impact of ageing mechanisms on musculoskeletal system diseases in the elderly. **Frontiers in Immunology**, v. 15, p. 1405621, 2024.

CARNEIRO, M. A. S.; KASSIANO, W.; OLIVEIRA-JÚNIOR, G.; et al. Effect of Different Load Intensity Transition Schemes on Muscular Strength and Physical Performance in Postmenopausal Women. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 55, n. 8, p. 1507–1523, 2023.

CARNEIRO, M. A. S.; OLIVEIRA, G. N. DE; UNIOR, J. ´; et al. Effects of Resistance Training at Different Loads on Inflammatory Biomarkers, Muscle Mass, Muscular Strength, and Physical Performance in Postmenopausal Women. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 6, p. 1582-1590, 2020.

CHEN, Y. C.; CHEN, W. C.; LIU, C. W.; et al. Is moderate resistance training adequate for older adults with sarcopenia? A systematic review and network meta-analysis of RCTs. **European Review of Aging and Physical Activity**, v. 20, n. 1, 2023.

CHENG, H.; LUO, W.; SI, S.; et al. Global trends in total fertility rate and its relation to national wealth, life expectancy and female education. **BMC Public Health**, v. 22, n. 1, 2022.

COHEN, J. A power primer. *Psychological Bulletin*, v. 112, n. 1, p. 155–159, 1992.

CRITCHLOW, A. J.; HIAM, D.; WILLIAMS, R.; SCOTT, D.; LAMON, S. The role of estrogen in female skeletal muscle aging: A systematic review. **Maturitas**, v. 178, p. 107844, 2023.

CRUZ-JENTOFT, A. J.; BAHAT, G.; BAUER, J.; et al. Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. **Age and Ageing**, v. 48, n. 1, p. 16-31, 2019.

CUNHA, P. M.; TOMELERI, C. M.; NASCIMENTO, M. A.; et al. Comparision of Low and High

Volume of Resistance Training on Body Fat and Blood Biomarkers in Untrained Older Women: A Randomized Clinical Trial. **Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 35, n. 1, p. 1–8, 2021.

DASURI, K.; ZHANG, L.; KELLER, J. N. Oxidative stress, neurodegeneration, and the balance of protein degradation and protein synthesis. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 62, p. 170-185, 2013.

DU, Y.; OH, C.; NO, J. Associations between sarcopenia and metabolic risk factors: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Obesity and Metabolic Syndrome**, v. 27, n. 3, p. 175-185, 2018.

FONG, J. H. Disability incidence and functional decline among older adults with major chronic diseases. **BMC Geriatrics**, v. 19, n. 1, 2019.

FRAGALA, M. S.; CADORE, E. L.; DORGO, S.; et al. Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association. **Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 33, n. 8, p. 2019-2052, 2019.

FRIEDEWALD, W. T.; LEVY, R. I.; FREDRICKSON, D. S. Estimation of the Concentration of Low-Density Lipoprotein Cholesterol in Plasma Without Use of the Preparative Ultracentrifuge. **Clinical Chemistry**, v. 18, n. 6, p. 499-502, 1972.

HU, C.; ZHANG, X.; TENG, T.; MA, Z. G.; TANG, Q. Z. Cellular Senescence in Cardiovascular Diseases: A Systematic Review. **Aging and Disease**, v. 13, n. 1, p. 103-128, 2022.

HUPIN, D.; ROCHE, F.; GREMEAUX, V.; et al. Even a low-dose of moderate-to-vigorous physical activity reduces mortality by 22% in adults aged ≥ 60 years: A systematic review and meta-analysis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, n. 19, p. 1262-7, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População do país vai parar de crescer em 2041**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41056-populacao-do-pais-vai-parar-de-crescer-em-2041>>. .

KASSIANO, W.; COSTA, B.; NUNES, J. P.; et al. Does resistance training promote enough

muscular strength increases to move weak older women to better strength categories? **Experimental Gerontology**, v. 149, 111322, 2021.

KHOUDARY, S. R. EL; AGGARWAL, B.; BECKIE, T. M.; et al. Menopause Transition and Cardiovascular Disease Risk: Implications for Timing of Early Prevention: A Scientific Statement from the American Heart Association. **Circulation**, v. 142, n. 25, 2020.

KIM, J.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, S. B.; BAUMGARTNER, R. N.; GALLAGHER, D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, n. 2, p. 378-383, 2002.

KIM, S. H.; JEONG, J. B.; KANG, J.; et al. Association between sarcopenia level and metabolic syndrome. **PLoS ONE**, v. 16, n. 3, p. e0248856, 2021.

LARSSON, X. L.; DEGENS, H.; LI, M.; et al. SARCOPENIA: AGING-RELATED LOSS OF MUSCLE MASS AND FUNCTION. *Physiological Reviews*, v. 99,, n. 1, p. 427–511, 2019.

LIANG, M.; PAN, Y.; ZHONG, T.; ZENG, Y.; CHENG, A. S. K. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome parameters and cardiovascular risk factors: a systematic review and network meta-analysis. **Reviews in Cardiovascular Medicine**, v. 22, n. 4, p. 1523-1533, 2021.

LIU, Y.; SU, M.; LEI, Y.; et al. Sarcopenia Predicts Adverse Prognosis in Patients with Heart Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Reviews in Cardiovascular Medicine**, v. 24, n. 9, p. 273, 2023.

LUO, L.; SHEN, X.; FANG, S.; et al. Sarcopenia as a risk factor of progression-free survival in patients with metastases: a systematic review and meta-analysis. **BMC Cancer**, v. 23, n. 1, p. 127, 2023.

MOHAMAD, N.-V.; IMA-NIRWANA, S.; CHIN, K.-Y. Are Oxidative Stress and Inflammation Mediators of Bone Loss Due to Estrogen Deficiency? A Review of Current Evidence. **Endocrine, Metabolic & Immune Disorders**, v. 20, n. 9, p. 1478–1487, 2020.

MONTELEONE, P.; MASCAGNI, G.; GIANNINI, A.; GENAZZANI, A. R.; SIMONCINI, T. Symptoms of menopause - Global prevalence, physiology and implications. **Nature Reviews**

Endocrinology, v. 14, p. 199-215, 2018.

MUKA, T.; IMO, D.; JASPERS, L.; et al. The global impact of non-communicable diseases on healthcare spending and national income: a systematic review. **European Journal of Epidemiology**, v. 30, n. 4, p. 251-77, 2015.

RATAMESS, Nicholas A. et al. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 3, p. 687-708, 2009.

DO NASCIMENTO, M. A.; BORGES, R. S. J.; GERAGE, A. M.; et al. Familiarization and reliability of the one repetition maximum strength testing in older women. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 6, p. 1636–1642, 2013.

NUNES, J. P.; CUNHA, P. M.; ANTUNES, M.; et al. The Generality of Strength: Relationship between Different Measures of Muscular Strength in Older Women. **International Journal of Exercise Science**, v. 13, n. 3, p. 1638-1649, 2020.

NUNES, P. R. P.; KASSIANO, W.; CASTRO-E-SOUZA, P.; et al. Higher volume resistance training enhances whole-body muscle hypertrophy in postmenopausal and older females: A secondary analysis of systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 124, p. 105474, 2024.

UNITED NATIONS OF ECONOMIC AFFAIRS. **World Population Prospects 2022**: Summary of Results. 2022. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf.

OGAZ-GONZÁLEZ, R.; CORPELEIJN, E.; GARCÍA-CHANES, R. E.; et al. Assessing the relationship between multimorbidity, NCD configurations, frailty phenotypes, and mortality risk in older adults. **BMC Geriatrics**, v. 24, n. 1, 2024.

PALMER, A. K.; GUSTAFSON, B.; KIRKLAND, J. L.; SMITH, U. Cellular senescence: at the nexus between ageing and diabetes. **Diabetologia**, v. 62, n. 10, p. 1835-1841, 2019.

PERNOUD, L. E.; GARDINER, P. A.; FRASER, S. D.; et al. A systematic review and meta-analysis investigating differences in chronic inflammation and adiposity before and after

menopause. **Maturitas**, v. 190, p. 108119, 2024.

PETERMANN-ROCHA, F.; BALNTZI, V.; GRAY, S. R.; et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, v. 13, n. 1, p. 86-99, 2022.

REZQ, K. A.; ALGAMDI, M. M.; ALATAWI, F.; et al. Predictors for the Level of Quality of Life Among Older Adults: Approaches to the Effect of Sociodemographic and Chronic Diseases. **Journal of Aging Research**, v. 2024, n. 1, 2024.

RIKLI, R. E.; JONES, C. J. Development and validation of criterion-referenced clinically relevant fitness standards for maintaining physical independence in later years. **Gerontologist**, v. 53, n. 2, p. 255–267, 2013.

RIZZUTO, D.; MELIS, R. J. F.; ANGLEMAN, S.; QIU, C.; MARENGONI, A. Effect of Chronic Diseases and Multimorbidity on Survival and Functioning in Elderly Adults. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 65, n. 5, p. 1056–1060, 2017.

SANTOS, V. R. DOS; ANTUNES, M.; SANTOS, L. DOS; et al. Effects of Different Resistance Training Frequencies on Body Composition, Muscular Strength, Muscle Quality, and Metabolic Biomarkers in Sarcopenic Older Women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 38, n. 9, p. e521–e528, 2024.

SARDELI, A. V.; TOMELERI, C. M.; CYRINO, E. S.; et al. Effect of resistance training on inflammatory markers of older adults: A meta-analysis. **Experimental Gerontology**, v. 111, p. 188-196, 2018.

SHEN, Y.; LIU, D.; LI, S.; et al. Effects of Exercise on Patients Important Outcomes in Older People With Sarcopenia: An Umbrella Review of Meta-Analyses of Randomized Controlled Trials. **Frontiers in Medicine**, v. 9, 811746, 2022.

TAGLIAFICO, A. S.; BIGNOTTI, B.; TORRI, L.; ROSSI, F. Sarcopenia: how to measure, when and why. **Radiologia Medica**, v. 127, n. 3, p. 228-237, 2022.

TERADA, T.; REED, J. L.; VIDAL-ALMELA, S.; et al. Sex-specific associations of fat mass and muscle mass with cardiovascular disease risk factors in adults with type 2 diabetes living with

overweight and obesity: secondary analysis of the Look AHEAD trial. **Cardiovascular Diabetology**, v. 21, n. 1, 2022.

TUTTLE, C. S. L.; THANG, L. A. N.; MAIER, A. B. Markers of inflammation and their association with muscle strength and mass: A systematic review and meta-analysis. **Ageing Research Reviews**, v. 64, p. 101185 , 2020.

UNITED NATIONS OF ECONOMIC AFFAIRS. **World Population Prospects 2022**: Summary of Results. 2022. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf.

WESTBURY, L. D.; FUGGLE, N. R.; SYDDALL, H. E.; et al. Relationships Between Markers of Inflammation and Muscle Mass, Strength and Function: Findings from the Hertfordshire Cohort Study. **Calcified Tissue International**, v. 102, n. 3, p. 287–295, 2018.

XUE, J.; HAN, X.; ZHENG, Y.; ZHANG, Q.; KONG, L. Effectiveness of resistance training in modulating inflammatory biomarkers among Asian patients with sarcopenia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Frontiers in Immunology**, v. 15, 1385902, 2024.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Título da pesquisa:

“MODIFICAÇÕES NA FORÇA MUSCULAR, COMPOSIÇÃO CORPORAL, APTIDÃO FUNCIONAL, BIOMARCADORES CARDIOMETABÓLICOS, COGNIÇÃO E PARÂMETROS CARDÍACOS PROMOVIDAS PELO TREINAMENTO RESISTIDO PROGRESSIVO DE LONGA DURAÇÃO EM MULHERES IDOSAS”

Prezada Senhora:

Gostaríamos de convidá-la para participar do deste projeto de pesquisa que tem o propósito de analisar os efeitos da prática regular de musculação sobre a saúde em mulheres idosas (> 60 anos) fisicamente independentes.

Todas as avaliações serão realizadas por profissionais previamente treinados para tal finalidade. A assinatura deste termo permitirá que você participe das seguintes atividades: (1) Programa de treinamento resistido nas suas diferentes fases com supervisão direta de profissionais e estudantes de Educação Física; (2) Entrevista afim de avaliar o histórico médico, sintomas de ansiedade e depressão, percepção de qualidade de vida, sono e cognição; (3) Medidas de peso, altura, pressão arterial, frequência cardíaca em repouso, atividade física habitual, comportamento sedentário e sono; (4) Avaliação da composição corporal pelos métodos de impedância bioelétrica e densitometria óssea; (5) Coleta de sangue venoso em jejum de 12 h feita por um técnico capacitado e habilitado para a avaliação de indicadores metabólicos; (6) Avaliação nutricional por meio da aplicação de registros alimentares de três dias; (7) Avaliação da aptidão neuromuscular por meio de testes de uma repetição máxima; (8) Avaliação da capacidade de realizar atividades de vida diária por meio de testes funcionais; (9) Avaliação da cognição por meio de testes específicos (*Montreal Cognitive Assessment*, *Trail Making Test* e *Stroop test*); (10) Avaliação cardiológica por meio de ecocardiografia.

Gostaríamos de esclarecer que a participação é totalmente voluntária. A participante pode recusar-se a participar/desistir a qualquer momento sem sofrer prejuízo algum. As informações serão utilizadas somente para fins de pesquisa e todos os documentos e amostras utilizados serão identificados por um código numérico sem identificação nominal para preservar a identidade da participante. Vale mencionar que não haverá custo algum para as participantes (transporte, inscrição, avaliações), é totalmente gratuito. Da mesma forma, não será paga quantia alguma as participantes. Adicionalmente, comprometemo-nos a respeitar as determinações previstas na Lei 10.741 de 2003 – Estatuto do Idoso, que resguardam os direitos e a proteção às pessoas idosas, em especial ao respeito, dignidade e integridade física, emocional, social e afetiva. Por fim, o pesquisador responsável irá amparar

as participantes da pesquisa sempre que necessário sem onerar o sistema público de saúde.

Ao final do estudo e a qualquer momento que uma participante desejar, comprometemo-nos ainda a retornar com os resultados de todas as avaliações, que serão entregues as participantes. Espera-se com essa pesquisa, proporcionar informações que possam favorecer a melhoria da saúde e qualidade de vida de mulheres idosas por meio da prática de treinamento e associação com aspectos nutricionais, além de possibilitar a melhoria de parâmetros neuromusculares, morfológicos, fisiológicos, metabólicos, cognitivos e comportamentais das participantes. Apesar de considerados mínimos, os possíveis riscos são: desconfortos na coleta sanguínea e cansaço durante os testes físicos. É possível também que alguns grupamentos musculares exigidos nos testes de esforço fiquem doloridos entre 24 e 48 horas após a realização dos mesmos e durante as primeiras semanas de treino.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos pode contactar o Prof. Dr. Edilson Serpeloni Cyrino, no Laboratório de Metabolismo, Nutrição e Exercício, localizado no Centro de Educação Física e Esporte, da Universidade Estadual de Londrina, pelo telefone (43) 3371-4772 / [REDACTED] ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina (CEP-UEL), no Laboratório Escola de Pós-Graduação (LABESC) - sala 14. Campus Universitário - Rodovia Celso Garcia Cid, Km 380 (PR 445), Londrina - PR - CEP: 86057-970, Telefone: 43-3371-5455, e-mail: cep268@uel.br. Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida, assinada e entregue a você.

Londrina, _____ de _____ de 2025.

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Edilson Serpeloni Cyrino

RG: _____

Eu, _____ (nome por extenso do sujeito de pesquisa), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar voluntariamente da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica):

Londrina, _____ de _____ de 2025.

ANEXO A – CARTA DE APROVAÇÃO DO PROJETO PELO COMITÊ DE ÉTICA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
LONDRINA - UEL

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: MODIFICAÇÕES NA FORÇA MUSCULAR, COMPOSIÇÃO CORPORAL, APTIDÃO FUNCIONAL, BIOMARCADORES CARDIOMETABÓLICOS, COGNIÇÃO E PARÂMETROS CARDÍACOS PROMOVIDAS PELO TREINAMENTO RESISTIDO PROGRESSIVO DE LONGA DURAÇÃO EM MULHERES IDOSAS

Pesquisador: EDILSON SERPELONI CYRINO

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 85939725.3.0000.5231

Instituição Proponente: CEFE - PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.395.879

Apresentação do Projeto:

Trata-se de uma pesquisa proposta por docente do curso de Educação Física. O presente estudo faz parte do Projeto Longitudinal Envelhecimento Ativo que vem sendo conduzido pelo nosso laboratório desde setembro de 2012, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Londrina. Desse modo, esta investigação foi estruturada como um ensaio clínico aleatorizado, com grupos em paralelo e com a presença de grupo controle. A proposta será analisar as principais respostas adaptativas promovidas ao longo de dois anos de acompanhamento de mulheres idosas submetidas ao treinamento resistido, a partir de um ensaio clínico aleatorizado controlado, com grupos em paralelo. O grupo controle será acompanhado com testes, medidas e avaliações na linha de base e no final do primeiro e segundo ano, enquanto o grupo treinamento, será avaliado a cada seis meses (linha de base, 6, 12, 18 e 24 meses). A amostra será composta por aproximadamente 80 mulheres idosas (> 60 anos) e fisicamente independentes. O programa de treinamento resistido será realizado em três sessões semanais, em dias alternados. A ordem de execução dos exercícios será modificada a cada semestre. Medidas antropométricas, testes de uma repetição máxima (1-RM), medidas de composição corporal (absortometria radiológica de dupla energia, bioimpedância espectral e ultrassonografia) e coletas de sangue para análise de

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 7.395.879

comportamento de biomarcadores metabólicos (glicose, triglicérides, colesterol total, HDL-c, LDL-c e proteína C-reativa) e cognição (testes e medidas) serão obtidas nos momentos pré-treinamento, ao final de um e dois anos de prática regular de TR (treinamento resistido). Esperamos que os resultados deste projeto de pesquisa proporcionem subsídios teóricos e práticos para a prescrição de treinamento resistido em mulheres idosas. Além disso, acreditamos que as informações a serem produzidas podem favorecer a melhoria da saúde, qualidade de vida e, consequentemente, a expectativa de vida dessa população, resultando em redução dos gastos consumo de fármacos, no número de consultas médicas e internações associadas ao tratamento de disfunções/doenças metabólicas, cardiovasculares, cognitivas, osteoarticulares e neuromusculares, bastante comuns em idades mais avançadas. Critério de Inclusão: As participantes serão selecionadas por meio de entrevista e anamnese clínica. Os seguintes critérios de inclusão serão adotados: (1) possuir idade igual ou superior a 60 anos; (2) ser fisicamente independente; (3) não possuir limitações cardiovasculares, musculoesqueléticas ou metabólicas que impeçam a prática de exercícios físicos ou a execução de testes motores; (4) não estar em tratamento com reposição hormonal; (5) não estar envolvida com a prática de exercícios físicos mais do que uma vez por semana, ao longo dos seis meses anteriores ao início do estudo. Adicionalmente, as participantes não deverão apresentar nenhum tipo de restrição para a prática de TR documentada por médico cardiologista. Critério de Exclusão: A não realização de todos os exames e testes e a presença inferior a 85% das sessões de treinamento acarretarão em exclusão da participante do estudo ou, ao menos, das análises.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo primário:

Analisar se a prática de TR poderá ou não produzir respostas adaptativas positivas e duradouras sobre a composição corporal, aptidão funcional, cognição, biomarcadores cardiometabólicos e função cardíaca em mulheres idosas acompanhadas por dois anos.

Os objetivos secundários:

Verificar as possíveis modificações em fatores de risco cardiometabólico, de acordo com os diferentes pontos de corte estabelecidos para categorização dessas variáveis;

Investigar possíveis alterações no comportamento dos parâmetros de cognição;

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br

Continuação do Parecer: 7.395.879

Analisar o comportamento de parâmetros cardíacos morfofuncionais ao longo da intervenção e sua repercussão de acordo com a idade;

Verificar as possíveis modificações na aptidão funcional (força muscular, velocidade de marcha, potência e resistência de membros inferiores, agilidade e resistência aeróbia);

Identificar mudanças na massa muscular, espessura muscular, tecido adiposo e ósseo e hidratação corporal e sua relação com as mudanças funcionais.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Apesar de considerados mínimos, os possíveis riscos são: desconfortos na coleta sanguínea e cansaço durante os testes físicos. É possível também que alguns grupamentos musculares exigidos nos testes de esforço fiquem doloridos entre 24 e 48 horas após a realização dos mesmos e durante as primeiras semanas de treino. Por fim, o pesquisador responsável irá amparar as participantes da pesquisa sempre que necessário sem onerar o sistema público de saúde.

Benefícios: Espera-se com essa pesquisa, proporcionar informações que possam favorecer a melhoria da saúde e qualidade de vida de mulheres idosas por meio da prática de treinamento e associação com aspectos nutricionais, além de possibilitar a melhoria de parâmetros neuromusculares, morfológicos, fisiológicos, metabólicos, cognitivos e comportamentais das participantes.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa relevante para a área de conhecimento.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto assinada e carimbada pela coordenação do programa de pós graduação.

Cronograma apresentado está adequado, coleta de dados a partir de 17/03/2025 a 27/03/2026.

Orçamento e financiamento próprio com valor de R\$400,00 em materiais de escritório.

TCLE: Está na forma de convite, a linguagem está acessível, os benefícios e riscos da pesquisa estão expostos.

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 7.395.879

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências

Considerações Finais a critério do CEP:

Prezado(a) Pesquisador(a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade apresentá-lo aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Ressaltamos, para início da pesquisa, as seguintes atribuições do pesquisador, conforme Resolução CNS 466/2012 e 510/2016:

A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais, cabendo-lhe:

- conduzir o processo de Consentimento e de Assentimento Livre e Esclarecido;
- apresentar dados solicitados pelo sistema CEP/CONEP a qualquer momento;
- desenvolver o projeto conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção;
- elaborar e apresentar os relatórios parciais e final;
- manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa;
- encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores e pessoal técnico integrante do projeto;
- justificar fundamentadamente, perante o sistema CEP/CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Coordenação CEP/UEL

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_2489511.pdf	14/02/2025 07:08:16		Acelto
Outros	Carta_resposta_CEP.pdf	14/02/2025 07:07:17	Paolo Marcello da Cunha Fabro	Acelto
Brochura Pesquisa	Projeto_pesquisa_v2.doc	14/02/2025	Paolo Marcello da	Acelto

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
LONDRINA - UEL**



Continuação do Parecer: 7.395.879

Brochura Pesquisa	Projeto_pesquisa_v2.doc	07:03:01	Cunha Fabro	Acelto
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_pesquisa_brochura.pdf	14/02/2025 07:02:27	Paolo Marcello da Cunha Fabro	Acelto
Orçamento	Orcamento_v2.docx	14/02/2025 07:02:09	Paolo Marcello da Cunha Fabro	Acelto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	_TCLE_v2.docx	14/02/2025 07:00:53	Paolo Marcello da Cunha Fabro	Acelto
Folha de Rosto	Folha_de_rostoassinada.pdf	23/01/2025 14:20:54	EDILSON SERPELONI CYRINO	Acelto
Cronograma	Cronograma.docx	23/01/2025 10:22:05	EDILSON SERPELONI CYRINO	Acelto

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

LONDRINA, 19 de Fevereiro de 2025

Assinado por:
Alessandra Lourenço Cecchini Armani
(Coordenador(a))

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br