

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

AMANDA VIANA MENDES

**EFEITO DO TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO EM FÊMURES DE
CAMUNDONGOS FÊMEAS OBESAS**

ALFENAS/MG

2025

AMANDA VIANA MENDES

**EFEITO DO TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO EM FÊMURES DE
CAMUNDONGOS FÊMEAS OBESAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado/Bacharel em Ciências Biológicas, pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Flávia Da Ré Guerra

ALFENAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Mendes, Amanda Viana .

O efeito do treinamento físico aeróbio em fêmeas de camundongos
fêmeas obesas / Amanda Viana Mendes. - Alfenas, MG, 2025.

31 f. : il. -

Orientador(a): Flavia Da Ré Guerra.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) -
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Obesidade. 2. Exercício aeróbio. 3. Biomecânica. 4. Osso. I. Guerra,
Flavia Da Ré, orient. II. Título.

AMANDA VIANA MENDES


**O EFEITO DO TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO EM FÊMURES DE
CAMUNDONGOS FÊMEAS OBESAS**

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Anatomia.

Aprovada em: 04 de dezembro de 2025

Prof^a Dr^a. Flávia Da Ré Guerra

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
FLAVIA DA RE GUERRA
Data: 10/12/2025 10:19:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dr^a. Evelise Aline Soares

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Prof^a Dr^a. Deila Rosely Carneiro

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que durante todo esses anos, me apoiaram e fizeram de tudo para que eu tivesse a realização desse sonho. E que por mais que a saudade apertasse em momentos difíceis, sempre se faziam presentes e me acolhiam em todos os momentos. Dos conselhos que me deram, sempre vou guardar o “Você só vai saber se tentar” e assim, grande parte da minha trajetória na UNIFAL se tornou mais significativa.

Aos meus avós que não estão mais entre nós, mas sempre foram uma peça chave para que trilhasse esse caminho e que fizesse tudo com muito orgulho. A Vó Dirce, que apesar da distância entre cidades, sempre me deu todo o amor e carinho do mundo.

As minhas amigas de Cristina, que desde sempre, estiveram comigo torcendo por cada momento e me ouviam contar sobre as vivências da vida acadêmica. Além de me apoiarem e torcerem por mim mesmo que tivéssemos quilômetros de distância.

À minha família de Alfenas, que fez a vida da graduação ser mais leve, sou muito grata por terem vocês por perto. Em especial a Luiza, Brenda, Thaisa, Mani, Matheus, Lavínia e Pedro que compartilharam as melhores risadas e momentos comigo.

À ConsultBio Jr, que me permitiu viver as melhores experiências dentro da universidade, fazendo com que eu me desenvolvesse muito profissionalmente e ganhasse uma segunda família. Em especial, a Julinha que esteve comigo desde o começo e nunca mais nos soltamos, deixando nossa marca de um jeitinho único no MEJ.

À LAANAT, que no último se tornou muito especial e me trouxe muitos conhecimentos na área de anatomia, proporcionando um acolhimento único e com que eu conhecesse pessoas incríveis.

À minha orientadora Flávia, em que toda paciência e compromisso foram essenciais para a realização deste trabalho. Que compartilhou muitos conhecimentos e me acolheu de forma única, sendo além de tudo, uma amiga e quase mãe durante todo o processo.

Todos vocês fazem parte dessa história e sempre levarei comigo. É a realização de um grande sonho e uma das etapas mais bonitas da minha vida, estou onde queria estar e tendo as melhores pessoas ao meu lado.

RESUMO

A obesidade é uma doença multifatorial, caracterizada pelo acúmulo excessivo da gordura corporal, que pode estar associada a diversos impactos negativos que podem ocasionar efeitos sobre a qualidade óssea e estrutura óssea. Alguns estudos apontam que a obesidade pode ocasionar a fragilidade óssea, redução da densidade mineral e aumentar os riscos de fraturas. Dessa forma, há o exercício físico aeróbio como uma das formas de se minimizar os efeitos deletérios vindos da obesidade. O presente estudo tem como finalidade, observar o efeito do exercício físico aeróbio nos fêmures de camundongos fêmeas obesas. Os animais foram divididos em quatro grupos experimentais: Sedentário Controle (SD), Treinado Controle (TR), Sedentária e Dieta Hiperlipídica (OB/SD), Treinada e Dieta Hiperlipídica (OB/TR). O protocolo aplicado no experimento iniciou-se com os grupos OB/SD e OB/TR sendo submetidos a uma dieta hiperlipídica em um período de 8 semanas e após este período os grupos treinados (obeso e controle) iniciaram o protocolo de treinamento físico aeróbio por 8 semanas. Após o seguimento dos protocolos, os animais foram submetidos a eutanásia e os fêmures foram coletados, limpos e analisados por meio de teste biomecânico e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados demonstraram que os grupos obesos apresentaram um aumento significativo do peso corporal em comparação aos controles, confirmando a indução da obesidade. No teste de desempenho físico, o grupo TR apresentou maior tempo, distância e velocidade máxima, enquanto os grupos obesos exibiram um desempenho menor. Na análise biomecânica, os grupos treinados apresentaram melhores parâmetros biomecânicos quando comparados aos sedentários. A microscopia eletrônica de varredura demonstrou um maior espaçamento trabecular nos grupos sedentários, em especial nos animais obesos sedentários, sugerindo redução da qualidade óssea quando comparados aos grupos controles, e maior densidade e organização estrutural nos grupos treinados. Os resultados deste estudo demonstram que o exercício físico foi capaz de atenuar os prejuízos ósseos associados à obesidade, refletidos em melhorias biomecânicas e na maior densidade óssea dos ossos dos animais treinados.

Palavras-chave: obesidade; exercício aeróbio; biomecânica; osso.

ABSTRACT

Obesity is a multifactorial disease characterized by the excessive accumulation of body fat, which can be associated with several negative impacts that can affect bone quality and bone structure. Some studies indicate that obesity can cause bone fragility, reduced bone mineral density, and increased risk of fractures. Therefore, aerobic exercise is one way to minimize the deleterious effects of obesity. This study aims to observe the effect of aerobic exercise on the femurs of obese female mice. The animals were divided into four experimental groups: Sedentary Control (SD), Trained Control (TR), Sedentary and High-Fat Diet (OB/SD), and Trained and High-Fat Diet (OB/TR). The protocol applied in the experiment began with the OB/SD and OB/TR groups being subjected to a high-fat diet for 8 weeks, after which the trained groups (obese and control) began an aerobic physical training protocol for 8 weeks. Following the protocols, the animals were euthanized, and the femurs were collected, cleaned, and analyzed using biomechanical testing and scanning electron microscopy. The results showed that the obese groups presented a significant increase in body weight compared to the controls, confirming the induction of obesity. In the physical performance test, the TR group showed greater time, distance, and maximum speed, while the obese groups exhibited lower performance. In the biomechanical analysis, the trained groups presented better biomechanical parameters when compared to the sedentary groups. Scanning electron microscopy demonstrated greater trabecular spacing in sedentary groups, especially in obese sedentary animals, suggesting reduced bone quality compared to control groups, and greater density and structural organization in trained groups. The results of this study demonstrate that physical exercise was able to mitigate bone damage associated with obesity, reflected in biomechanical improvements and greater bone density in the bones of trained animals.

Keywords: obesity; aerobic exercise; biomechanics; bone.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 2.1 | OBESIDADE..... | 11 |
| 2.2 | OBESIDADE E TECIDO ÓSSEO..... | 12 |
| 2.3 | EXERCÍCIO FÍSICO..... | 13 |
| 3 | OBJETIVOS | 14 |
| 3.1 | OBJETIVOS GERAIS..... | 14 |
| 3.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 4 | JUSTIFICATIVAS | 14 |
| 5 | METODOLOGIAS | 15 |
| 5.1 | ANIMAIS..... | 15 |
| 5.2 | PESO CORPORAL, CONSUMO DE ÁGUA E CONSUMO ALIMENTAR..... | 16 |
| 5.3 | TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO..... | 16 |
| 5.4 | OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS..... | 17 |
| 5.5 | ANÁLISE BIOMECÂNICA DOS FÊMURES..... | 17 |
| 5.5.1 | Medidas das Dimensões do Osso..... | 17 |
| 5.5.2 | Teste Mecânico..... | 17 |
| 5.6 | MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA..... | 19 |
| 6 | RESULTADOS | 20 |
| 7 | DISCUSSÃO | 24 |

| | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------|
| REFERÊNCIAS | ABSTRACT | 27 |
| ANEXO 1 | | 30 |

1 INTRODUÇÃO

A obesidade é caracterizada pelo acúmulo de gordura corporal, sendo um dos maiores desafios encontrados na saúde pública, resultando em grandes impactos sociais e econômicos, e que pode ser um fator de risco para outras enfermidades como doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão e alguns tipos de câncer. Em mulheres, a obesidade está associada a diversos fatores como: questões hormonais, infertilidade, complicações na gravidez, distúrbios como a síndrome do ovário policístico (SOP), câncer de mama ou até mesmo fatores psicossociais como a depressão e ansiedade (Maciel, et al., 2019).

De acordo com a Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e Síndrome Metabólica (ABESO), no Brasil a obesidade aumentou cerca de 72% nos últimos 13 anos. Em 2006 o país apresentava uma porcentagem de 11,8% e foi para 20,3% da população no ano de 2019. Estudos da ABESO fornecem dados que demonstram o número da obesidade no Brasil (IMC \geq 30), tendo 19,8% de brasileiros que se encontram nessa condição. Quando se avalia a distribuição por sexo, os dados mostram que as mulheres apresentam maior prevalência de obesidade, totalizando 20,7% e enquanto entre os homens o índice é de 18,7%.

A obesidade afeta diretamente o sistema esquelético, contribuindo para diversas consequências. Em alguns casos pode haver o risco de fratura e afetar a qualidade óssea. Existem vários mecanismos que são responsáveis por ocasionar danos aos ossos, entre eles há: o aumento da inflamação presente na obesidade, substituição de osteoblastos por células de gordura na medula óssea, mutações no gene (FTO) associado à massa gorda e à obesidade em humanos, que levam ao ganho de peso e à fragilidade óssea, além disso os efeitos da obesidade na resistência esquelética podem ser dependentes do local, visto que indivíduos obesos apresentam maior riscos de fraturas (Proietto, 2020; Gkastaris, 2020; Jensen, 2021).

Existem alguns mecanismos que podem relacionar a obesidade a fragilidade óssea e, por consequência ocasionar o risco de fraturas, entre eles podemos encontrar o aumento da produção de citocinas pró-inflamatórias, resistência à insulina, deficiência de vitamina D, diminuição da massa magra, má absorção de cálcio, entre outros. O efeito da obesidade no risco de fratura depende do local, podendo ser um risco aumentado em regiões como úmero, tornozelo, braço e apresentar um risco menor para outras como no quadril, pelve e punho, além de poder variar de acordo com a etnia, sexo e idade (Gonnelli, *et. al.*, 2014).

Na literatura, a relação entre a obesidade e o osso é um tanto quanto complexa, porém estudos que apontam um aumento da densidade mineral óssea (DMO) quando há o aumento do peso corporal, tanto por um efeito mecânico quanto pela maior quantidade de estrogênio presentes no tecido adiposo. Mesmo que a DMO ocasione um fortalecimento no osso, como

consequência ele irá ter um maior risco de fratura, a qual se deve por vários fatores (Rinonapoli, *et. al.*, 2021).

Um dos métodos que minimizam os efeitos da obesidade é o treinamento físico aeróbio, o qual é utilizado como tratamento e controle. Por meio desse treinamento, é observado uma redução da gordura corporal, e uma possibilidade de melhora do perfil metabólico (Lohan, *et al.*, 2023), também auxiliando na redução inflamatória sistêmica e controle da pressão arterial. Além disso, a prática desse treinamento físico também pode impactar na morfologia e densidade óssea (Horner, *et al.*, 2023).

O treinamento físico aeróbio pode contribuir positivamente na manutenção da densidade óssea e na resistência do fêmur em modelos animais, auxiliando na prevenção de fraturas e condições adversas decorrentes da obesidade (Mello, *et al.*, 2015).

A prática de treinamento físico apresenta uma eficácia contra as complicações metabólicas que estão associadas à obesidade, como a diminuição da tolerância à glicose, hiperinsulinemia e hipertrigliceridemia. Devido a esses fatores, o treinamento físico pode ser um método de escolha que pode prevenir ou tratar a obesidade (Ciolac, 2004; Guimarães, 2004).

Arelado a essas questões, modelos animais com roedores tornam-se muito úteis para o estudo da obesidade. Algumas linhagens de camundongos, como o caso da C57BL/6J ou AKR/J, são mais suscetíveis ao desenvolvimento da obesidade quando são alimentados com uma dieta rica em gordura (Bastías Pérez, *et. al.*;2020)

A realização de pesquisas com fêmeas permite que haja um avanço no conhecimento sobre a saúde das mulheres, o que permite que a qualidade e a relevância dos resultados científicos sejam aprimorados nos diferentes estudos. Estudos pré-clínicos ou que utilizam a experimentação animal com fêmeas, possibilitam a investigação de mecanismos fisiológicos dos diferentes tecidos e sistemas, além da reação de drogas ou fármacos envolvendo as diferentes respostas associadas ao sexo (Delbin, *et. al.*, 2025).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 OBESIDADE

A obesidade é uma condição crônica e recorrente, caracterizada pelo excesso de gordura corporal e sendo uma condição multifatorial em que muitos componentes contribuem para o seu desenvolvimento e patogênese (Lustig, *et al.*, 2022). Estudos epidemiológicos apresentam que a obesidade pode contribuir para o desenvolvimento de câncer, doenças

cardiovasculares, diabetes tipo II, doenças hepáticas e outros distúrbios (Jin, *et al.*, 2023; Gkastaris, 2020).

A principal causa que leva a obesidade seria o excesso de energia armazenada sendo significativamente maior do que a energia que é utilizada pelo corpo, este excesso é armazenado nas células de gordura e resulta no desenvolvimento da obesidade. Também existem causas genéticas, epigenéticas, fisiopatológicas, patogênicas e ambientais que podem resultar no desenvolvimento na obesidade (Lin, *et al.*, 2021).

A prevalência mundial de sobrepeso dobrou desde 1980, cerca de um terço da população global foi considerada obesa, a taxa de obesidade aumentou drasticamente entre homens e mulheres em todas as idades, tendo uma prevalência em idosos e mulheres, porém essas taxas variam de acordo com entre regiões, países e etnias (Lin, *et al.*, 2021).

A maioria dos estudos que avaliam os efeitos da obesidade em mulheres apresentam questões relacionadas à fertilidade apenas. A saúde pode ser impactada negativamente pela obesidade, podendo trazer riscos como doença arterial coronariana, osteoartrite no joelho, maiores riscos de múltiplos tipos de câncer e também afetar a fertilidade das mulheres (Kulie *et al.*, 2011). A obesidade também afeta o eixo hipotálamo-hipófise-ovário, sendo a causa de distúrbios e ocasionando uma alteração no equilíbrio hormonal (Marinelli *et al.*, 2022).

Em questões sociais, a obesidade está associada ao desemprego, desvantagens sociais e redução da produtividade socioeconômica, o que resulta em um ônus econômico cada vez maior, além disso as estratégias de prevenção e tratamento da obesidade não são bem-sucedidas a longo prazo. A redução do ônus da obesidade se relaciona muito com a necessidade de abordagens individuais que combinem com mudanças no meio ambiente e na sociedade (Bluher *et al.*, 2019).

2.2 OBESIDADE E TECIDO ÓSSEO

O tecido ósseo é um tecido biológico altamente influenciado por diversos fatores metabólicos tais como dieta, hormônios sexuais, composição corporal e exercício físico (Sherk *et al.*, 2021).

A obesidade geralmente está associada ao aumento da massa óssea que pode variar de acordo com o sexo, idade e carga mecânica, e também está associada a um risco aumentado de fraturas. Nessas situações o uso de modelo animal são ferramentas importantes para explorar e descrever os efeitos de diferentes fatores envolvidos no desenvolvimento de doenças. (Jensen, *et al.*, 2021).

Existem vários mecanismos da obesidade que podem ser deletérios nos ossos, entre eles: a substituição de osteoblastos por células de gordura na medula óssea, o aumento da inflamação associada aos altos níveis de citocinas que podem aumentar a reabsorção óssea por meio do aumento das atividades dos osteoclastos, mutações do gene associado à massa gorda e obesidade (FTO) que levam ao ganho de peso, a fragilidade óssea e aumento do risco de osteoporose, e o aumento do metabolismo e senescência acelerada de células-tronco estromais (Proietto, *et al.*, 2020).

Sherk e colaboradores (2021) realizaram experimentos de obesidade induzida por dieta, onde avaliaram a regulação do balanço energético durante um período de 10 semanas e observaram diferenças entre machos e fêmeas. Foi possível observar no grupo de machos que os ossos apresentam uma maior resistência à fratura em resposta ao exercício do que os ossos femininos, além disso eles também apresentaram um aumento modesto no gasto energético em comparação com as fêmeas. Analisou-se também que os ratos machos reduzem a ingestão alimentar em resposta ao treinamento em esteira, enquanto as fêmeas intactas aumentam a ingestão alimentar para compensar a energia gasta durante o exercício.

O excesso de tecido adiposo e suas moléculas pró-inflamatórias (IL-1, IL-6 e TNF- α) resultam em fragilidade óssea, pois estão intimamente ligadas a diferenciação de osteoclastos e a reabsorção óssea. Entretanto, alguns autores afirmam que o excesso de peso também funcionaria como fator mecânico favorecendo o acúmulo ósseo, o que resultaria em um equilíbrio na qualidade no osso (Falcão, *et al.*, 2022).

2.3 EXERCÍCIO FÍSICO

O exercício físico é uma ferramenta na prevenção e tratamento da obesidade, sendo de grande importância para a qualidade de vida da população. O exercício físico é caracterizado por toda atividade física planejada, estruturada e repetitiva que tem como objetivo a melhoria e manutenção de um ou mais componentes da aptidão física (Lohan, *et al.*, 2023).

Na literatura, existem diversos protocolos que avaliam diferentes tipos de exercícios físicos entre eles: exercício resistido ou treinamento de força que melhoram o metabolismo, fazem ganhar massa muscular mas aumenta seu gasto energético e também aumenta a lipólise; o treinamento aeróbio que beneficia os sistemas cardiorrespiratórios, vascular e metabólico, além de diminuir a massa gorda através do déficit energético; os exercícios de longa duração que elevam a lipólise do tecido adiposo. O exercício aeróbico pode conferir benefícios para a saúde óssea no tráfego de nutrientes, como desvio da gordura da dieta para o

músculo esquelético para acomodar o aumento da capacidade de oxidar gordura (Mota, *et. al.*, 2023; Sherk, *et.al.*, 2021).

O exercício pode induzir a formação óssea, em parte, por meio da amplificação da carga mecânica. As respostas ósseas mais testadas ao exercício são aumento da densidade mineral óssea (DMO) e na força, mas o exercício também pode aumentar a energia até a falha e melhorar as propriedades mecânicas do colágeno e dos minerais. O exercício pode mitigar parcialmente os efeitos negativos da dieta rica em gordura no tamanho total e na DMO (Sherk *et al.*,2021).

O treinamento físico aeróbio utiliza o oxigênio como fonte de queima dos substratos (carboidratos, proteínas e gorduras) que irão produzir energia e serão transportados para o músculo durante a prática do exercício. Além disso, ele proporciona uma melhora na qualidade de vida das pessoas com obesidade, diminuindo sua composição corporal e ajudando a realizar atividades simples do cotidiano (Lohan, *et al.*, 2023).

Uma das maneiras de aliviar as consequências da obesidade para a saúde é por meio do exercício físico, mesmo na ausência de perda de peso, sendo uma das maneiras de se ter um controle de sobrepeso. Os exercícios de resistência, resistência combinada com intervalos de alta intensidade são opções consideradas eficazes nessa situação (Petridou, *et al.*, 2019).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL:

Identificar a influência da composição corporal e do exercício físico nos fêmures de camundongos fêmeas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Avaliar por meio do teste de três pontos as propriedades biomecânicas dos fêmures dos animais dos diferentes grupos.
- Avaliar o aspecto morfológico dos fêmures dos animais dos diferentes grupos por meio da microscopia eletrônica de varredura.

4 JUSTIFICATIVA

A obesidade é uma condição crônica associada a diversos prejuízos à saúde, incluindo alterações na qualidade e na microarquitetura do tecido ósseo. O excesso de tecido adiposo pode comprometer a integridade óssea, favorecendo maior suscetibilidade a fraturas, aumento da reabsorção óssea e risco elevado de osteoporose, entre outros desfechos adversos.

O exercício físico é amplamente reconhecido como uma intervenção não farmacológica eficaz no manejo da obesidade, capaz de mitigar seus efeitos deletérios e promover benefícios à saúde óssea. Entretanto, apesar dos avanços na área, ainda há escassez de estudos que avaliem de forma sistemática as repercussões da obesidade e do exercício físico sobre o tecido ósseo especificamente em fêmeas. A literatura existente concentra-se majoritariamente em aspectos reprodutivos, deixando lacunas importantes quanto às alterações metabólicas de diferentes tecidos biológicos nesse sexo.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo ampliar o conhecimento sobre protocolos de exercício físico e suas repercussões no tecido ósseo de fêmeas obesas, considerando a carência de pesquisas voltadas a essa temática.

5 METODOLOGIAS

5.1 ANIMAIS

A presente pesquisa faz parte de um projeto experimental, intitulado “EFEITOS DO TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO NOS BIOMARCADORES INFLAMATÓRIOS, DO ESTRESSE OXIDATIVO E DA SENESCÊNCIA DO TECIDO ADIPOSEO PERIVASCULAR DE FÊMEAS OBESAS” e foi aprovado pela Comissão de Ética no uso de Animais da UNICAMP e protocolado pelo nº 5849-1/2021 (Anexo 1).

Camundongos fêmeas C57BL/6 JUnib com quatro semanas de idade foram fornecidos pela UNICAMP (Centro Multidisciplinar para Investigação Biológica na Área da Ciência em Animais de Laboratório-CEMIB) e foram mantidos no Biotério-1 da Área de Fisiologia e Biofísica do Instituto de Biologia da UNICAMP (Departamento de Biologia Estrutural e Funcional-IB-UNICAMP).

Os animais com oito semanas de idade foram então divididos nos seguintes grupos experimentais:

1. Sedentária Controle (SD, n = 15): C57BL/6 JUnib fêmeas sedentárias e alimentadas com ração comercial controle;
2. Treinada Controle (TR, n = 15): C57BL/6 JUnib fêmeas submetidas ao treinamento físico aeróbio e alimentadas com ração comercial controle;
3. Sedentária e Dieta Hiperlipídica (OB/SD, n = 15): C57BL6/J fêmeas sedentárias e alimentadas com dieta hiperlipídica;

4. Treinada e Dieta Hiperlipídica (OB/TR, n = 15): C57BL6/J fêmeas submetidas ao treinamento físico aeróbio e alimentadas com dieta hiperlipídica.

Todos os animais foram mantidos em salas com temperatura entre 20-21°C, ciclo normal de 12 horas claro/escuro, caixas coletivas com dois ou três animais em cada e livre acesso à água, ração comercial (3,6 kcal/grama, Nuvilab CR1, BRA) ou dieta hiperlipídica (6,2 kcal/grama: 32% de carboidratos, 20,3 % de proteínas e 38 % de lipídios, PragSoluções Biociências, Brasil, Sousa et al., 2019).

Ao início do protocolo os animais dos grupos OB/SD e OB/TR foram alimentados com dieta hiperlipídica por 8 semanas para o desenvolvimento de adiposidade, após este período apenas o grupo OB/TR iniciou o protocolo de treinamento físico aeróbio por 8 semanas. Em ambos os grupos, a dieta hiperlipídica teve continuidade por mais 8 semanas, totalizando assim 16 semanas de dieta hiperlipídica. O mesmo protocolo experimental foi aplicado para os grupos controle, SD e TR, no entanto foi fornecida ração comercial.

5.2 PESO CORPORAL, CONSUMO DE ÁGUA E CONSUMO ALIMENTAR

O peso corporal, o consumo de água e consumo alimentar dos animais foram mensurados ao início do protocolo experimental e semanalmente até o final do programa.

5.3 TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO

O treinamento físico realizado foi o de corrida em esteira ergométrica para camundongos (Gesam, Brasil). Uma semana antes do início do protocolo experimental os animais foram submetidos a um período de adaptação à esteira onde a velocidade imposta consistiu de aumentos progressivos variando a velocidade em 5 metros/minuto (m/min) no primeiro dia até 10m/min no quinto dia da semana, e o tempo variando em 20 min no primeiro dia até 60 min no quinto dia. Somente os animais adaptados à esteira foram utilizados neste estudo. Após o período de adaptação, os animais iniciaram o programa de treinamento físico com intensidade moderada, de 60-70% da capacidade máxima, sendo determinado pelo teste de esforço máximo, descrito previamente (Sponton et al., 2017).

O critério utilizado para a determinação da exaustão do animal e interrupção do teste foi o momento em que o camundongo não foi mais capaz de correr mediante incremento da velocidade da esteira (Brooks et al., 1978). Na primeira semana o treinamento físico iniciou-se com velocidade de 10 m/min por 30 minutos, aumentando progressivamente até atingir a velocidade final correspondente a 60-70% da capacidade máxima por 60 minutos. É

importante salientar que os animais foram agrupados para o treinamento físico de acordo com a velocidade de treinamento. O programa teve duração total de 8 semanas de treinamento em esteira, 5 dias por semana, velocidade de 60-70% da capacidade máxima, com duração de 60 minutos por sessão durante o período da manhã. Para determinação da eficácia do treinamento ao final do protocolo, todos os animais, sedentários e treinados, submetidos ao teste de esforço máximo, onde o tempo total, distância total e velocidade máxima foram calculados. Ao término do período total de treinamento, os animais serão mantidos em repouso por um período de 48 horas (para verificação dos efeitos crônicos do treinamento físico) e jejum de 8 horas.

5.4 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Os animais foram anestesiados com cetamina 80mg/kg, xilazina 10 mg/kg e acepromazina 3mg/kg intraperitoneal. Em seguida, realizou-se a eutanásia, os fêmures foram coletados, limpos e acondicionados em gaze embebida em solução fisiológica (NaCl 0.9%) e armazenado em freezer (-20oC).

5.5 ANÁLISE BIOMECÂNICA DOS FÊMURES

5.5.1 Medidas das Dimensões do Osso

Foi realizada a limpeza dos ossos, com remoção de todo tecido circundante ao fêmur. Com um paquímetro digital e uma lupa, foram feitas quatro medidas no fêmur de cada animal. Cada medida corresponde à distância entre dois pontos de referência do próprio osso e os valores obtidos foram utilizados nos cálculos das propriedades materiais e estruturais.

5.5.2 Teste Mecânico

O fêmur foi testado mecanicamente até sua fratura completa, em teste de flexão em três pontos, a uma velocidade de 0,05 mm/s (3 mm/min) no equipamento mecânico MTS (modelo TESTSTAR II), com célula de carga de 100 Kgf. O ponto superior e os dois suportes inferiores possuem 0,5 mm de raio em suas extremidades. A distância entre os dois suportes inferiores foi de 7 mm. Cada fêmur foi testado no plano anteroposterior (concauidade voltada para cima), com o lado anterior voltado para cima, suportando compressão, e com o lado posterior para baixo, suportando tensão.

A força foi aplicada na superfície anterior porque há maior estabilidade do osso com o aparato mecânico, minimizando a rotação durante o teste. Os dados de força (carga ou load) e deslocamento (deformação absoluta ou displacement) foram obtidos diretamente do sistema

MTS e registrados pelo software do computador acoplado à máquina de ensaio. Os registros desses dados foram utilizados para aquisição e cálculo das propriedades estruturais, dentre eles a força máxima (maximum load). A rigidez extrínseca foi calculada como sendo a inclinação da porção mais linear da região elástica da curva força-deslocamento. A força no limite elástico foi obtida no ponto da curva força-deslocamento, denominada de “limite elástico” ou “limite de proporcionalidade” (yield point). O limite elástico é o ponto imaginário que divide a região elástica da região plástica. É definido como a maior força que o material pode suportar, sem deixar qualquer deformação permanente quando descarregado. Para a determinação desse ponto, foi obtida a equação da reta de um trecho linear da fase elástica (Figura 1a). A partir dessa equação, foi obtida uma reta linear deslocada 0,2%, que possibilitou a determinação do limite elástico, exatamente no ponto onde essa reta e a curva força-deslocamento se cruzam (Figura 1b). Dessa equação da reta, onde Y é a variável que representa a força e x a variável que representa o deslocamento, foram determinados novos deslocamentos acrescidos de 0,2% para as forças. Assim, para cada força (y), um novo deslocamento (x') foi determinado (Figura 1b).

Ao obter esses valores, foram realizadas análises por meio do ANOVA two-way seguida de teste de Tukey e se adquiriu os dados de por meio dos cálculos foram força máxima, tensão máxima, rigidez estrutural, módulo de elasticidade, deformação máxima e deslocamento.

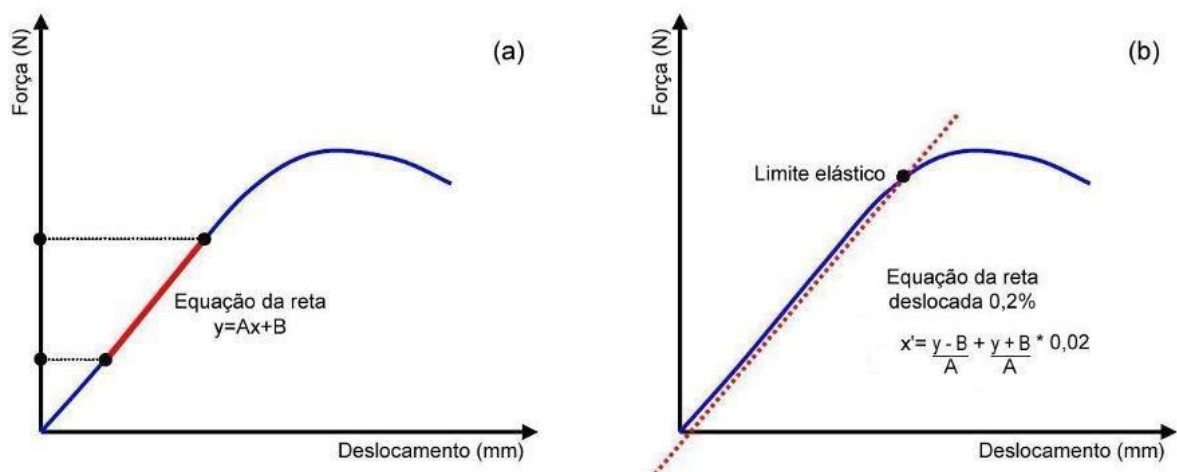


Figura 1: Desenho esquemático para obtenção do limite elástico. (a) Determinação da equação da reta na região (fase) elástica. (b) Limite elástico exatamente no ponto onde a curva e a nova reta se cruzam. No desenho: y é a

variável que representa a força, A e B são constantes, x é a variável que representa os deslocamentos e x' é a variável que representa os novos deslocamentos na reta deslocada 0,2%.

As extremidades proximais foram fotografadas por uma câmera digital de alta resolução e escala milimétrica, com auxílio do software NIS-Elements: Advanced Research (USA). A partir das medidas obtidas de cada extremidade, foi determinada a média de cada um dos parâmetros. Os parâmetros da área de secção transversal foram utilizados para calcular o momento de inércia de área da diáfise. Para esse cálculo, foi assumido que a diáfise tinha um formato elíptico. Para isso, será utilizada a equação:

$$I = \frac{\pi}{64} [ab^3 - (a - 2t)(b - 2t)^3]$$

Onde I é o momento de inércia de área; a é a largura da área de secção transversal na direção médio-lateral; b é a largura da área de secção transversal na direção anteroposterior; e t é a média da espessura do osso cortical. A média da espessura cortical foi calculada por meio das medidas feitas em cada um dos quadrantes da área cortical da diáfise. As propriedades materiais [tensão máxima (maximum stress), módulo elástico (elastic modulus) e deformação (strain)] foram calculadas a partir desses parâmetros. Elas foram obtidas pelas equações:

$$\sigma = \frac{\text{força} \cdot L \cdot c}{4I}$$

$$\varepsilon = \frac{12 \cdot c \cdot d}{L^2}$$

$$E = \frac{\text{rigidez} \cdot L^3}{48I}$$

Onde: σ é a tensão; L é a distância entre os dois suportes inferiores; c é igual à metade de b (descrito anteriormente); ε é a deformação; d é o deslocamento; E é módulo elástico. A força poderá ser a máxima ou a correspondente ao limite elástico.

5.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Após a análise biomecânica, o fragmento do osso foi enviado para a microscopia eletrônica, onde foi realizada uma impregnação metálica seguida de uma desidratação em etanol, passando por um processo de secagem e de fixação sobre o suporte. As amostras receberam uma cobertura condutora e depois, observada no Microscópio Eletrônico de Varredura Mira 4 da Tescan.

6 RESULTADOS

Para caracterizar o perfil dos animais durante o experimento, foram organizadas duas tabelas contendo informações referentes ao estado corporal e ao desempenho no protocolo de treinamento. A Tabela 1 apresenta os dados de peso corporal registrados ao longo do período experimental, permitindo acompanhar a evolução ponderal dos diferentes grupos e identificar possíveis efeitos da dieta e do treinamento sobre a massa corporal. Já a Tabela 2 reúne os parâmetros relacionados ao treinamento físico, incluindo as métricas de desempenho obtidas durante as sessões de exercício. Esses dados possibilitam avaliar a resposta dos animais ao protocolo aplicado e verificar a consistência do treinamento entre os grupos submetidos à intervenção

Tabela 1: Peso corporal e ganho de peso em camundongos fêmeas dos grupos sedentário (SD), treinado (TR), sedentário obeso (OBSD) e treinado obeso (OBTR).

| | SD | TR | OBSD | OBTR |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Peso corporal inicial (g) | 19.00 ± 0.63 | 19.22 ± 1,48 | 19.88 ± 1.24 | 20.00 ± 2.0 |
| Peso corporal após 8 semanas (g) | 22.83 ± 1.47 | 22.67 ± 1.93 | 32.50 ± 4.37 ^{a, b} | 34.80 ± 4.55 ^{a, b} |
| Peso corporal final (g) | 23.17 ± 1.47 | 22.67 ± 1.65 | 47.75 ± 3.24 ^{a, b} | 49.40 ± 5.27 ^{a, b} |
| Ganho de peso (g) | 4.16 ± 1.47 | 3.44 ± 1.13 | 27.88 ± 2.64 ^{a, b} | 29.40 ± 4.93 ^{a, b} |
| Peso corrigido (mg/mm) | 19.40 ± 4.13 | 19.80 ± 7.69 | 194.8 ± 30.18 ^{a, b} | 223.7 ± 25.53 ^{a, b} |

Fonte: autor, 2025. Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. ANOVA Two-way seguido pelo pós-teste de Tukey. a p < 0,0001 comparado com SD; e b p < 0,0001 comparado com a TR.

A Tabela 1 apresenta a evolução do peso corporal das fêmeas ao longo do experimento, evidenciando diferenças marcantes entre os grupos controle (SD e TR) e os grupos obesos (OBSD e OBTR). Os animais SD e TR mantiveram pesos estáveis durante as

oito semanas, com ganho reduzido ao final do protocolo. Em contraste, os grupos OBSD e OBTR exibiram aumentos expressivos no peso corporal, significativamente superiores aos controles ($p < 0,0001$), atingindo valores finais entre 47 e 49 g. O ganho de peso nesses grupos foi cerca de sete a oito vezes maior do que nos grupos SD e TR, confirmando a eficácia do protocolo indutor de obesidade. Além disso, o peso corrigido também foi substancialmente superior nos grupos obesos, reforçando a diferença no acúmulo de massa corporal ao longo do experimento.

Tabela 2: Teste de exercício realizado ao final do programa de treinamento em camundongos fêmeas dos grupos sedentário (SD), treinado (TR), sedentário obeso (OBSD) e treinado obeso (OBTR).

| | SD | TR | OBSD | OBTR |
|---------------------------|---------------|---------------|----------------------------|---------------------------|
| Tempo (minutos) | 20.82 ± 5.85 | 27.12 ± 7.21 | 13.26 ± 2.80 ^a | 13.18 ± 3.17 ^a |
| Distância (metros) | 360.2 ± 140.2 | 545.2 ± 235.6 | 178.3 ± 57.52 ^a | 176.3 ± 59.4 ^a |
| Velocidade Máxima (m/min) | 25.50 ± 5.28 | 31.67 ± 7.21 | 18.92 ± 3.20 ^a | 18.43 ± 3. ^a |

Fonte: autor, 2025. Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. ANOVA Two-way seguido pelo pós-teste de Tukey. ^a $p < 0,005$ comparado com TR.

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de desempenho físico realizado ao final do programa de treinamento. Observa-se que o grupo TR apresentou o melhor desempenho entre todos os grupos, com maior tempo de corrida ($27,12 \pm 7,21$ min), maior distância percorrida ($545,2 \pm 235,6$ m) e maior velocidade máxima ($31,67 \pm 7,21$ m/min), indicando adaptação positiva ao protocolo de exercício. Em contraste, os grupos obesos (OBSD e OBTR) apresentaram desempenho significativamente reduzido em todos os parâmetros quando comparados ao grupo TR ($p < 0,005$), com tempos de corrida inferiores a 14 minutos, menor distância percorrida e velocidades máximas próximas de 18 m/min. Esses achados demonstram que a obesidade compromete a capacidade de esforço, independentemente da realização de treinamento físico, enquanto o treinamento em animais controle promoveu melhorias claras no desempenho aeróbio.

Foi realizada a análise biomecânica dos fêmures, considerando diferentes parâmetros que descrevem suas propriedades mecânicas, conforme apresentado na Figura 2. Os parâmetros avaliados foram: força máxima (N), que indica a carga suportada pelo osso até o momento da fratura; deslocamento (mm), que representa a deformação física antes da ruptura; tensão máxima – $\sigma_{\text{máx}}$ (MPa), relacionada à resistência intrínseca do tecido ósseo; deformação máxima – $\epsilon_{\text{máx}}$, que expressa a ductilidade do material; e o módulo de elasticidade – E (MPa), indicador da rigidez óssea.

O grupo SD apresentou valores reduzidos de força máxima e tensão máxima, sugerindo menor resistência à fratura. Observou-se também maior deslocamento e módulo de elasticidade elevada, indicando capacidade aumentada de deformação, porém associada a maior rigidez e propensão à fratura frágil.

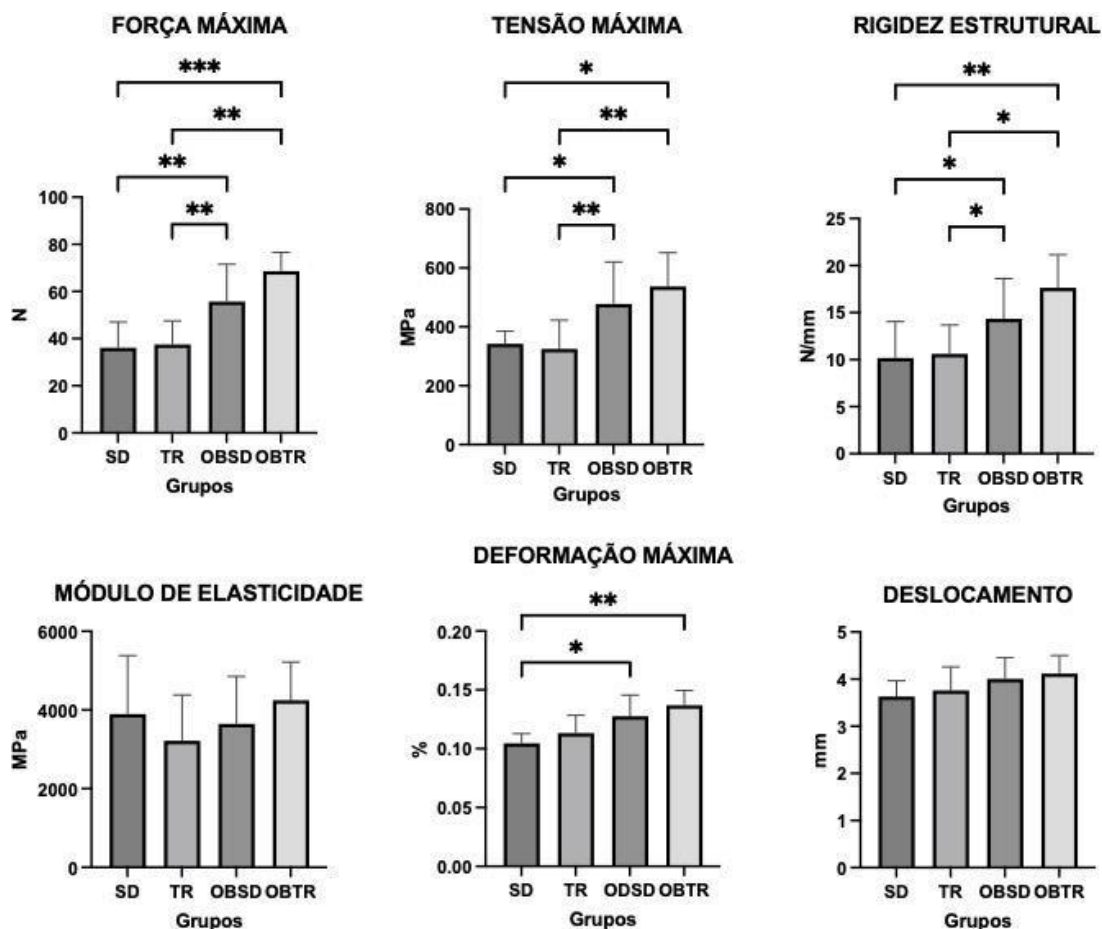
No grupo TR, tanto a força máxima quanto a tensão máxima também foram inferiores, caracterizando ossos menos resistentes e com menor rigidez. Os valores de deslocamento e módulo de elasticidade apontaram um comportamento mais maleável e estruturalmente frágil.

O grupo OBTR apresentou valores superiores em todos os parâmetros analisados. A maior força máxima indica necessidade de carga mais elevada para causar fratura, refletindo baixa fragilidade estrutural. A tensão máxima elevada confirma maior resistência intrínseca, acompanhada de maior deformação relativa ($\epsilon_{\text{máx}}$). Além disso, o grupo demonstrou maior capacidade de deformação antes da ruptura e um módulo de elasticidade elevada, sugerindo maior rigidez, porém com possível suscetibilidade à fratura frágil.

No grupo OBSD, parâmetros como força máxima, tensão máxima e rigidez (k, N/mm) evidenciaram maior resistência óssea, exigindo maior carga para a fratura. Os valores aumentados de deslocamento e deformação relativa ($\epsilon_{\text{máx}}$) indicaram maior flexibilidade. O módulo de elasticidade mais baixo mostrou que os ossos eram menos rígidos e mais maleáveis.

De modo geral, observou-se que, na força máxima, os grupos controles (SD e TR) apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando comparados aos grupos obesos (OBSD e OBTR), além de diferenças entre si. Os grupos obesos exibiram valores superiores na maior parte dos parâmetros biomecânicos, indicando maior resistência à fratura e contribuindo para os resultados significativos observados.

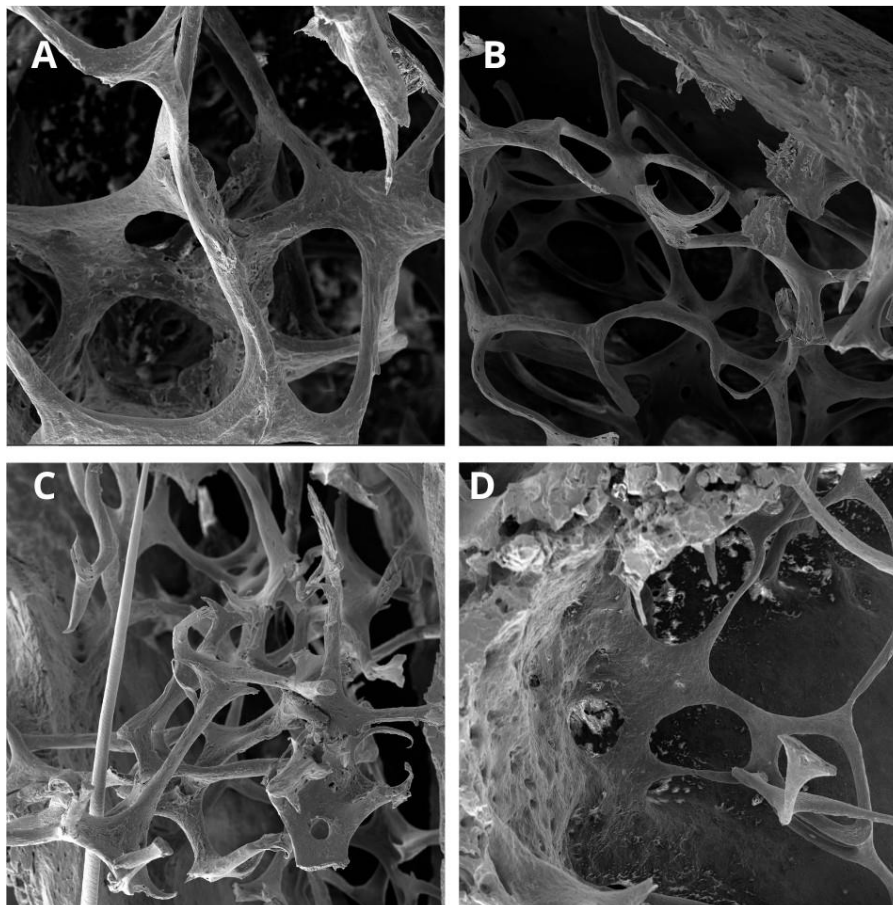
Figura 2: Parâmetros biomecânicos do fêmur de camundongos fêmeas sedentárias (SD), treinadas (TR), obesas sedentárias (OBSD) e obesas treinadas (OBTR).



Fonte: autor, 2025. Os gráficos representam os valores médios \pm desvio padrão da força máxima, tensão máxima, rigidez estrutural, módulo de elasticidade, deformação máxima e deslocamento obtidos nos ensaios mecânicos. As análises foram realizadas por ANOVA two-way seguida de teste de Tukey. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

As análises obtidas por microscopia eletrônica de varredura das epífises dos fêmures, apresentadas na Figura 3, permitem observar qualitativamente que os grupos obesos exibem maior espaçamento entre as trabéculas ósseas, sugerindo uma possível redução da densidade óssea em comparação aos demais grupos avaliados. Por outro lado, os grupos submetidos ao treinamento físico apresentam trabéculas mais próximas e uma organização estrutural mais densa, indicando maior densidade óssea em relação aos grupos sedentários.

Figura 3 - Imagem de microscopia de varredura de fêmures de camundongos fêmeas.



Fonte: autor, 2025. Na figura, A representa o grupo SD (magnitude de 944kx), B representa OBSD (magnitude 603kx), C o grupo TR (magnitude 11,8kx) e OBTR (magnitude 608kx).

7 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram diferenças marcantes entre animais obesos e animais controle, especialmente no que se refere às propriedades biomecânicas do tecido ósseo. A literatura indica que as adaptações ósseas mais frequentemente observadas em resposta ao exercício físico incluem aumento da densidade mineral óssea (DMO) e melhora da resistência mecânica (Sherk, *et al.*, 2021). Assim, seria esperado que o grupo submetido ao treinamento (TR) apresentasse maior força e resistência óssea em comparação aos grupos SD e OBSD. No entanto, fatores como idade dos animais, duração e intensidade do protocolo de treinamento, além de características fisiológicas individuais, podem influenciar a magnitude dessas respostas e justificar os resultados divergentes observados.

No contexto do sedentarismo, estudos demonstram que a ausência de estímulos mecânicos adequados favorece a perda óssea e reduz a formação de novo tecido, aumentando a fragilidade e o risco de fraturas. Nossos achados corroboram essa tendência: os grupos SD e

TR apresentaram menor força máxima e fraturaram com cargas inferiores, indicando maior vulnerabilidade estrutural. A tensão máxima reduzida nesses grupos reforça que o material ósseo é menos resistente à ruptura.

Diversos estudos pré-clínicos também corroboram que a obesidade pode promover adaptações biomecânicas positivas. Em 2019 Jones e colaboradores avaliaram camundongos submetidos à dieta hiperlipídica e observaram aumento da área cortical, rigidez à flexão e força mecânica, atribuídos principalmente ao aumento da massa corporal (Jones, *et al.*, 2019). Por outro lado, evidências indicam que, após ganho inicial de massa óssea, a obesidade pode levar à redução da formação óssea e acúmulo de adipócitos na medula, comprometendo a qualidade do tecido a longo prazo (Huang, *et al.*, 2015). Esses achados explicam, em parte, o comportamento biomecânico divergente entre OBSD e OBTR.

Em contraste ao sedentarismo, os resultados do grupo OBTR alinham-se a estudos que relatam efeitos benéficos do exercício aeróbio sobre a manutenção da DMO e o aumento da resistência óssea em modelos animais, contribuindo para a prevenção de fraturas mesmo na presença de obesidade (Mello, *et al.*, 2015). No presente estudo, o grupo OBTR apresentou maior rigidez, maior capacidade de deformação antes da ruptura e maior resistência mecânica, sugerindo que a combinação de obesidade e treinamento exerceu efeito adaptativo positivo sobre o tecido ósseo.

A análise morfológica (Figuras 2C e 2D) reforça esse padrão, evidenciando maior densidade óssea nos grupos TR e OBTR. Tal achado é consistente com a literatura, que descreve que o exercício físico estimula a formação óssea e promove aumento da DMO (Silva, *et al.*, 2014). Contudo, é importante reconhecer que maior DMO não implica necessariamente maior resistência mecânica em todas as situações. Estudos apontam que ossos mais densos podem apresentar maior risco de fraturas devido ao aumento da rigidez e redução da capacidade de dissipação de energia (Rinonapoli, *et al.*, 2021). Essa relação pode ajudar a explicar o desempenho inferior do grupo TR na análise biomecânica, apesar da maior densidade aparente, diferenciando-o do grupo OBTR, que apresentou melhor resistência.

O grupo SD exibiu os menores valores de resistência mecânica, o que se reflete na análise estrutural (Figura 2A), que evidencia trabéculas mais finas e menor densidade, características classicamente associadas à fragilidade óssea.

Por fim, o grupo OBSD apresentou aumento do espaço intertrabecular, possivelmente relacionado à redução da atividade osteoblástica e ao remodelamento ósseo prejudicado por processos inflamatórios crônicos característicos da obesidade (Cadore, *et al.*, 2005). Esse achado está de acordo com o previsto, reforçando a influência negativa da inflamação

sistêmica sobre a microarquitetura óssea, mesmo em ossos que apresentaram maior resistência mecânica devido ao aumento de carga corporal.

Em conjunto, os resultados deste estudo demonstram que o exercício físico foi capaz de atenuar os prejuízos ósseos associados à obesidade, refletidos em melhorias biomecânicas e na maior densidade observada nas epífises dos ossos nos animais treinados. A obesidade, por sua vez, mostrou-se relacionada a um padrão microestrutural mais espaçado entre as trabéculas, sugerindo redução da qualidade óssea quando comparados aos grupos controle. Além disso, a análise exclusiva em fêmeas destaca a importância de compreender como fatores como sexo biológico, composição corporal e estímulo mecânico interagem para modular a saúde óssea. Assim, os achados contribuem para preencher a lacuna ainda existente na literatura sobre respostas ósseas ao exercício em mulheres, reforçando a necessidade de incluir fêmeas em estudos pré-clínicos para melhor compreender o papel de doenças metabólicas crônicas e do treinamento físico no tecido ósseo.

REFERÊNCIAS

- BASTÍAS-PÉREZ, M.; SERRA, D.; HERRERO, L. Dietary Options for Rodents in the Study of Obesity. *Nutrients*, v. 12, n. 11, p. 3234, 22 out. 2020.
- BATISTA, J. V. F. et al. **Influência da Obesidade na densidade mineral óssea: uma revisão narrativa.** *Brazilian Journal of Health Review*, v. 5, n. 5, p. 19956–19964, 29 set. 2022.
- BERALDO, F. C.; VAZ, I. M. F.; NAVES, M. M. V. **Nutrição, atividade física e obesidade em adultos: aspectos atuais e recomendações para prevenção e tratamento.** *www.rmmg.org*, v. 14, n. 1, p. 57–62, [s.d.].
- BLÜHER, M. **Obesity: global epidemiology and pathogenesis.** *Nature Reviews Endocrinology*, v. 15, n. 5, p. 288–298, 27 fev. 2019.
- CADORE, E. L.; BRENTANO, M. A.; KRUEL, L. F. M. **Efeitos da atividade física na densidade mineral óssea e na remodelação do tecido ósseo.** *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 11, n. 6, p. 373–379, dez. 2005
- CIOLAC, E. G.; GUIMARÃES, G. V. **Exercício físico e síndrome metabólica.** *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 10, n. 4, p. 319–324, ago. 2004.
- CHOOI, Y. C.; DING, C.; MAGKOS, F. **The epidemiology of obesity.** *Metabolism*, v. 92, n. 92, p. 6–10, mar. 2019.
- DELBIN, Maria Andreia; DA RÉ SILVA, Teresa Maria; ZANESCO, Angelina. **Experimentação Animal em Fêmeas. Explorando Fronteiras na Pesquisa Científica: Experimentação Animal em Fêmeas**, [s. l.], 2025. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=bCSIEOAAQBAJ&pg=PT7&hl=pt-BR&source=gb_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 26 nov. 2025.
- FERNANDEZ, A. C. et al. **Influência do treinamento aeróbio e anaeróbio na massa de gordura corporal de adolescentes obesos.** *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 10, p. 152–158, 1 jun. 2004.

GONNELLI, S. et al. **Divergent effects of obesity on fragility fractures.** *Clinical Interventions in Aging*, p. 1629, set. 2014.

HORNER, A. et al. **Limb bone response to exercise training in High Runner (HR) mice.** *Physiology*, v. 38, n. S1, maio 2023.

HUANG, J. et al. **Obesity-induced alterations in bone remodeling and marrow adiposity in mice.** *Journal of Bone and Mineral Research*, v. 30, n. 5, p. 915–927, 2015.

JENSEN, V. F. H. et al. **Changes in bone mass associated with obesity and weight loss in humans: Applicability of animal models.** *Bone*, v. 145, n. 115781, p. 115781, abr. 2021.

JESUS, L. A. DA S. DE et al. **Exercício físico e obesidade: prescrição e benefícios.** *HU Revista*, v. 44, n. 2, p. 269–276, 2018.

JIN, X. et al. **Pathophysiology of obesity and its associated diseases.** *Acta Pharmaceutica Sinica B*, v. 13, n. 6, 13 jan. 2023.

JONES, K. S. et al. **High-fat diet-induced obesity leads to increased cortical bone size and mechanical strength in mice.** *Bone*, v. 123, p. 1–12, 2019.

GKASTARIS, K. et al. **Obesity, osteoporosis and bone metabolism.** *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, v. 20, n. 3, p. 372, 2020.

KULIE, T. et al. **Obesity and Women's Health: An Evidence-Based Review.** *The Journal of the American Board of Family Medicine*, v. 24, n. 1, p. 75–85, 1 jan. 2011.

LIN, X.; LI, H. **Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics.** *Frontiers in Endocrinology*, v. 12, n. 1, 6 set. 2021.

LOHAN, B. et al. **BENEFÍCIOS DO EXERCÍCIO FÍSICO PARA OBESIDADE: REVISÃO SISTEMATIZADA.** *RECISATEC*, v. 3, n. 4, p. e34278–e34278, 26 abr. 2023.

LUSTIG, R. H. et al. **Obesity I: Overview and molecular and biochemical mechanisms.** *Biochemical Pharmacology*, v. 199, p. 115012, maio 2022.

MACIEL G. A. **Epidemiologia da obesidade e suas implicações sobre a saúde global.** In: *Obesidade na mulher*. São Paulo: Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia; 2019. Cap. 1, p.1-8. (Série Orientações e Recomendações FEBRASGO; no. 3/Comissão Nacional Especializada em Climatério).

Mapa da Obesidade - Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica. Disponível em: <<https://abeso.org.br/mapa-da-obesidade/>>.

MARINELLI, S. et al. **Female obesity and infertility: outcomes and regulatory guidance.** *Acta Bio Medica : Atenei Parmensis*, v. 93, n. 4, p. e2022278, 2022.

MELLO, M. A. R., et al. (2015). **Physical training prevents bone loss in ovariectomized rats fed a high-fat diet.** *Journal of Applied Physiology*, 118(11), 1457–1464.

PETRIDOU, A.; SIOPI, A.; MOUGIOS, V. **Exercise in the management of obesity.** *Metabolism*, v. 92, p. 163–169, mar. 2019.

PROIETTO, J. **Obesity and Bone.** *F1000Research*, v. 9, 9 set. 2020.

RINONAPOLI, G.; PACE, V.; RUGGIERO, C.; CECCARINI, P.; BISACCIA, M.; MECCARIELLO, L.; CARAFFA, A. **Obesity and Bone: A Complex Relationship.** *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 13662. <https://doi.org/10.3390/ijms222413662>

SHERK, V. D. et al. **Sex differences in the effect of diet, obesity, and exercise on bone quality and fracture toughness.** *Bone*, v. 145, p. 115840, 1 abr. 2021.

Sobrepeso e obesidade como problemas de saúde pública. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/eu-queroter-peso-saudavel/noticias/2022/sobrepeso-e-obesidade-como-problemas-de-saude-publica>.

ANEXO 1

CERTIFICADO CEUA nº 190/2021



CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada **EFETOS DO TREINAMENTO FÍSICO AERÓBIO NOS BIOMARCADORES INFLAMATÓRIOS, DO ESTRESSE OXIDATIVO, DA SENESCÊNCIA E NA FUNÇÃO DO TECIDO ADIPOSEO PERIVASCULAR EM FÊMEAS OBESAS**, registrada com o nº **5849-1/2021**, sob a responsabilidade de **Prof. Dr. MARIA ANDREIA DELBIN e Maria Andréia Delbin**, que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo *Chordata*, subfilo *Vertebrata* (exceto o homem) para fins de pesquisa científica (ou ensino), encontra-se de acordo com os preceitos da **LEI Nº 11.794, DE 8 DE OUTUBRO DE 2008**, que estabelece procedimentos para o uso científico de animais, do **DECRETO Nº 6.899, DE 15 DE JULHO DE 2009**, e com as normas editadas pelo **Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA)**, tendo sido aprovada pela **Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Campinas - CEUA/UNICAMP**, em reunião de **19/08/2021**.

| | |
|---|--|
| Finalidade: | () Ensino (X) Pesquisa Científica |
| Vigência do projeto: | 01/11/2021 a 31/12/2024 |
| Vigência da autorização para manipulação animal: | 19/08/2021 a 31/12/2024 |
| Espécie / linhagem/ raça: | Camundongo isogênico / C57BL6/JUnib |
| No. de animais: | 40 |
| Idade/Peso: | 4.00 Semanas / 20.00 Gramas |
| Sexo: | 40 Fêmeas |
| Espécie / linhagem/ raça: | Camundongo isogênico / C57BL6/JUnib |
| No. de animais: | 40 |
| Idade/Peso: | 4.00 Semanas / 20.00 Gramas |
| Sexo: | 40 Fêmeas |
| Espécie / linhagem/ raça: | Camundongo isogênico / C57BL6/JUnib |
| No. de animais: | 40 |
| Idade/Peso: | 4.00 Semanas / 20.00 Gramas |
| Sexo: | 40 Fêmeas |
| Espécie / linhagem/ raça: | Camundongo isogênico / C57BL6/JUnib |
| No. de animais: | 40 |
| Idade/Peso: | 4.00 Semanas / 20.00 Gramas |
| Sexo: | 40 Fêmeas |
| Origem: | Centro Multidisciplinar para Investigação Biológica na Área da Ciência em Animais de Laboratório-CEMIB |
| Biotério onde serão mantidos os animais: | Biotério 1 - Área de Fisiologia e Biofísica, DBEF/IB/UNICAMP |

A aprovação pela CEUA/UNICAMP não dispensa autorização a junto ao **IBAMA, SISBIO** ou **CIBio** e é **restrita** a protocolos desenvolvidos em biotérios e laboratórios da Universidade Estadual de Campinas.

Campinas, **02 de setembro de 2021**.

Prof. Dr. Wagner José Fávaro
Presidente

Rosângela dos Santos
Secretária Executiva

IMPORTANTE: Pedimos atenção ao prazo para envio do relatório final de atividades referente a este protocolo: até 30 dias após o encerramento de sua vigência. O formulário encontra-se disponível na página da CEUA/UNICAMP, área do pesquisador responsável. A não apresentação de relatório no prazo estabelecido impedirá que novos protocolos sejam submetidos.

Documento assinado. Verificar autenticidade em sigad.unicamp.br/verifica
Informar código F8B4229C 1B4E4273 A48B8700 FA24F2A8

Documento assinado eletronicamente por **WAGNER JOSE FAVARO, COORDENADOR CEUA/UNICAMP**, em 10/09/2021, às 10:35 horas, conforme Art. 10 § 2º da MP 2.200/2001 e Art. 1º da Resolução GR 54/2017.

Documento assinado eletronicamente por **ROSANGELA DOS SANTOS, SECRETÁRIA EXECUTIVA CEUA/UNICAMP**, em 02/09/2021, às 13:11 horas, conforme Art. 10 § 2º da MP 2.200/2001 e Art. 1º da Resolução GR 54/2017.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site:
sigad.unicamp.br/verifica, informando o código verificador:
F8B4229C 1B4E4273 A48B8700 FA24F2A8

