



# HIPERTROFIA REGIONAL SIMILAR DOS MÚSCULOS EXTENSORES DO JOELHO EM RESPOSTA AO TREINAMENTO RESISTIDO REALIZADO EM MÁQUINA VERSUS PESO LIVRE: UMA ABORDAGEM RANDOMIZADA INTRASUJEITO.

*Pedro Luiz T. Ikeda<sup>1\*</sup>, Magellan T. Amanuma<sup>1\*</sup>, Mariana T. Sakamoto<sup>1</sup>, Julio Cesar Justino<sup>1</sup>, Maria Vitória de Sena Silva<sup>1,2</sup>, Vitor de Salles Painelli<sup>1,2,3</sup>.*

\*Ambos os autores contribuíram igualmente para o manuscrito.

<sup>1</sup>Pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisas em Treinamento de Força (GEPTF), Campus Paraíso-SP, Universidade Paulista - UNIP.

pedroikedapro@gmail.com, magellan22@gmail.com, turolla08@gmail.com, juliojustino16@gmail.com

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI – Brasil.  
maria.vitoria.2@ufpi.edu.br

<sup>3</sup>Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Promoção da Saúde (PPGPS), Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista Fundação Araucária.  
vitor\_pa@hotmail.com

## RESUMO

A resposta hipertrofica ao treinamento resistido (TR) com máquinas e pesos livres é amplamente debatida. Compreender qual método é superior para este fim possui implicações terapêuticas e ergogênicas. Este estudo comparou a resposta hipertrofica regionalizada induzida pelo TR com pesos livres (PL) versus máquinas (MÁQ). Foi empregado um desenho randomizado intrasujeito, envolvendo 8 mulheres jovens, saudáveis e destreinadas (22±5 anos; 62,0±8,7 kg; 1,71±0,05 m; IMC: 21,4±3,3 kg/m<sup>2</sup>). Cada perna de cada participante foi submetida ao TR com PL ou MÁQ, 3 vezes/semana, por 9 semanas, visando os músculos extensores do joelho (PL: avanço; MÁQ: *leg press* inclinado). A espessura muscular (MT) do vasto lateral (VL) e do reto femoral (RF), nas porções proximal (50%) e distal (70%), foi avaliada por ultrassonografia antes e após o TR. A análise estatística utilizou o Modelo Misto, com  $p \leq 0,05$ . Não houveram diferenças iniciais na MT entre os grupos ou regiões (todas,  $p > 0,05$ ). Observou-se aumento da MT tanto para PL quanto MÁQ em RF50% (respectivamente, +10,7%,  $p=0,027$ ; e +8,9%,  $p=0,051$ ), RF70% (respectivamente, +24,8%,  $p=0,019$ ; e +27,3%,  $p=0,017$ ), VL50% (respectivamente, +13,3%,  $p=0,011$ ; e +12,1%,  $p=0,031$ ) e VL70% (respectivamente, +12,7%,  $p=0,046$ ; e +15,7%,  $p=0,016$ ), indicando que a hipertrofia muscular ocorreu em todos os músculos e porções analisados. Contudo, não foi identificada interação Grupo x Tempo para RF50% ( $p=0,816$ ), RF70% ( $p=0,588$ ), VL50% ( $p=0,679$ ) ou VL70% ( $p=0,635$ ), sugerindo que as respostas ao TR foram semelhantes entre PL e MÁQ. Conclui-se que pesos livres e máquinas foram igualmente eficazes para promover hipertrofia muscular regionalizada em mulheres previamente destreinadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Treinamento Resistido, Ultrassom; Hipertrofia do Músculo Esquelético.

## 1 INTRODUÇÃO

O músculo esquelético é um tecido altamente adaptável que responde a distintos estímulos externos (Rose & Richter, 2009). Quando submetido ao treinamento resistido (TR), ele passa por um aumento na área de secção transversal (AST) ou espessura (MT), processo conhecido como hipertrofia muscular (Franchi et al., 2018). A hipertrofia muscular é um objetivo primário para muitos praticantes de TR, pois pode melhorar a saúde, a aptidão física e o desempenho esportivo (Abou Sawan et al., 2023). Embora fatores como intensidade, volume, períodos de descanso entre as séries e frequência de treinamento estejam bem estabelecidos como determinantes-chave da hipertrofia muscular induzida pelo TR, uma atenção crescente tem sido dada ao papel da seleção dos exercícios. A seleção de exercícios pode ser manipulada de várias maneiras, como alterando o número



de membros (por exemplo, bilateral vs. unilateral), articulações (por exemplo, multiarticular vs. monoarticular) ou ângulos (por exemplo, parcial vs. completo), bem como as ações musculares (por exemplo, dinâmica vs. isométrica), larguras de pegada/apoio (por exemplo, estreita vs. ampla) e cadeias cinéticas (por exemplo, fechada vs. aberta) (De Camargo et al., 2022). Uma importante área de debate na literatura é como a escolha do aparelho — como pesos livres versus máquinas — afeta a hipertrofia muscular durante o TR.

Por um lado, os pesos livres oferecem um ambiente de treinamento mais instável, o que pode contribuir para uma maior ativação muscular (Saeterbakken et al., 2013), embora cautela tenha sido recomendada ao usar a eletromiografia como preditor de hipertrofia muscular (Vigotsky et al., 2022). Por outro lado, algumas máquinas têm a vantagem de usar um sistema de roldanas em came, que pode se adaptar melhor à curva força-tensão de um determinado músculo (Haff, 2000), promovendo assim uma hipertrofia muscular mais homogênea. De qualquer forma, o número de investigações avaliando a influência dos aparelhos de TR na hipertrofia muscular ainda é escasso (Aerenhouts & D'Hondt, 2020; Hernández-Belmonte et al., 2023; Nunes et al., 2020; Prieto González et al., 2021; Rossi et al., 2018; Saeterbakken et al., 2019; Schwanbeck et al., 2020) e a literatura apresenta limitações importantes, incluindo: 1) A ausência de métodos específicos ou padrão-ouro para avaliar e detectar pequenas, porém relevantes, mudanças na hipertrofia muscular (Aerenhouts & D'Hondt, 2020; Prieto González et al., 2021; Rossi et al., 2018); 2) A falta de análise da hipertrofia regional (Nunes et al., 2020; Saeterbakken et al., 2019; Schwanbeck et al., 2020), o que pode prejudicar a interpretação das respostas hipertróficas entre músculos ou porções tensionadas de forma diferente (Zabaleta-Korta et al., 2020); 3) A ausência de desenhos intrasujeitos (Hernández-Belmonte et al., 2023; Nunes et al., 2020), o que pode introduzir variações nos resultados associadas à dieta e à genética (MacInnis et al., 2017).

Portanto, utilizando um desenho randomizado intrasujeito e um método padrão-ouro (por exemplo, ultrassonografia) para analisar a hipertrofia muscular em diferentes locais e músculos, este estudo comparou o efeito do TR com pesos livres e com máquinas sobre a hipertrofia muscular dos membros inferiores, particularmente dos músculos extensores do joelho. Considerando a amplitude de movimento semelhante, a curva de resistência e a biomecânica específica dos exercícios com pesos livres (no caso, o avanço) e com máquinas (no caso, o *leg press* inclinado) escolhidos, a nossa hipótese era de que a hipertrofia muscular seria semelhante entre os grupos experimentais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 PARTICIPANTES

O tamanho amostral foi estimado com base em um desenho de medidas repetidas com 2 grupos experimentais e 4 pontos no tempo (dois por grupo), utilizando a hipertrofia muscular como variável dependente. Assumindo um poder estatístico de 0,90, um nível de significância alfa de 0,05 e um tamanho de efeito de 0,35 (Soares et al., 2024), a análise (realizada utilizando o software G\*Power) indicou que um total de 16 participantes (N = 8 por grupo) seria necessário. Dado o desenho intrasujeito do presente estudo — onde as pernas de cada participante foram aleatoriamente designadas para uma das duas condições de tratamento — dez mulheres jovens, saudáveis e destreinadas ( $22 \pm 5$  anos;  $62,0 \pm 8,7$  kg;  $1,71 \pm 0,05$  m) foram inicialmente recrutadas. Duas participantes se retiraram por motivos pessoais não relacionados ao estudo, resultando em uma amostra final de oito participantes incluídas na análise.



Durante a triagem preliminar, por meio do Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q), todas as participantes relataram não estar envolvidas em treinamento de resistência regular nos seis meses anteriores, bem como nenhuma participação em programas de treinamento estruturado durante o período do estudo. Nenhuma das participantes apresentava doenças cardiovasculares ou neuromusculares conhecidas. Os critérios de exclusão incluíam o uso de medicamentos ou suplementos nutricionais, assim como qualquer histórico de uso de esteroides anabolizantes. Todas as participantes foram informadas sobre os objetivos do estudo, potenciais benefícios e riscos associados, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido antes da participação. Todos os procedimentos foram conduzidos em conformidade com a Declaração de Helsinque e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade (Número de Aprovação: 6.266.297).

## 2.2 DESENHO EXPERIMENTAL

Este estudo apresentou um desenho randomizado, contrabalanceado e intrasujeito. As participantes foram avaliadas no início (PRÉ) e após (PÓS) um programa de TR unilateral para os membros inferiores com duração de 9 semanas. A massa corporal e altura das participantes foram medidas com uma balança digital (Welmy, São Paulo, Brasil) e um estadiômetro de parede (Cescorf, São Paulo, Brasil), respectivamente, durante a primeira visita ao laboratório. Posteriormente, as espessuras musculares (MT) dos músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) foram obtidas em seus sítios medial e distal por meio de ultrassonografia (US). Para estimar a variação entre avaliações de US, as medidas de MT foram repetidas após 48 horas. Todas as avaliações foram realizadas consistentemente entre 13h e 18h.

Após as avaliações PRÉ, a perna de cada participante foi aleatoriamente designada para um dos dois grupos experimentais com base nos valores de MT distal do VL, com a alocação equilibrada quanto à dominância do membro: 1) um grupo de exercício com pesos livres (PL) ou 2) um grupo de exercício com máquinas (MÁQ), que incluíam a realização de um exercício com pesos livres ou com máquina, respectivamente, durante cada sessão de TR. As sessões de TR foram realizadas individualmente, no mesmo horário, três vezes por semana, durante 9 semanas, e a adesão foi calculada ao final do estudo.

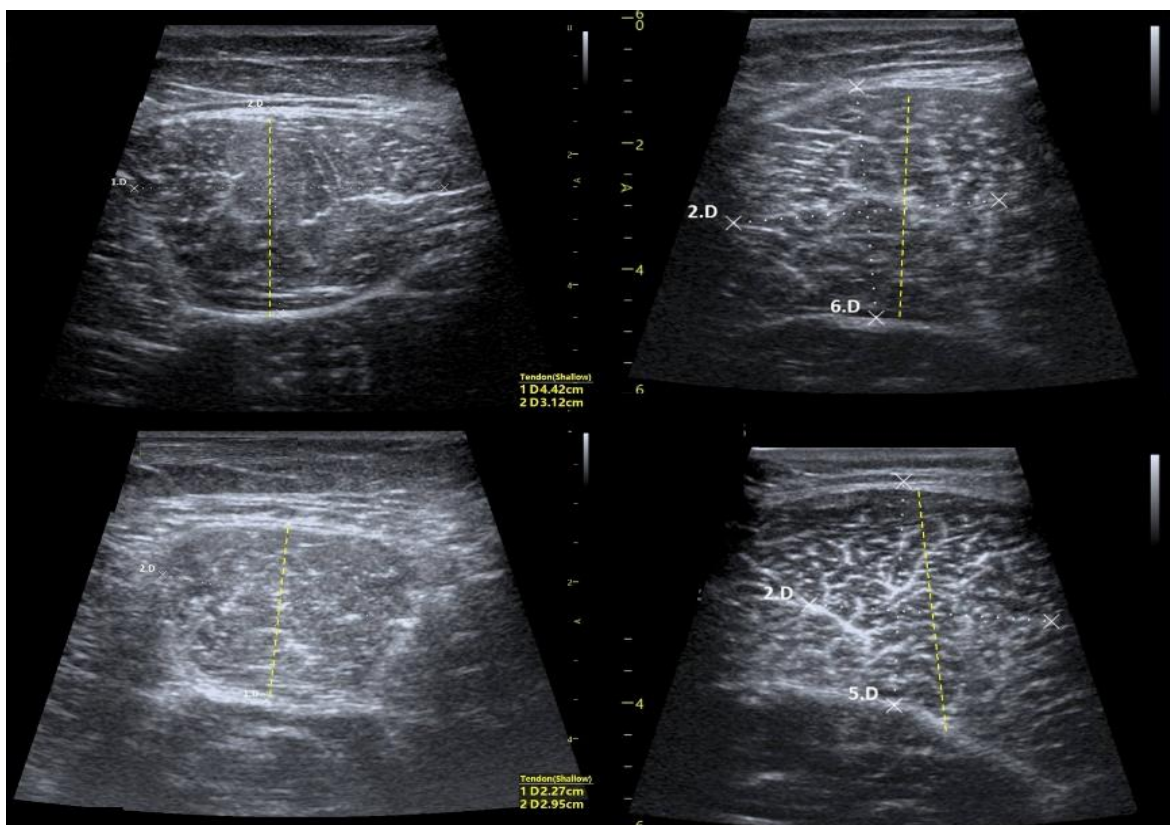
Setenta e duas horas após a última sessão de treinamento (PÓS), as avaliações por US foram realizadas novamente. As participantes foram instruídas a evitar álcool, exercícios não habituais e cafeína por 24 horas antes das avaliações PRÉ e PÓS, e a comparecerem com no mínimo duas horas após a última refeição. A ingestão de água foi liberada durante todas as sessões.

## 2.3 AVALIAÇÃO DA ESPESSURA MUSCULAR

Foi utilizada a imagem de US em modo B (Vinn D5, TDK Co. Ltd., China), equipada com um transdutor linear-array (modelo F4-12L), operando em uma faixa de frequência variável de 8,0–10,0 MHz para obter todas as medidas de MT. O equipamento foi operado por um pesquisador que não participou das sessões de TR e que estava vendado quanto aos grupos experimentais. As participantes permaneceram em decúbito dorsal com braços e pernas completamente estendidos e relaxados durante as medições. Para garantir a estabilização do balanço hídrico, elas permaneceram nessa posição por 10 minutos antes do início dos testes. Um gel de transmissão à base de água (Kolplast, São Paulo, Brasil) foi aplicado em cada local de medição, após o qual o pesquisador posicionou suavemente a sonda de ultrassom de 5 MHz perpendicular à superfície da pele, evitando compressão do tecido. Após confirmar a clareza ideal da imagem, o pesquisador capturou as imagens e



determinou as MT dos músculos vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) medindo a distância entre a interface do músculo com o tecido subcutâneo e a interface entre músculo e osso, conforme a metodologia estabelecida por Schoenfeld et al. (2016). As distâncias foram medidas utilizando a função de linha reta do software ImageJ. As avaliações foram realizadas na face anterior de ambas as coxas direita e esquerda em dois locais: medial e distal. Esses locais correspondiam, respectivamente, a 50% e 70% da distância entre o trocânter maior e o côndilo lateral do fêmur (Figura 1). Para cada local de medição, três imagens de US foram capturadas e a média foi utilizada para o cálculo final da MT. Para evitar efeitos de confusão devido ao inchaço induzido pelo exercício, as imagens foram obtidas 72 horas após a última sessão de TR, com base em evidências de que os aumentos agudos de MT geralmente desaparecem em até 48 horas após o TR (Nunes et al., 2020). Para avaliar a confiabilidade da medição, a MT foi avaliada duas vezes no PRÉ, com intervalo de 48 horas. Os erros típicos médios absolutos e relativos resultantes foram os seguintes: 0,080 cm (2,66%) para RF a 50%, 0,051 cm (2,31%) para RF a 70%, 0,202 cm (5,95%) para VL a 50% e 0,067 cm (2,58%) para VL a 70%.



**Figura 1.** Imagens representativas por US do reto femoral da coxa direita (painéis esquerdos) e vasto lateral (painéis direitos) de um participante em 50% (painéis superiores) e 70% (painéis inferiores) do comprimento do fêmur, extraídas no período pré-treinamento. A espessura dos músculos está traçada em amarelo.

**Fonte:** Imagens coletadas na pesquisa

#### 2.4 PROTOCOLO DE TREINAMENTO RESISTIDO

Durante toda a intervenção, os grupos PL e MÁQ realizaram consistentemente os exercícios de avanço e *leg press* inclinado unilateral, respectivamente, utilizando posicionamento padronizado. Para garantir a execução uniforme entre as participantes, a flexão do joelho foi fixada em 90°, com instruções para realizar a fase concêntrica até a extensão total do joelho e retornar à flexão de 90° durante a fase excêntrica. A amplitude



de movimento foi regulada por uma barra metálica fixa, que servia como um ponto de parada física para a barra (no avanço) e para a plataforma (no leg press), garantindo consistência em todas as repetições. O TR teve início após uma fase de familiarização de uma semana, durante a qual as participantes foram apresentadas ao protocolo de exercício para garantir a técnica adequada e possibilitar a determinação precisa das cargas iniciais de treinamento. A intervenção completa durou nove semanas, com as participantes realizando três sessões por semana, totalizando 27 sessões de treinamento. Para equilibrar a carga de trabalho entre os membros, a perna inicial de cada sessão de TR foi alternada ao longo das sessões. Cada sessão começava com um aquecimento geral de 5 minutos em esteira a  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Em seguida, realizava-se um aquecimento específico composto por uma série de oito repetições com 50% da carga prescrita de treinamento e uma segunda série de três repetições com 70% dessa carga. Após um intervalo de descanso de 1 minuto, iniciava-se a sessão principal de treinamento, com todas as repetições sendo realizadas com um ritmo controlado, consistindo de aproximadamente 2 segundos para as fases concêntrica e excêntrica, guiado por um metrônomo para garantir consistência entre as participantes e os grupos. O programa de TR seguiu um modelo de periodização linear: durante as semanas 1 a 3, as participantes completaram três séries de 12 a 15 repetições máximas (RM); durante as semanas 4 a 6, realizaram quatro séries de 10 a 12 RM; e durante as semanas 7 a 9, realizaram cinco séries de 8 a 10 RM. Um intervalo fixo de 2 minutos de descanso foi oferecido entre as séries para ambos os grupos. O volume de treinamento e a adesão das participantes foram continuamente monitorados e documentados ao longo das nove semanas do programa de TR.

## 2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram apresentados como média  $\pm$  desvio padrão, variações absolutas e relativas, e tamanhos de efeito (TE). A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro–Wilk, e os valores de MT no período PRÉ foram comparados entre os grupos utilizando Teste-T não pareado. Todas as análises estatísticas foram realizadas por um pesquisador vendado quanto à alocação dos grupos e que não participou das sessões de TR. Um Modelo Misto para medidas repetidas foi aplicado para examinar os efeitos da intervenção sobre a MT, com “grupo” (PL e MÁQ) e “tempo” (PRÉ e PÓS) como fatores fixos, e as participantes tratadas como fator aleatório. Quando foram observadas interações ou efeitos principais significativos, aplicou-se o teste *post hoc* de Tukey para comparações múltiplas. Um Teste-T não pareado foi utilizado para comparar o volume total de exercício e as variações absolutas (isto é, delta pós–pré) na MT entre os grupos. Os TE foram calculados utilizando o *d* de Cohen e interpretados conforme os seguintes critérios:  $<0,20$  = desprezível,  $0,20$ – $0,49$  = pequeno,  $0,50$ – $0,79$  = moderado e  $\geq 0,80$  = grande. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software SAS versão 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), com o nível de significância estabelecido em  $p \leq 0,05$ .

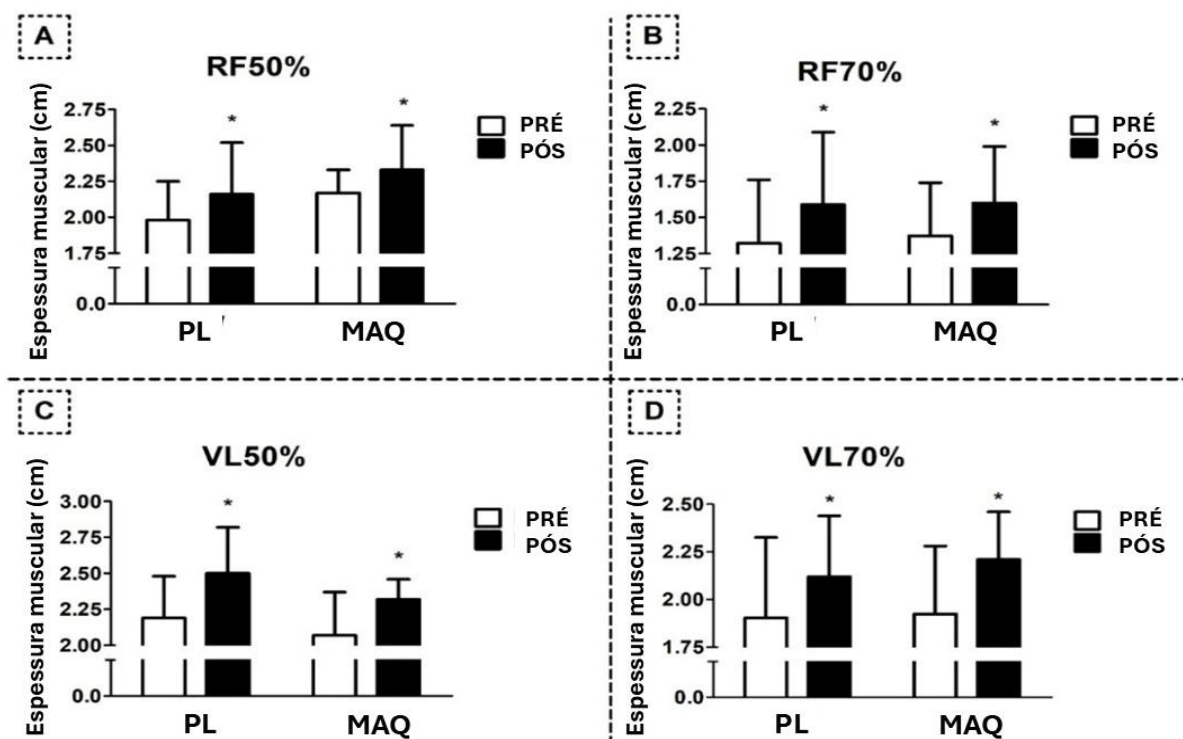
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No momento PRÉ, não foram detectadas diferenças significativas entre os grupos em RF50% ( $p=0,217$ ), RF70% ( $p=0,496$ ), VL50% ( $p=0,466$ ) e VL70% ( $p=0,921$ ). Foi observado um efeito principal de Tempo para RF50% ( $p=0,005$ ), RF70% ( $p=0,001$ ), VL50% ( $p=0,002$ ) e VL70% ( $p=0,005$ ), indicando que a MT aumentou nos músculos e porções analisados.

As comparações *post hoc* mostraram que a MT aumentou significativamente em resposta ao treinamento com PL nas seguintes medidas: RF50%: +10,73%, TE=0,88,



$p=0,027$  (Figura 2A); RF70%: +24,77%, TE=0,57,  $p=0,019$  (Figura 2B); VL50%: +13,28%, TE=1,03,  $p=0,046$  (Figura 2C); VL70%: +12,74%, TE=0,58,  $p=0,041$  (Figura 2D). Da mesma forma, o grupo MÁQ apresentou aumento significativo da MT em: RF50%: +8,97%, TE=0,50,  $p=0,0513$  (Figura 2A); RF70%: +27,30%, TE=0,77,  $p=0,017$ , (Figura 2B); VL50%: +12,08%, TE=1,08,  $p=0,031$  (Figura 2C); VL70%: +15,68%, TE=0,92,  $p=0,016$  (Figura 2D). A análise individual mostrou que a MT aumentou acima do erro de medição em 7 das 8 participantes, tanto no grupo PL quanto no grupo MÁQ.

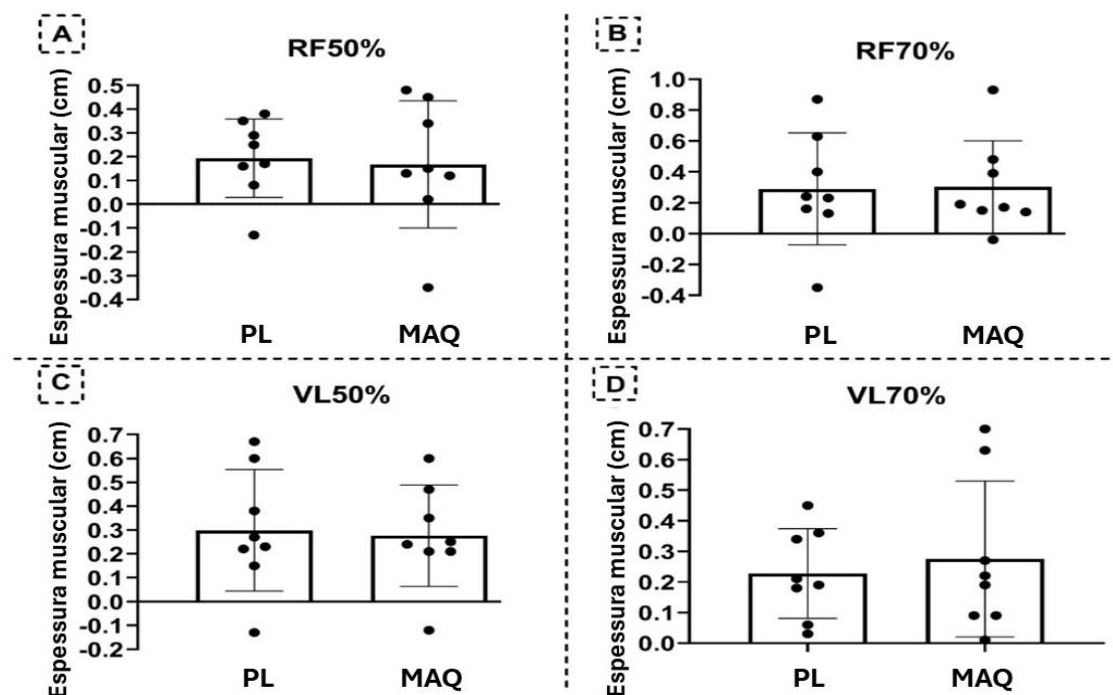


**Figura 2.** Espessura muscular dos músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) a 50% (Painéis A e C, respectivamente) e a 70% (Painéis B e D, respectivamente) do comprimento do fêmur antes (PRE) e após (PÓS) o treinamento resistido com pesos livres (PL) ou com máquinas (MÁQ).  
**Legenda:** O símbolo \* refere-se a uma diferença significativa (ao nível  $p \leq 0,05$ ) em comparação com o PRE.

**Fonte:** Dados da pesquisa

Por outro lado, não foram identificadas interações Grupo x Tempo para RF50% ( $p=0,816$ ), RF70% ( $p=0,588$ ), VL50% ( $p=0,679$ ) e VL70% ( $p=0,635$ ). A análise da variação absoluta revelou que PL e MÁQ proporcionaram aumentos estatisticamente semelhantes na MT para RF50% ( $p=0,817$ ) (Figura 3A), RF70% ( $p=0,863$ ) (Figura 3B), VL50% ( $p=0,680$ ) (Figura 3C), e VL70% ( $p=0,639$ ) (Figura 3D).

Por fim, o volume total de exercício não foi significativamente diferente entre os grupos PL e MÁQ (respectivamente,  $20072 \pm 6139$  kg·repetições vs.  $21634 \pm 5390$  kg·repetições;  $p=0,608$ ). A adesão calculada às sessões de treinamento foi de  $97,2 \pm 4,3\%$ .



**Figura 3:** Alteração absoluta (delta PÓS-PRÉ) individual na espessura muscular dos músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) em 50% (Painel A e C, respectivamente) e em 70% (Painel B e D, respectivamente) do comprimento do fêmur em resposta ao treinamento resistido com pesos livres (PL) ou em máquinas (MAQ).

Fonte: Dados da pesquisa

Empregando uma metodologia transparente e direta, nosso estudo forneceu evidências imparciais de que o TR com pesos livres e com máquinas induz hipertrofia regionalizada semelhante nos músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) em mulheres previamente destreinadas.

Existe um debate antigo (Haff, 2000) sobre qual modalidade de exercício (ou seja, exercícios em pé com pesos livres ou com máquinas) levaria a uma maior hipertrofia muscular. A revisão quantitativa mais recente sobre este tema não detectou diferenças na hipertrofia muscular entre exercícios com pesos livres e exercícios com máquinas (Haugen et al., 2023). No entanto, apenas cinco estudos foram incluídos na revisão (Aerenhouts & D'Hondt, 2020; Prieto González et al., 2021; Rossi et al., 2018; Saeterbakken et al., 2019; Schwanbeck et al., 2020), nos quais foram utilizados métodos distintos para avaliar a hipertrofia muscular, o que limita a interpretação e extrapolação de seus achados. Alguns desses estudos aplicaram medidas de circunferência (Aerenhouts & D'Hondt, 2020) e dobras cutâneas (Prieto González et al., 2021), que são reconhecidos como métodos de baixa validade e baixa confiabilidade (Totosty de Zepetnek et al., 2021). Além disso, a pletismografia de deslocamento de ar corporal total aplicada por Rossi e colegas (Rossi et al., 2018) pode não ter sido sensível o suficiente para detectar pequenas e específicas diferenças hipertróficas no músculo quadríceps ou em seus ventres musculares entre os exercícios de leg press e agachamento em seu estudo. Outras investigações (Nunes et al., 2020; Saeterbakken et al., 2019; Schwanbeck et al., 2020) mediram a espessura muscular (MT) por meio da técnica de ultrassonografia (US), porém a medição foi obtida apenas em um único local; isso é problemático, pois um corpo crescente de evidências tem relatado uma resposta hipertrófica não uniforme induzida pelo TR entre os músculos que compõem um grupo muscular, bem como ao longo do comprimento de um mesmo músculo, com



aumentos variando medialmente, proximalmente e distalmente (Zabaleta-Korta et al., 2020). Assim, resultados detectados em uma porção de um músculo podem não ser os mesmos que os identificados em outra porção do mesmo músculo, o que pode levar a conclusões distintas sobre a eficácia de uma intervenção de TR. Até onde sabemos, apenas um estudo comparando os efeitos de exercícios com pesos livres versus com máquinas sobre a hipertrofia muscular foi publicado após a revisão meta-analítica conduzida por Haugen e colaboradores (Haugen et al., 2023). Neste estudo mais recente (Hernández-Belmonte et al., 2023), os autores avaliaram a área de secção transversal (AST) do músculo quadríceps femoral por meio de US a 30% e 60% do comprimento da coxa em resposta a um programa de TR de 8 semanas comparando os exercícios de agachamento com máquina vs. agachamento livre. Nenhuma diferença significativa entre os exercícios foi demonstrada (Hernández-Belmonte et al., 2023), porém foi utilizado um desenho de grupos paralelos, o qual não controla possíveis interferências de fatores como genética, sono, hidratação e dieta nos resultados.

Algumas precauções metodológicas foram adotadas no presente estudo para superar fontes anteriores de viés na literatura. Primeiro, o volume total de treinamento foi monitorado ao longo do estudo, e não houve diferença entre PL e MÁQ. Segundo, a hipertrofia muscular foi avaliada por meio da MT utilizando a US, a qual é correlacionada à AST muscular em avaliações padrão-ouro da hipertrofia induzida pelo TR (Franchi et al., 2018). Terceiro, para fornecer uma visão mais abrangente da hipertrofia muscular, a MT foi avaliada em mais de um músculo e em diferentes regiões do mesmo músculo, e mesmo assim não foram detectadas diferenças significativas entre os grupos PL e MÁQ. Por fim, adotamos um desenho intrasujeito, o que possivelmente reduziu variações associadas à dieta e à genética nos resultados (MacInnis et al., 2017), sendo improvável que essas variáveis tenham influenciado os achados ao longo do estudo. Portanto, estamos confiantes de que esta metodologia direta solucionou possíveis vieses, permitindo-nos concluir que um crescimento muscular semelhante pode ser alcançado com o TR executado com pesos livres ou com máquinas.

Apesar da robustez metodológica do estudo, algumas limitações devem ser reconhecidas. Primeiramente, os achados se limitam a uma população específica — mulheres jovens e destreinadas — e podem não ser generalizáveis a outros grupos, como indivíduos treinados ou idosos. Em segundo lugar, embora o desenho intrasujeito ofereça um forte controle interno, a possível influência de efeitos de educação cruzada (*cross-education*) não pode ser completamente descartada. No entanto, pesquisas anteriores já indicaram que adaptações bioquímicas e morfológicas induzidas pelo exercício — como alterações na expressão de proteínas, níveis de mRNA e hipertrofia muscular — não parecem se transferir entre os membros (Houston et al., 1983). Adicionalmente, a alimentação e a hidratação não foram rigorosamente controladas durante o período da intervenção. Contudo, a abordagem intrasujeito provavelmente mitigou a variabilidade relacionada ao estado nutricional e ao equilíbrio hídrico. Além disso, nossos achados são específicos para exercícios análogos aos prescritos no presente estudo (ou seja, envolvendo simultaneamente extensão de quadril e joelho); portanto, podem não ser aplicáveis a exercícios com biomecânicas, articulações e amplitudes de movimento distintas. Por fim, o ciclo menstrual não foi controlado em nosso estudo (por exemplo, por meio da administração de pílulas anticoncepcionais); ainda assim, evidências crescentes não sustentam que as variações do ciclo menstrual sejam um fator interveniente nas respostas anabólicas (Colenso-Semple et al., 2025) ou morfológicas (Sakamaki-Sunaga et al., 2016) ao TR.



## 4 CONCLUSÃO

Os achados do presente estudo indicam que tanto os exercícios com pesos livres quanto aqueles realizados em máquinas são igualmente eficazes para promover hipertrofia muscular nos músculos extensores do joelho em mulheres previamente destreinadas. Essa equivalência sugere que a escolha do tipo de equipamento pode ser pautada por fatores logísticos, como disponibilidade de recursos e preferência individual, sem prejuízo aos ganhos morfológicos. Ademais, a combinação de ambos os métodos pode representar uma alternativa viável para ampliar o volume total de treinamento, potencializando os estímulos hipertróficos. Esses resultados oferecem suporte prático para fisioterapeutas, treinadores e profissionais da área da saúde no planejamento de intervenções individualizadas e adaptadas às realidades de diferentes contextos de treinamento.

## REFERÊNCIAS

- ABOU SAWAN, S.; NUNES, E. A.; LIM, C.; MCKENDRY, J.; PHILLIPS, S. M. The Health Benefits of Resistance Exercise: Beyond Hypertrophy and Big Weights. *Exerc Sport Movement*, v. 1, p. e00001, 2023. doi:10.1249/ESM.0000000000000001.
- AERENHOUTS, D.; D'HONDT, E. Using Machines or Free Weights for Resistance Training in Novice Males? A Randomized Parallel Trial. *Int J Environ Res Public Health*, v. 17, p. 7848, 2020. doi:10.3390/ijerph17217848.
- COLENZO-SEMPLE, L. M.; MCKENDRY, J.; LIM, C.; ATHERTON, P. J.; WILKINSON, D. J.; SMITH, K.; PHILLIPS, S. M. Menstrual cycle phase does not influence muscle protein synthesis or whole-body myofibrillar proteolysis in response to resistance exercise. *J Physiol*, v. 603, p. 1109-1121, 2025. doi:10.1113/JP287342.
- DE CAMARGO, J. B. B.; BRIGATTO, F. A.; ZARONI, R. S.; TRINDADE, T. B.; GERMANO, M. D.; JUNIOR, A. C. T.; DE OLIVEIRA, T. P.; MARCHETTI, P. H.; PRESTES, J.; LOPES, C. R. Manipulating Resistance Training Variables to Induce Muscle Strength and Hypertrophy: A Brief Narrative Review. *Int J Exerc Sci*, v. 15, p. 910-933, 2022. doi:10.70252/VYUB3717.
- FRANCHI, M. V.; LONGO, S.; MALLINSON, J.; QUINLAN, J. I.; TAYLOR, T.; GREENHAFF, P. L.; NARICI, M. V. Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*, v. 28, p. 846-853, 2018. doi:10.1111/sms.12961.
- HAFF, G. G. Roundtable Discussion: Machines Versus Free Weights. *Strength Cond J*, v. 22, p. 18-30, 2000.
- HAUGEN, M. E.; VÅRVIK, F. T.; LARSEN, S.; HAUGEN, A. S.; VAN DEN TILLAAR, R.; BJØRNSSEN, T. Effect of free-weight vs. machine-based strength training on maximal strength, hypertrophy and jump performance - a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, v. 15, p. 103, 2023. doi:10.1186/s13102-023-00713-4.
- HERNÁNDEZ-BELMONTE, A.; MARTÍNEZ-CAVA, A.; BUENDÍA-ROMERO, Á.; FRANCO-LÓPEZ, F.; PALLARÉS, J. G. Free-Weight and Machine-Based Training Are



Equally Effective on Strength and Hypertrophy: Challenging a Traditional Myth. *Med Sci Sports Exerc*, v. 55, p. 2316-2327, 2023. doi:10.1249/MSS.0000000000003271.

HOUSTON, M. E.; FROESE, E. A.; VALERIOTE, S. P.; GREEN, H. J.; RANNEY, D. A. Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 51, p. 25-35, 1983. doi:10.1007/BF00952534.

MACINNIS, M. J.; MCGLORY, C.; GIBALA, M. J.; PHILLIPS, S. M. Investigating human skeletal muscle physiology with unilateral exercise models: When one limb is more powerful than two. *Appl Physiol Nutr Metab*, v. 42, p. 563-570, 2017. doi:10.1139/apnm-2016-0645.

NUNES, J. P.; JACINTO, J. L.; RIBEIRO, A. S.; MAYHEW, J. L.; NAKAMURA, M.; CAPEL, D. M. G.; SANTOS, L. R.; SANTOS, L.; CYRINO, E. S.; AGUIAR, A. F. Placing Greater Torque at Shorter or Longer Muscle Lengths? Effects of Cable vs. Barbell Preacher Curl Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Young Adults. *Int J Environ Res Public Health*, v. 17, p. 5859, 2020. doi:10.3390/ijerph17165859.

OGASAWARA, R.; THIEBAUD, R. S.; LOENNEKE, J. P.; LOFTIN, M.; ABE, T. Time course for arm and chest muscle thickness changes following bench press training. *Interv Med Appl Sci*, v. 4, p. 217-220, 2012. doi:10.1556/IMAS.4.2012.4.7.

PRIETO GONZÁLEZ, P.; SEDLACEK, J. Comparison of the Efficacy of Three Types of Strength Training: Body, Weight Training Machines and Free Weights. *Apunts Educación Física y Deportes*, v. 145, p. 9-16, 2021. doi:10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/3).145.02.

ROSE, A. J.; RICHTER, E. A. Regulatory mechanisms of skeletal muscle protein turnover during exercise. *J Appl Physiol*, v. 106, p. 1702-1711, 2009. doi:10.1152/jappphysiol.91375.2008.

ROSSI, F. E.; SCHOENFELD, B. J.; OCETNIK, S.; YOUNG, J.; VIGOTSKY, A.; CONTRERAS, B.; KRIEGER, J. W.; MILLER, M. G.; CHOLEWA, J. Strength, body composition, and functional outcomes in the squat versus leg press exercises. *J Sports Med Phys Fitness*, v. 58, p. 263-270, 2018. doi:10.23736/S0022-4707.16.06698-6.

SAETERBAKKEN, A. H.; FIMLAND, M. S. Muscle force output and electromyographic activity in squats with various unstable surfaces. *J Strength Cond Res*, v. 27, p. 130-136, 2013. doi:10.1519/JSC.0b013e3182541d43.

SAETERBAKKEN, A. H.; OLSEN, A.; BEHM, D. G.; BARDSTU, H. B.; ANDERSEN, V. The short- and long-term effects of resistance training with different stability requirements. *PLoS One*, v. 14, p. e0214302, 2019. doi:10.1371/journal.pone.0214302.

SAKAMAKI-SUNAGA, M.; MIN, S.; KAMEMOTO, K.; OKAMOTO, T. Effects of Menstrual Phase-Dependent Resistance Training Frequency on Muscular Hypertrophy and Strength. *J Strength Cond Res*, v. 30, p. 1727-1734, 2016. doi:10.1519/JSC.0000000000001250.



SCHOENFELD, B.; CONTRERAS, B.; OGBORN, D.; GALPIN, A.; KRIEGER, J.; SONMEZ, G. T. Effects of Varied Versus Constant Loading Zones on Muscular Adaptations in Trained Men. *Int J Sports Med*, v. 37, p. 442-447, 2016. doi:10.1055/s-0035-1569369.

SCHWANBECK, S. R.; CORNISH, S. M.; BARSS, T.; CHILIBECK, P. D. Effects of Training With Free Weights Versus Machines on Muscle Mass, Strength, Free Testosterone, and Free Cortisol Levels. *J Strength Cond Res*, v. 34, p. 1851-1859, 2020. doi:10.1519/JSC.0000000000003349.

SOARES, A. L. C.; CARVALHO, R. F.; MOGAMI, R.; MEIRELLES, C. M.; GOMES, P. S. C. Effect of resistance training on quadriceps femoris muscle thickness obtained by ultrasound: A systematic review with meta-analysis. *J Bodyw Mov Ther*, v. 39, p. 270-278, 2024. doi:10.1016/j.jbmt.2024.02.007.

TOTOSY DE ZEPETNEK, J. O.; LEE, J. J.; BOATENG, T.; PLASTINA, S. E.; CLEARY, S.; HUANG, L.; KUCAB, M.; PATERAKIS, S.; BRETT, N. R.; BELLISSIMO, N. Test-retest reliability and validity of body composition methods in adults. *Clin Physiol Funct Imaging*, v. 41, p. 417-425, 2021. doi:10.1111/cpf.12716.

VIGOTSKY, A. D.; HALPERIN, I.; TRAJANO, G. S.; VIEIRA, T. M. Longing for a Longitudinal Proxy: Acutely Measured Surface EMG Amplitude is not a Validated Predictor of Muscle Hypertrophy. *Sports Med*, v. 52, p. 193-199, 2022. doi:10.1007/s40279-021-01619-2.

ZABALETA-KORTA, A.; FERNÁNDEZ-PEÑA, E.; SANTOS-CONCEJERO, J. Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth: A Systematic Review. *Strength Cond J*, v. 42, p. 94-101, 2020. doi:10.1519/SSC.0000000000000574.