



**PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**

**TREINAMENTO DE FORÇA REALIZADO ATÉ A FALHA
MUSCULAR VERSUS NÃO FALHA: EFEITOS NA MASSA, FORÇA,
ATIVÇÃO E ARQUITETURA MUSCULAR DE HOMENS JOVENS
TREINADOS**

Tese de doutorado

Natalia Santanielo Silva

Orientador: Prof.º Dr. Cleiton Augusto Libardi

São Carlos – SP

2019

NATALIA SANTANIELO SILVA

**TREINAMENTO DE FORÇA REALIZADO ATÉ A FALHA
MUSCULAR VERSUS NÃO FALHA: EFEITOS NA MASSA, FORÇA,
ATIVÇÃO E ARQUITETURA MUSCULAR DE HOMENS JOVENS
TREINADOS**

Tese apresentada ao Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Doutora em Ciências Fisiológicas.

Área de Concentração: Fisiologia do Exercício

Orientador: Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi

São Carlos – SP

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Natalia Santanielo Silva, realizada em 18/03/2019:

Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi
UFSCar

Profa. Dra. Daniela Godoi Jacomassi
UFSCar

Prof. Dr. Felipe Romano Damas Nogueira
UFSCar

Prof. Dr. Marcelo de Castro Cesar
UNIMEP

Prof. Dr. Miguel Soares Conceição
USP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Marcelo e Dulce, que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e me apoiaram muito para que eu pudesse realizá-los.

Aos meus irmãos, Marcela e Rogerio, por terem permanecido ao meu lado, me incentivando a percorrer este caminho e por compartilhar angústias estendendo a mão amiga em momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Aos meus pais, Marcelo Silva e Dorcelina Santanielo Silva e aos meus irmãos, Marcela Santanielo Silva Bressiano e Rogerio Santanielo Silva, infinito agradecimento, pelo amor, paciência, incentivo, apoio, confiança e motivação incondicional. Que sempre me impulsionam em direção às vitórias dos meus desafios.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi, pela liberdade e confiança referente ao presente trabalho. Agradeço aos amigos do laboratório Musculab, pelo convívio em todos esses anos. Em especial quero agradecer a Sanmy Nobrega, Maíra Scarpelli, Gabriele Otoboni e Ieda Alvarez, por todos os momentos, pelos ensinamentos, ajuda, troca de experiências, amizade, conversas e risadas. Vocês foram muito importantes para o desenvolvimento do meu trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa, que proporcionou meus estudos no doutorado.

Agradeço a Max Titanium - Brasil pela doação de Iso Whey Protein. Finalizando os agradecimentos, não poderia deixar de ser grata aos participantes da pesquisa, por acreditar e confiar em nosso trabalho.

A quantidade e a qualidade da dor que sentimos são determinadas pelas nossas experiências prévias e de quanto bem nos lembramos dela; pela capacidade de entender suas causas e compreender suas consequências. Ainda, a cultura em que estamos inseridos tem papel essencial em como sentimos e respondemos à dor.

(Melzack, Wall, 1991)

RESUMO

O objetivo do estudo foi comparar o efeito do treinamento de força (TF) realizado até a falha muscular (TF-F) ou do TF não realizado até a falha muscular (TF-NF) na massa, força, ativação e arquitetura muscular em homens jovens treinados. A massa magra da coxa (MMC), área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral, a arquitetura muscular e o teste de 1-RM foram avaliadas no pré e pós (depois de 10 semanas). A avaliação da amplitude de EMG foi realizada após 10 semanas de TF. Participaram do presente estudo 14 homens jovens treinados ($23 \pm 2,3$ anos; $171,7 \pm 5,0$ cm; $73,9 \pm 5,8$ kg). Todos os protocolos foram igualmente eficazes no aumento do pré- para pós-treinamento na MMC (TF-F: $6371,7 \pm 629,7$ g para $6867,7 \pm 657,82$ kg, TF-NF: $6401,1 \pm 587,8$ g para $6798,4 \pm 610,0$ g; $P < 0,0001$) e AST (TF-F: $32,9 \pm 5,3$ cm² para $37,7 \pm 5,6$ cm², TF-NF: $33,1 \pm 5,8$ cm² para $37,5 \pm 6,6$ cm²; $P < 0,0001$). Ambos os protocolos mostraram aumentos similares nos valores do teste de 1-RM do pré- para pós-treinamento para o exercício *Leg Press* 45° (TF-F: $237,5 \pm 21,6$ kg para $290,0 \pm 40,2$ kg, TF-NF: $237,5 \pm 32,9$ kg para $299,9 \pm 41,4$ kg; $P < 0,0001$), cadeira extensora (TF-F: $55,6 \pm 8,6$ kg para $73,2 \pm 9,8$ kg, TF-NF: $56,3 \pm 9,5$ kg para $73,8 \pm 8,4$ kg; $P < 0,0001$) e mesa flexora (TF-F: $53,5 \pm 8,0$ kg para $64,3 \pm 6,4$ kg, TF-NF: $51,6 \pm 7,9$ kg para $63,2 \pm 6,8$ kg; $P < 0,0001$). Não foi encontrada diferença significativa na amplitude da EMG ($P > 0,05$) entre os protocolos (TF-F: $92,2 \pm 24,9\%$ vs. TF-NF: $100,3 \pm 25,6\%$; $P > 0,05$). Em relação à arquitetura muscular, tanto o ângulo de penetração (AP) (TF-F: $22,5 \pm 3,8^\circ$ para $25,5 \pm 3,8^\circ$; TF-NF: $23,1 \pm 2,5^\circ$ para $26,0 \pm 2,9^\circ$; $P < 0,0001$) quanto o comprimento do fascículo (CF) (TF-F: $5,5 \pm 0,5$ cm para $6,0 \pm 0,5$ cm; TF-NF: $5,5 \pm 0,5$ cm para $6,0 \pm 0,6$ cm; $P < 0,0001$) apresentaram aumentos significativos do pré para pós-treinamento. Em conclusão, TF-F ou TF-NF são igualmente eficientes em promover aumentos na hipertrofia muscular, força muscular, amplitude de EMG e arquitetura muscular.

PALAVRAS CHAVE: Falha concêntrica, adaptações neuromusculares, área de secção transversa, eletromiografia, fadiga.

ABSTRACT

The aim of the study was to compare the effect of resistance training (RT) performed to muscle failure (RT-F) or non-failure muscular (RT-NF) on muscle mass, muscle architecture and activation in trained young men. Thigh lean mass (TLM), vastus lateralis muscle cross-sectional area (CSA), architecture and 1-RM test were assessed at baseline (pre) and after ten (post) RT weeks. EMG amplitude assessment was performed after 10W RT. 14 young trained men participated in the present study were (23 ± 2.3 years, 171.7 ± 5.0 cm, 73.9 ± 5.8 kg). All protocols were similarly effective in increasing TLM (RT-F: 6371.7 ± 629.7 g to 6867.7 ± 657.8 g, RT-NF: 6401.1 ± 587.8 g to 6798.4 ± 610.0 g; $P < 0.0001$) and CSA (RT-F: 32.9 ± 5.3 cm² to 37.7 ± 5.6 cm², RT-NF: 33.1 ± 5.8 cm² to 37.5 ± 6.6 cm²; $P < 0.0001$) from pre- to post-training. Both protocols showed significant increases in 1-RM values from pre- to post-training for 45° leg press (RT-F: 237.5 ± 21.6 kg to 290.0 ± 40.2 kg, RT-NF: 237.5 ± 32.9 kg to 299.9 ± 41.4 kg; $P < 0.0001$), leg extension (RT-F: 55.6 ± 8.6 kg to 73.2 ± 9.8 kg, RT-NF: 56.3 ± 9.5 kg to 73.8 ± 8.4 kg; $P < 0.0001$), and leg flexion (RT-F: 53.5 ± 8.0 kg to 64.3 ± 6.4 kg, RT-NF: 51.57 ± 7.9 kg to 63.2 ± 6.8 kg; $P < 0.0001$). EMG amplitude showed no significant differences between protocols ($P > 0.05$). In relation to the muscular architecture, both the pennation angle (PA) (TF-F: $22.5 \pm 3.8^\circ$ for $25.5 \pm 3.8^\circ$, TF-NF: $23.1 \pm 2.5^\circ$ for $26.0 \pm 2.5^\circ$; $P < 0.0001$) and the muscle fasciculus length (FL) (TF-F: 5.5 ± 0.53 cm for 6.0 ± 0.5 cm; TF-NF: 5.5 ± 0.5 cm for 6.0 ± 0.6 cm, $P < 0.0001$) showed significant increases from pre to post-training. In conclusion, RT-F or RT-NF are equally efficient in promoting increases in muscle hypertrophy, and muscle strength, EMG amplitude, and muscle architecture.

Key words: concentric failure, neuromuscular adaptations, muscle cross-sectional area, electromyography, fatigue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delineamento experimental do estudo	233
Figura 2. Delineamento da região de interesse da coxa.	244
Figura 3. Imagem da área de secção transversa (AST) do vasto lateral (VL).....	266
Figura 4. Imagem do ângulo de penação (AP) de um dos sujeitos	300
Figura 5. Imagem do comprimento do Fascículo (CF)	311
Figura 6. Massa Magra da Coxa (MMC) (A) e Área de Secção Transversa (AST) muscular (B).....	355
Figura 7. Teste de Uma repetição máxima (1-RM).....	377
Figura 8. Amplitude da EMG	388
Figura 9. Ângulo de Penação (AP, A) e Comprimento do Fascículo (CF, B)	400
Figura 10. Diminuição das repetições (Drep).....	422
Figura 11. Volume total de treinamento	444

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Característica dos Participantes	<u>21</u>
--------------------------------------------------	-----------

Lista de Abreviaturas

1-RM:	Uma repetição máxima
AP:	Ângulo de penetração
AST:	Área de secção transversa
CF:	Comprimento do fascículo
CVM:	Contração voluntária máxima
Drep:	Diminuição das repetições
DXA:	Absorciometria de raio X de dupla energia
EMG:	Eletromiografia de superfície
MMC:	Massa magra da coxa
TF:	Treinamento de força
TF-F	Treinamento de força realizado até a falha muscular
TF-NF:	Treinamento de Força não realizado até a falha muscular
UMs:	Unidades Motoras
US:	Ultrassonografia
VI:	Vasto intermédio
VL:	Vasto lateral
VTT:	Volume total de treinamento

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	OBJETIVOS.....	19
2.1.	Objetivo Geral.....	19
2.2.	Objetivos Específicos	19
3.	HIPÓTESE	20
4.	MÉTODOS.....	21
4.1.	Participantes.....	21
4.2.	Delineamento experimental	22
4.3.	Absorciometria de raio X de dupla energia (DXA)	23
4.4.	Área de secção transversa (AST) muscular	24
4.5.	Teste de uma repetição máxima (1-RM)	26
4.6.	Ativação muscular	27
4.6.1.	Aquisição do sinal eletromiográfico.....	27
4.6.2.	Protocolo de avaliação da ativação muscular	28
4.6.3.	Processamento de dados	29
4.7.	Arquitetura muscular	29
4.7.1.	Angulo de penação (AP).....	29
4.7.2.	Comprimento do fascículo (CF).....	30
4.8.	Protocolos de treinamento de força (TF)	31
4.9.	Diminuição das repetições (Drep)	32
4.10.	Volume total de treinamento (VTT).....	32
4.11.	Análises estatísticas.....	33
5.	RESULTADOS	34
5.1.	Comparação entre os valores de linha de base de cada variável dependente	34
5.2.	Massa magra da coxa (MMC) e área de secção transversa (AST) muscular.....	34
5.3.	Teste de uma repetição máxima (1-RM)	36
5.4.	Ativação muscular	38
5.5.	Arquitetura muscular	39
5.6.	Diminuição das repetições (Drep)	41
5.7.	Volume total de treinamento (VTT)	43

6. DISCUSSÃO	45
Para nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que comparou os efeitos dos protocolos de treinamento de força realizados ou não até a falha muscular nas adaptações neuromusculares de indivíduos treinados em força. Nossos principais resultados demonstram que o TF-NF é uma estratégia eficaz para maximizar a hipertrofia, ganhos de força, ativação muscular e arquitetura muscular em indivíduos treinados.....	45
7. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	48
8. APLICAÇÕES PRÁTICAS	49
9. CONCLUSÃO.....	50
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
11. ANEXOS	56
11.1. Artigo submetido.....	56
11.2. Resumos publicados em congresso	84
11.3. Parecer consubstanciado do ética e pesquisa	85
11.4. Termo de consentimento livre e esclarecido (CEP).....	88

1. INTRODUÇÃO

O Treinamento de força (TF) é um potente estímulo para promover aumento na área de secção transversa muscular (i.e., hipertrofia muscular) e da força muscular (Acsm, 2009b). Essas adaptações podem ser acompanhadas por aumentos na arquitetura muscular (e.g., ângulo de penação [PA] da fibra muscular e comprimento do fascículo [CF] muscular) (Angleri *et al.*, 2017; Nobrega *et al.*, 2018), a qual diz respeito à disposição das miofibrilas dentro de um músculo em relação ao seu eixo de geração de força, apresentando uma variedade de disposições de fascículos (Lieber e Friden, 2000). Dentre os parâmetros de arquitetura muscular, o AP pode ser definido como o ângulo entre o ponto de interseção de um fascículo com a aponeurose muscular profunda (Fukunaga *et al.*, 1997). Já o fascículo muscular é um conjunto de fibras musculares esqueléticas cobertas por perimísio, um tipo de tecido conjuntivo. O seu comprimento representa a combinação da parte visível do fascículo com a estimativa da parte não visível e é avaliado por meio do método de extrapolação linear (Blazevich *et al.*, 2003). Tais adaptações neuromusculares (i.e., aumento de massa e força muscular) são fundamentais para promoção da saúde e qualidade de vida (Cheema *et al.*, 2014), pois estão associadas à melhora na funcionalidade (Voet *et al.*, 2013) e parâmetros metabólicos (i.e., perfil lipídico e glicemia) (Tomeleri *et al.*, 2016).

Em especial, a hipertrofia e os ganhos de força muscular, podem ser otimizados e maximizados por meio da manipulação das variáveis que compõe a sessão de TF (volume, intensidade, pausa, tipos de exercícios, frequência, ação muscular e velocidade) (Acsm, 2009a). Além da manipulação dessas variáveis, uma das estratégias utilizadas para maximizar as adaptações neuromusculares é a realização do TF até a falha muscular (TF-F) (i.e., a incapacidade de realizar a próxima ação muscular concêntrica na amplitude de movimento padronizada previamente) (Rooney *et al.*, 1994; Schott *et al.*, 1995; Drinkwater *et al.*, 2005).

Acredita-se que o TF-F seja uma estratégia que pode beneficiar principalmente indivíduos treinados em força (Peterson *et al.*, 2005; Willardson, 2007), uma vez que os ganhos de massa e força muscular tornam-se progressivamente difíceis para esses indivíduos, necessitando possivelmente de protocolos mais exaustivos para promover contínuas respostas hipertróficas e de força muscular (Zatsiorsky e Kraemer, 2006; Acsm, 2009b). Nesse sentido, sugere-se que o TF-F pode fornecer um estímulo adicional para indivíduos treinados em força, por promover uma maior fadiga muscular durante as sessões, e conseqüentemente, um maior recrutamento de unidades motoras (UMs) que o TF não realizado até a falha muscular (TF-NF) (Drinkwater *et al.*, 2005; Willardson, 2007).

Apesar de demonstrado que em condições de fadiga muscular, pode ocorrer um recrutamento adicional de UMs para manter a produção de força constante (Adam e De Luca, 2003), as evidências científicas sobre os efeitos do TF-F na amplitude do sinal da eletromiografia de superfície (EMG), a qual tem sido associada ao recrutamento de UMs, não são conclusivas em indivíduos treinados. Por exemplo, Looney *et al.* (2016) investigaram a ativação muscular por meio da amplitude da EMG em homens treinados em força no exercício de agachamento na barra guiada. Os resultados demonstraram que o TF-F resultou uma maior ativação muscular (i.e., amplitude da EMG) e em quase três vezes mais repetições (~21,5 repetições) quando comparado a um protocolo de TF-NF, o qual foi realizado com a mesma intensidade e com repetições fixas (8 repetições) (Looney *et al.*, 2016). Por outro lado, Hiscock *et al.* (2016) compararam a ativação muscular no exercício de rosca *Scott* durante o TF-F (3 séries realizadas com 70% de 1-RM [$\sim 11 \pm 5$ repetições]) e TF-NF (3 x 8 repetições à 70% de 1-RM) em homens treinados em força e não verificaram diferenças na ativação muscular entre os protocolos. Além das evidências até o momento mostrarem resultados divergentes em relação à amplitude da EMG, esse método nem sempre tem sido associado aos ganhos de massa e força muscular, principalmente quando a ativação muscular é diferente

entre protocolos (Schoenfeld *et al.*, 2014; Schoenfeld *et al.*, 2015; Nobrega *et al.*, 2018). Assim, para que falha muscular possa ser recomendada para indivíduos treinados em força, torna-se imperativo investigar seus efeitos na hipertrofia e na força muscular.

Uma possível explicação para os resultados divergentes de ativação muscular pode ser devido às diferenças no nível de fadiga muscular gerado pelos protocolos de TF-NF utilizados nos diferentes estudos. Sabe-se que existe uma correlação entre o número de repetições e a fadiga muscular (Dankel *et al.*, 2017; Nobrega *et al.*, 2018). Também já foi demonstrado que a fadiga muscular pode aumentar o recrutamento de UMs (Adam e De Luca, 2003). De fato, Sundstrup *et al.* (2012) analisaram a ativação muscular em indivíduos não treinados em força, no exercício de elevação lateral, realizado com o tubo elástico. Nesse protocolo, os participantes realizaram aproximadamente 15 repetições máximas. Porém, observou-se um platô na amplitude da EMG entre 3-5 repetições antes da falha muscular, sugerindo assim que não há necessidade de atingir a falha muscular, uma vez que, as repetições apresentam uma fadiga substancial. Nesse sentido, Nobrega *et al.* (2018) compararam protocolos de TF-F com TF-NF (i.e., os voluntários interrompem o exercício voluntariamente antes da falha muscular) e mostraram que o TF-NF realizado por indivíduos não treinados em força, foi eficaz em promover uma fadiga substancial, apesar de inferior ao TF-F. Ao comparar os efeitos crônicos desses dois protocolos, os pesquisadores verificaram resultados similares na ativação, hipertrofia e força muscular.

No entanto, os efeitos do TF-NF supracitados em indivíduos não treinados não podem ser generalizados para indivíduos treinados em força, uma vez que, o músculo de um indivíduo treinado em força difere tanto na estrutura (Maughan *et al.*, 1984; Sale, 1987) quanto na função (Sale *et al.*, 1983; Alway *et al.*, 1988; Huczel e Clarke, 1992) quando comparados com indivíduos não treinados em força. Adicionalmente, até o presente momento, não existem estudos na literatura que mostram o efeito crônico das adaptações

neuromusculares do TF-F com o TF-NF em indivíduos treinados em força. Sendo assim, são de grande importância à realização de estudos que comparem efeitos do TF-F e TF-NF na massa, força, ativação e arquitetura muscular de indivíduos treinados em força.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Comparar os efeitos do TF-F e TF-NF na massa, força, ativação e arquitetura muscular de homens jovens treinados em força.

2.2. Objetivos Específicos

- Comparar os efeitos do TF-F e TF-NF na massa muscular por meio das análises de DXA e ultrassonografia do músculo vasto lateral de homens jovens treinados em força;
- Comparar os efeitos do TF-F e TF-NF na força máxima dinâmica, por meio do teste de uma repetição máxima (1-RM), em homens jovens treinados em força;
- Comparar os efeitos do TF-F e TF-NF na ativação muscular, por meio da análise da amplitude da EMG, em homens jovens treinados em força.
- Comparar os efeitos do TF-F e TF-NF na arquitetura muscular (i.e., ângulo de penetração [AP] e comprimento do fascículo [CF]), por meio da análise da ultrassonografia, em homens jovens treinados em força;

3. HIPÓTESE

A hipótese do presente estudo foi que a hipertrofia muscular, ganhos de força, ativação muscular, e as alterações de arquitetura muscular apresentados pelo TF-F seriam similares ao TF-NF.

4. MÉTODOS

4.1. Participantes

Apenas os participantes que completaram 100% das sessões de TF foram incluídos no estudo. Quatro participantes não completaram todas as sessões de treino ou desistiram por razões pessoais. Quatorze homens jovens treinados (Tabela 1) completaram o estudo, totalizando um n = 28 unidades experimentais.

Tabela 1. Característica dos Participantes

	Participantes	Idade (anos)	Altura (cm)	Massa Corporal (Kg)	Experiência de Treino (anos)
Média	14	23	171,7	73,9	4,9
DP	-	2	5,0	5,8	2,7

cm, centímetro;

kg, quilograma;

DP, desvio-padrão.

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão:

- a. Realizar TF dos membros inferiores há pelo menos dois anos com uma frequência de duas vezes por semana.
- b. Não usar e não ter usado esteroides anabolizantes nos últimos seis meses;
- c. Não apresentar comprometimentos ósseos, neuromusculares, ou quaisquer outras afecções ou fatores de risco que contra-indicassem o uso dos procedimentos propostos, nos quadris e membros, conforme avaliado pelo questionário de prontidão para atividade física (Physical Activity Readiness Questionnaire – PAR-Q);
- d. Utilizar em suas rotinas de TF os aparelhos Leg Press 45°, cadeira extensora e mesa flexora ou cadeira flexora;

Todas as avaliações foram realizadas no mesmo horário do dia em todas as visitas para cada voluntário. Adicionalmente, os sujeitos foram aconselhados a manter seus hábitos alimentares e a não consumir qualquer outro tipo de suplemento nutricional a não ser o fornecido pelo investigador principal do estudo após cada sessão TF (30g ISO Whey Protein,

sabor de morango – Max Titanium – Brasil). Antes de iniciar a pesquisa, os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, conforme Resolução N° 466/12 do Conselho Nacional de Saúde (anexo 3). O estudo teve a aprovação ética concedida pelo Comitê de ética da Universidade (número do parecer: 1.852.589).

4.2. Delineamento experimental

Inicialmente, os participantes visitaram o laboratório para a realização da avaliação da massa magra da coxa (MMC), área de secção transversa (AST) e a arquitetura muscular (i.e., ângulo de penação [AP] e comprimento do fascículo [CF]) do músculo vasto lateral. Em seguida, foi realizada uma familiarização com os protocolos de treinamento de força (TF) (i.e., TF realizado até a falha muscular [TF-F] e o TF não realizado até a falha muscular [TF-NF] e com o teste de uma repetição máxima (1-RM) nos aparelhos *Leg Press 45°* (LP) (NK-5070; NakaGym, Diadema, SP, Brazil), cadeira extensora (CE) (NK-5060; NakaGym, Diadema, SP, Brazil) e mesa flexora (MF) (Flexor Premium; FísioMq Fitness Technology, Rio Negro, PR, Brazil). Setenta e duas horas depois, um novo teste de 1-RM foi realizado. Se os valores de 1-RM apresentassem uma diferença maior que 5% em relação ao teste anterior, um teste subsequente era realizado depois de 72h (Levinger *et al.*, 2009). Em média, todos os participantes realizaram três testes de 1-RM em cada exercício. Para reduzir a variabilidade intersujeitos, os participantes tiveram cada perna alocada de forma randomizada, de acordo com a dominância, para um dos dois protocolos de treinamento: TF-F ou TF-NF, para um total de 14 pernas em cada grupo. Depois de cinco semanas de treinamento, 1-RM foi reavaliado para ajustar a carga de treinamento. Os protocolos de TF foram realizados por dez semanas. Setenta e duas horas após a última sessão de treinamento (Pós) foram mensuradas novamente a MMC, AST e arquitetura muscular do músculo vasto lateral e realizado os testes de 1-RM. Adicionalmente, depois de 72h das avaliações finais, a ativação muscular do

músculo vasto lateral foi mensurada por meio da EMG, na cadeira extensora, no respectivo protocolo de treinamento (Fig. 1).

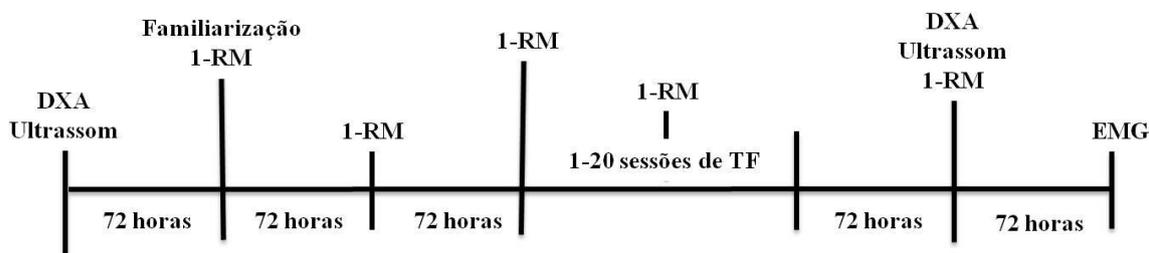


Figura 1. Delineamento experimental do estudo. DXA: absorciometria de raio-X de dupla energia. Utilizado para analisar a massa magra da coxa; o ultrassom foi utilizado para analisar a área de secção transversa e a arquitetura muscular (ângulo de penação e comprimento do fascículo) do músculo vasto lateral; 1-RM: uma repetição máxima; EMG: sinal da eletromiografia de superfície.

4.3. Absorciometria de raio X de dupla energia (DXA)

A massa magra da coxa (MMC) foi determinada pelo escaneamento corporal por meio do DXA (Hologic, Inc., Waltham, MA, USA). Para o escaneamento corporal, os sujeitos foram posicionados no DXA em decúbito dorsal. A massa gorda e a massa magra da coxa foram redefinidas na região de interesse usando o software de análise de composição corporal (Hologic APEX 3.2). O delineamento na região de interesse da coxa foi feito manualmente usando as bordas do colo do fêmur até a articulação do joelho (Segal *et al.*, 2009) (Fig. 2). O limite superior da região foi definido como o ponto mais baixo da tuberosidade isquiática, o limite inferior foi definido como a borda superior da patela e a sínfise púbica e o aspecto mais lateral da coxa foram utilizados como limites mediais e laterais, respectivamente.

A MMC foi ajustada e calculada de acordo com Maden-Wilkinson *et al.*, (2013) da seguinte forma: $MMC = \text{massa total da coxa} - \text{massa gorda da coxa} - (1,82 * \text{conteúdo mineral ósseo da coxa})$. O coeficiente de variação (CV) e o erro típico das medidas repetidas realizadas com um intervalo de 72 h foi de 0,88% e 58,13 g, respectivamente.

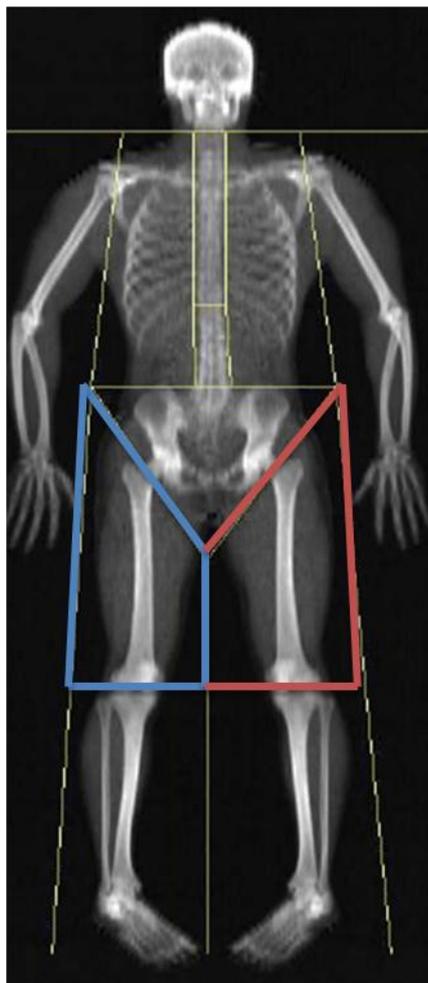


Figura 2. Delineamento da região de interesse da coxa.

4.4. Área de secção transversa (AST) muscular

A AST foi mensurada por meio de ultrassonografia. Para aquisição das imagens, procedimentos semelhantes aos validados por nosso grupo (Lixandrão *et al.*, 2014) foram adotados. Os participantes foram orientados a não realizar atividade física vigorosa por pelo menos 72h previamente ao teste. Ao chegar ao laboratório os participantes foram posicionados em decúbito dorsal por 20 minutos (min) para que mudanças hídricas teciduais ocorressem previamente à obtenção das imagens. As imagens foram coletadas utilizando o modo-B do ultrassom (US), com um probe linear de 7,5 MHz (Samsung, MySono U6, indústria e comércio Ltda. São Paulo, Brasil). Gel de transmissão foi aplicado no local da coleta em quantidade suficiente para prover acoplamento acústico sem depressão da derme. A

aquisição da AST foi obtida a 50% do comprimento da coxa, determinado como o ponto médio entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur, identificado por palpação manual. A pele foi marcada transversalmente em intervalos de 2 centímetro (cm) a partir do ponto de referência seguindo na direção médio-lateral da coxa para orientar o deslocamento do probe. Imagens sequenciais da ultrassonografia foram obtidas alinhando a borda superior do cabeçote com as demarcações na pele seguindo da direção medial para lateral. Após a coleta dos dados, a AST foi reconstruída seguindo os procedimentos descritos por Reeves (2004), onde as imagens foram abertas sequencialmente em *Power point* (Microsoft, USA) e rotacionadas manualmente até que toda a área do músculo vasto lateral fosse reconstruída. Três imagens consecutivas foram analisadas para determinação da AST e a média foi obtida e utilizada para análise posterior. A fáscia muscular e tecido ósseo subjacente foram evitados ao máximo para que apenas o tecido muscular fosse analisado (Fig. 3). O CV e o ETM do avaliador foram de 0,84% e 0,28 cm, respectivamente.

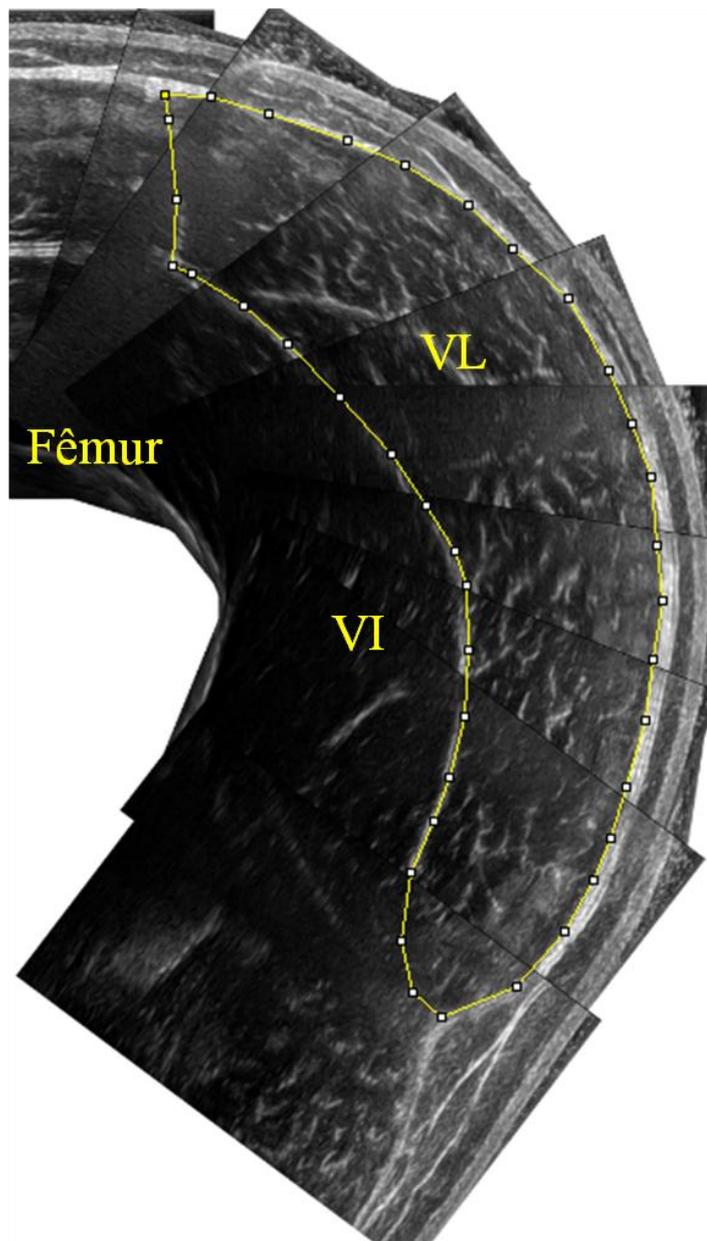


Figura 3. Imagem da área de secção transversa (AST) do vasto lateral (VL) em um dos momentos de coleta mensurada por ultrassonografia, montada em *power point* e quantificada no software *ImageJ*. VI = vasto intermédio.

4.5. Teste de uma repetição máxima (1-RM)

Os testes de 1-RM foram realizados nos aparelhos de Leg Press 45°, cadeira extensora e mesa flexora de maneira unilateral (membro direito e esquerdo testados individualmente), seguindo as recomendações descritas por Brown e Weir (2001), exceto em relação ao

aquecimento, o qual não foi composto de alongamento. Foi realizado um intervalo de 10 min entre os exercícios (Simao *et al.*, 2007; Gentil *et al.*, 2013; Bentes *et al.*, 2015). Inicialmente, os participantes realizaram aquecimento geral em bicicleta ergométrica a $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ por 5 min. Em seguida, os participantes realizaram oito repetições com 50% da 1-RM estimada e posteriormente, três repetições com carga de 70% da 1-RM estimada foram realizadas. Um intervalo de dois min foi permitido entre cada teste de cada perna e entre as séries de aquecimento. Após o aquecimento, os participantes realizaram o teste de 1-RM. Para tal, foram posicionados no aparelho devidamente ajustado de acordo com os dados coletados na visita inicial. Foram permitidas até cinco tentativas para atingir a 1-RM nos exercícios, com intervalos de 3 min entre cada teste de cada perna e entre as tentativas. Após 72h, um reteste foi realizado. Os casos que apresentaram variação superior a 5% no valor da 1-RM realizaram um novo reteste após 72h. Em média, todos os participantes realizaram 3 testes de 1-RM. O coeficiente de variação e erro típico no teste de 1-RM para os aparelhos de Leg Press 45°, cadeira extensora e mesa flexora foram 1,5% e 3,1 quilograma (kg); 2,0% e 1,1 kg; e 2,3% e 1,3 kg.

4.6. Ativação muscular

4.6.1. Aquisição do sinal eletromiográfico

A ativação muscular do músculo vasto lateral (VL) foi avaliada por meio da amplitude do sinal da eletromiografia de superfície (EMG) (EMG832C; EMG System do Brasil, São José dos Campos, Brasil). Antes da colocação dos eletrodos, a área da pele foi raspada com lâmina e limpa com uma compressa embebida em álcool para reduzir a impedância da pele (Libard *et al.*, 2014). Eletrodos de superfície (EMG System, São José dos Campos, Brasil) foram colocados sobre o ventre do músculo VL de acordo com Seniam (2016), com uma distância de 2 cm entre os eletrodos. Além disso, um eletrodo de referência (terra) foi

colocado na região do tornozelo oposto à perna avaliada, no maléolo lateral da fíbula. Para melhor estabilidade, foi aplicada uma fita de *micropore* sobre os eletrodos. Em seguida, foram realizados cinco min de aquecimento no ciclo ergômetro (20 km/h). Após o aquecimento, os participantes foram posicionados na cadeira extensora com uma flexão de joelho a 90° para a realização da contração voluntária máxima (CVM). Os sinais da amplitude da EMG foram coletados a uma frequência de 1000 Hz com um filtro passa banda de 20 e 500 Hz.

4.6.2. Protocolo de avaliação da ativação muscular

Inicialmente o apoio dos pés da cadeira extensora foi travado, uma vez que a CVM foi realizada de forma isométrica. Em seguida, foi solicitado aos participantes que realizassem o uma CVM por três segundos. Foram realizadas três CVM, com 1 minuto de intervalo entre as séries, e a raiz quadrática da média obtida foi usada para normalizar os sinais da EMG. Depois os participantes foram instruídos a realizar o exercício no aparelho da cadeira extensora de forma unilateral seguindo os protocolos de TF, aos quais foram alocados. Em suma, as pernas alocadas no protocolo de TF-F realizaram as repetições até a falha muscular, enquanto as pernas que foram alocadas no protocolo de TF-NF realizaram as repetições até que um desconforto muscular fosse apresentado, garantindo assim, que as repetições atingissem uma fadiga substancial. Ambos os protocolos foram realizados com 75% de 1-RM. As cargas usadas no teste da EMG foram ajustadas de acordo com os valores mais recentes de 1-RM dos participantes. Os protocolos de treinamento estão descritos em detalhes na seção de “protocolos de treinamento de força”. Entre as séries foi realizado um intervalo de dois min. Para diferenciar os sinais concêntricos e excêntricos da EMG, um eletrogoniômetro (*EMG System*, São José dos Campos, SP, Brazil) foi colocado no centro de rotação estimado da articulação do joelho. Os sinais da EMG e o eletrogoniômetro foram adquiridos usando o aparelho de eletromiografia EMG832C (*EMG System*, São José dos Campos, SP, Brazil) e os

eletrodos de superfície bipolar ativos com pré-amplificadores de ganhos de 20 vezes com taxa comum de modo de rejeição de > 100 db.

4.6.3. Processamento de dados

O processamento dos dados foi realizado off-line usando uma rotina personalizada no MATLAB (MathWorks®, Natick, MA). Inicialmente, os dados da EMG foram normalizados usando os dados da CVM. Seguindo os dados da normalização, o início e o término de cada repetição foi identificado manualmente através da rotina do MATLAB para cada série. Os valores mínimo e máximo do ângulo foram utilizados para definir o final das fases excêntricas e concêntricas, respectivamente. A ativação muscular foi calculada usando a RQM.

4.7. Arquitetura muscular

4.7.1. Ângulo de penação (AP)

O AP do vasto lateral foi mensurado utilizando o modo B do ultrassom, no ponto correspondente a 50% do comprimento da coxa. O probe foi posicionado longitudinalmente à interface de tecido muscular e inclinado lateralmente de maneira a otimizar a visualização dos fascículos. O ângulo de penação foi determinado como o ângulo formado pela interseção dos fascículos na aponeurose profunda por meio da ferramenta angular no software *ImageJ* (Fig.4). Três imagens consecutivas foram analisadas e a média obtida foi considerada o valor final. Para mensurar o AP foram utilizados procedimentos similares aos utilizados por Blazevich et al. (2007). O coeficiente de variação e o erro típico do avaliador foram 0,79% e $0,18^\circ$, respectivamente.

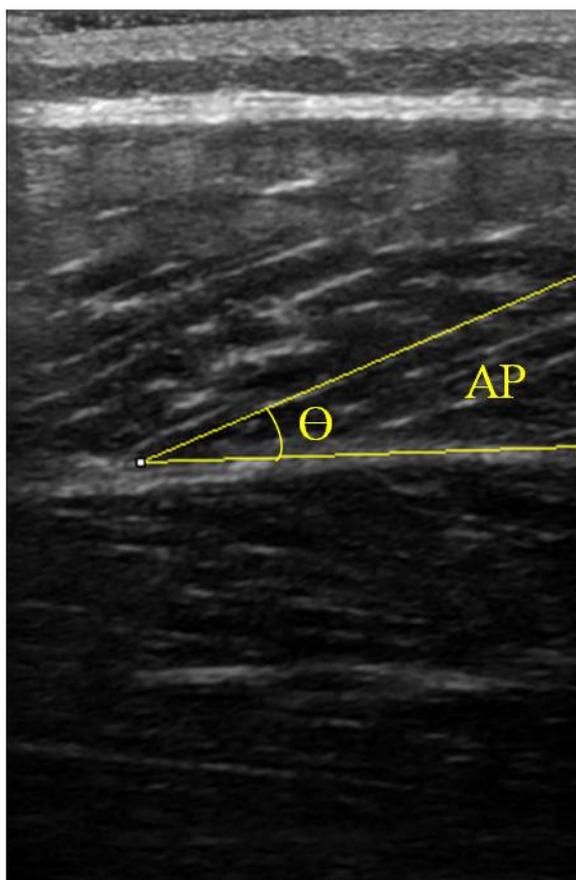


Figura 4. Imagem do ângulo de penetração (AP) de um dos sujeitos, em um dos momentos de coleta, mensurada por ultrassonografia e quantificado no software *ImageJ*.

4.7.2. Comprimento do fascículo (CF)

O CF foi calculado a partir da mesma imagem utilizada para o cálculo do AP (BLAZEVIICH et al. (2007)). O CF foi definido como o comprimento fascicular entre as aponeuroses superficial e profunda. Quando o fascículo se estendeu além da imagem, a porção faltosa foi estimada por extrapolação linear no software *ImageJ*. A distância linear foi medida traçando uma reta a partir do fim visível do fascículo até sua interseção com uma reta traçada a partir da aponeurose superficial (Fig. 5). Três imagens consecutivas foram analisadas e a média obtida foi considerada o valor final. O coeficiente de variação e o erro típico são de 0,81% e 0,05cm, respectivamente.

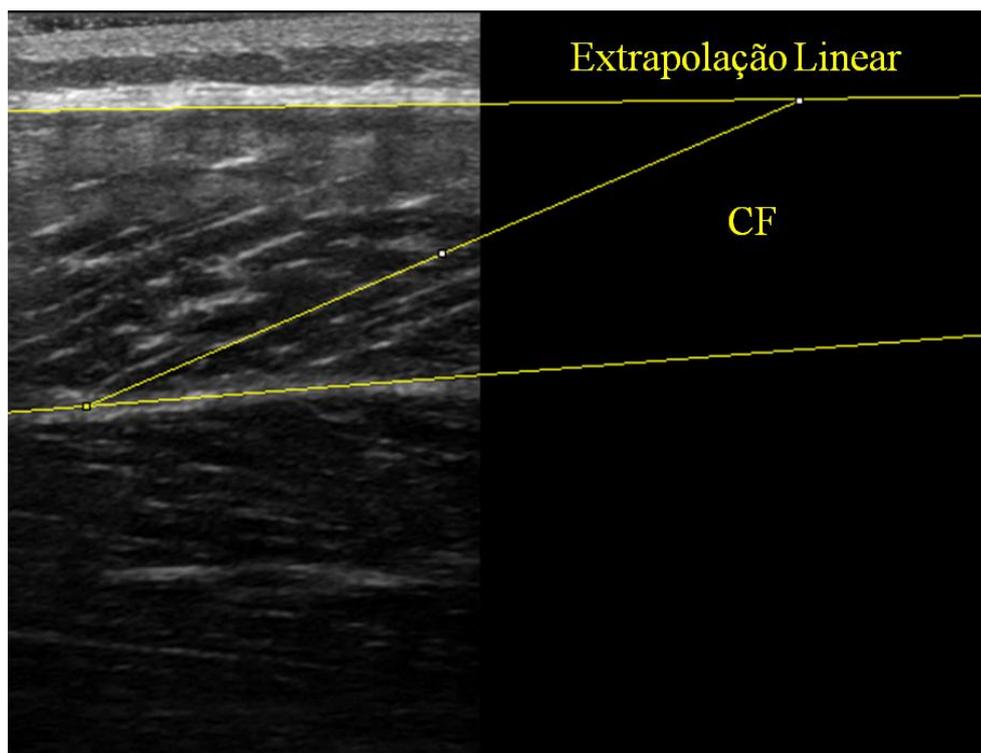


Figura 5. Imagem do comprimento do Fascículo (CF) de um dos sujeitos, em um dos momentos de coleta foi mensurada por ultrassonografia e quantificada no software *ImageJ*.

4.8. Protocolos de treinamento de força (TF)

Os aparelhos utilizados no período experimental foram o *Leg Press 45°*, cadeira extensora e mesa flexora, nos quais os participantes realizaram os protocolos de TF de forma unilateral duas vezes por semana durante 10 semanas (20 sessões de TF). Antes de iniciar o estudo, os participantes reportaram o volume semanal de treinamento de força (i.e., número total de séries realizadas por grupo musculares por semana) para o quadríceps (séries: $19,1 \pm 8,5$; variação 7-42) e posterior de coxa (séries: $8,0 \pm 4,6$; variação 7-20). Baseado nos relatos individuais da rotina de treinamento, cada participante teve seu volume de séries semanais aumentado em 20%, para assegurar que todos os participantes tivessem uma progressão de treinamento (ANGLERI et al. 2017).

Sendo assim, os participantes realizaram em cada sessão o seguinte número de séries: *Leg Press 45°*: $11,5 \pm 5,1$ (variação 4-25), cadeira extensora: $11,6 \pm 5,2$ (variação 4-25) e

mesa flexora $9,6 \pm 5,5$ (variação 4-24). Antes de cada sessão de TF, os sujeitos realizaram um aquecimento geral de cinco min no ciclo ergômetro (Ergo-Fit®, Pirmasens, Rheinland-Pfalz, Germany) pedalando a $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Todos os participantes foram novamente instruídos sobre os critérios para a realização dos protocolos de TF-F e TF-NF.

Para o protocolo de TF-F, foram realizadas repetições a 75% de 1-RM até o ponto em que os participantes fossem incapazes de realizar uma ação concêntrica na amplitude de movimento previamente padronizada ($\sim 90^\circ$) (Jenkins *et al.*, 2015; Schoenfeld *et al.*, 2015) pelos pesquisadores durante a familiarização aos protocolos de treinamento. Para o protocolo de TF-NF, as repetições foram realizadas a 75% de 1-RM até ao ponto em que os participantes interrompessem o exercício voluntariamente antes da falha muscular (Pitcher e Miles, 1997; Nobrega *et al.*, 2018), apresentando uma fadiga substancial. Para o TF-NF os voluntários eram aconselhados a interromper o exercício a partir do momento em que sentisse um desconforto muscular. Entre cada protocolo de TF, um intervalo de dois min foi realizado.

4.9. Diminuição das repetições (Drep)

A Drep foi avaliada para mensurar a queda do desempenho dos voluntários entre os protocolos. A Drep foi calculada como a diferença relativa entre o número de repetições da primeira e última série ($\text{Drep} = \text{primeira série} - \text{última série} / \text{primeira série}$) realizadas em cada exercício.

4.10. Volume total de treinamento (VTT)

O volume total de treinamento (VTT) foi calculado em cada sessão pela seguinte equação: séries x repetições x carga (kg). Depois, os valores obtidos em cada sessão foram somados, para obtenção do VTT acumulado ao longo do treinamento.

4.11. Análises estatísticas

Depois da inspeção visual dos dados, um teste de Shapiro-Wilk foi realizado para verificar a normalidade dos dados. Testes-T foram aplicados para comparar os valores de linha de base (Pré) de cada variável dependente (MMC, AST, 1-RM, AP e CF) entre os protocolos (TF-F ou TF-NF). Em seguida, foi realizada uma análise de modelo misto com protocolos de TF e tempo como fatores fixos e os participantes como fator randômico, para cada variável dependente. Se o valor de F fosse significativo, foram aplicados os ajustes de *Tukey* para comparações múltiplas. Testes-T foram utilizados para comparar as diferenças no sinal de eletromiografia (EMG), Drep e VTT (séries x repetições x carga[kg]) entre os protocolos de TF-F e TF-NF. As análises estatísticas foram realizadas no programa SAS 9.3 (SAS institute Inc., Cary, NC, USA) e os valores de P foram definidos como $P < 0,05$.

5. RESULTADOS

5.1. Comparação entre os valores de linha de base de cada variável dependente

Entre os protocolos de TF-F e TF-NF não foram encontradas diferenças significativas nos valores de linha de base para MMC (RT-F: $6371,7 \pm 629,7$ g vs. RT-V: $6401,2 \pm 6798,5$ g; $P > 0,05$), AST (RT-F: $32,9 \pm 5,3$ cm² vs. RT-V: $33,1 \pm 5,8$ cm²; $P > 0,05$), nos testes 1-RM nos exercícios *Leg Press* 45° (RT-F: $237,5 \pm 31,7$ kg vs. RT-V: $237,5 \pm 33,0$ kg; $P > 0,05$), cadeira extensora (RT-F: $55,8 \pm 8,6$ kg vs. RT-V: $56,4 \pm 9,6$ kg; $P > 0,05$), mesa flexora (RT-F: $53,6 \pm 8,0$ kg vs. RT-V: $51,6 \pm 8,0$ kg; $P > 0,05$) e na soma dos valores de 1-RM dos exercício (*Leg Press* 45°, cadeira extensora e mesa flexora) (RT-F: $349,1 \pm 36,9$ kg vs. RT-V: $349,5 \pm 37,9$ kg; $P > 0,05$), AP (RT-F: $22,5 \pm 3,8^\circ$ vs. RT-V: $23,2 \pm 2,6^\circ$) e CF (RT-F: $5,5 \pm 0,5$ cm vs. RT-V: $5,1 \pm 0,5$ cm; $P > 0,05$).

5.2. Massa magra da coxa (MMC) e área de secção transversa (AST) muscular

Os valores da MMC apresentaram aumento significativo do Pré para o Pós-treinamento para ambos os protocolos (TF-F: $6371,7 \pm 629,7$ g para $6867,7 \pm 657,82$ g; TF-NF: $6401,1 \pm 587,8$ g para $6798,4 \pm 610,0$ g, efeito principal de tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 6A). Não houve diferença significativa entre os protocolos ($P > 0,05$). Os AST do músculo vasto lateral também apresentaram aumento significativo do Pré para o Pós-treinamento para ambos os protocolos (TF-F: $32,9 \pm 5,3$ cm² para $37,1 \pm 5,6$ cm²; RT-V: $33,1 \pm 5,8$ cm² para $37,5 \pm 6,6$ cm², efeito principal de tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 6B). Entretanto, não foi verificado diferença significativa entre os protocolos ($P > 0,05$).

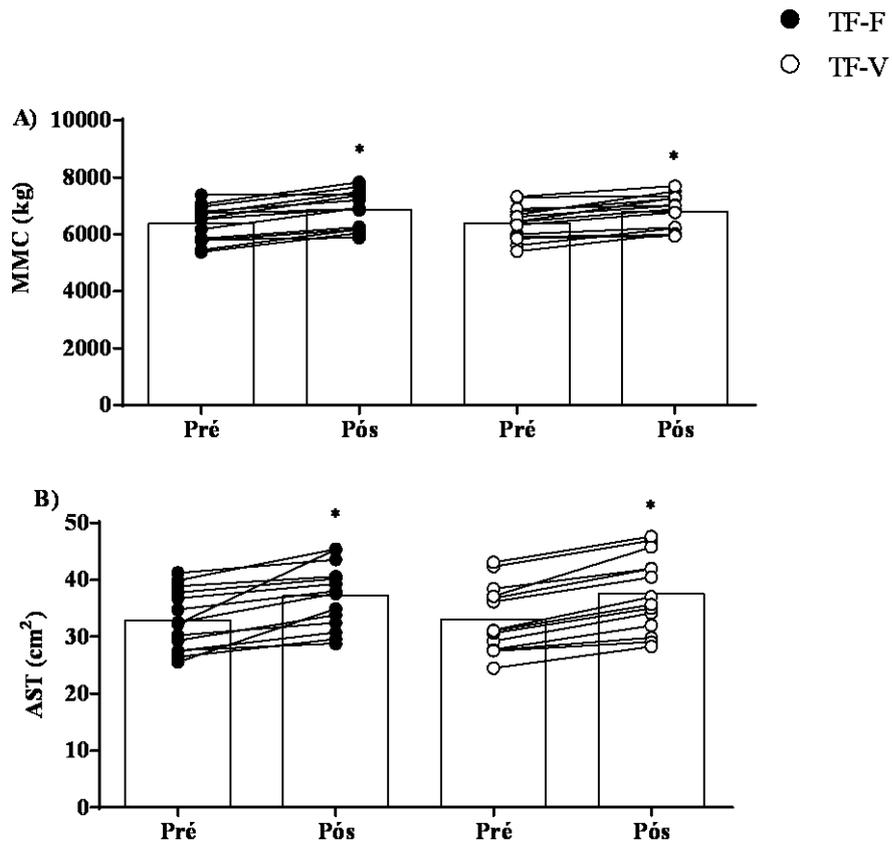


Figura 6. Massa Magra da Coxa (MMC) (A) e Área de Secção Transversa (AST) muscular (B) mensurada antes (Pré) e depois de 10 semanas (Pós) de treinamento de força realizado até a falha muscular (TF-F) e treinamento de força não realizado até a falha muscular (TF-NF). *Significativamente diferente do Pré (efeito principal do tempo, $P < 0,05$). Valores apresentados em média \pm DP.

5.3. Teste de uma repetição máxima (1-RM)

Ambos os protocolos apresentaram aumentos significantes nos valores de 1-RM do Pré para o Pós-treinamento para os exercícios *Leg Press* 45° (TF-F: 237,5 ± 21,6 kg para 290,0 ± 40,24 kg; TF-NF: 237,5 ± 32,9 kg para 299,93 ± 41,4 kg; efeito principal do tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 7A), cadeira extensora (TF-F: 55,57 ± 8,6 kg para 73,2 ± 9,8 kg; TF-NF: 56,3 ± 9,5 kg para 73,8 ± 8,4 kg; efeito principal do tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 7B) e mesa flexora (TF-F: 53,5 ± 8,0 kg para 64,3 ± 6,4 kg; TF-NF: 51,57 ± 7,9 kg para 63,2 ± 6,8 kg, efeito principal do tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 7C). Como esperado a soma dos valores de 1-RM dos três exercício (*Leg Press* 45°, cadeira extensora e mesa flexora) aumentou significante do Pré para o Pós-treinamento em ambos os protocolos (TF-F: 349,1 ± 36,9 kg para 431,0 ± 39,9 kg; TF-NF: 349,5 ± 37,9 kg para 440,4 ± 42,5 kg, efeito principal de tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 7D). Não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos ($P > 0,05$).

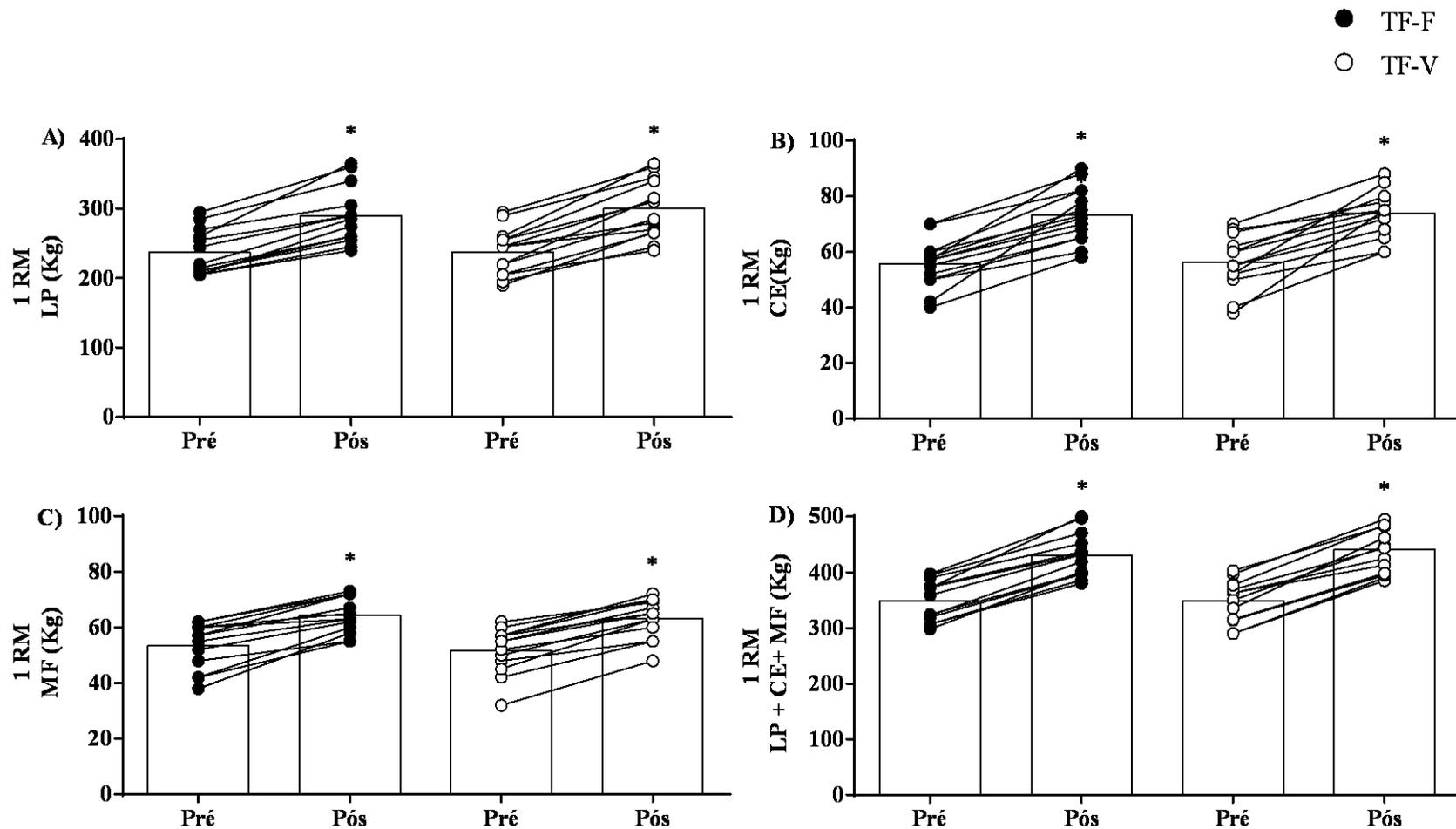


Figura 7. Teste de Uma repetição máxima (1-RM) -no Leg Press 45° (LP) (A), cadeira extensora (CE) (B), mesa flexora (MF) (C), e soma dos valores (LP, CE e MF) (D) mensurada antes (Pré) e depois de 10 semanas (Pós) de treinamento de força realizado até a falha muscular (TF-F) e até a interrupção voluntária (TF-V). *Significativamente diferente do Pré (efeito principal do tempo, $P < 0,05$). Valores apresentados como média \pm DP.

5.4. Ativação muscular

Não foi encontrada diferença significativa na amplitude da EMG ($P > 0.05$) entre os protocolos (TF-F: $92,2 \pm 24,9\%$ vs. $100,3 \pm 25,6\%$; $P > 0,05$) (Fig. 8).

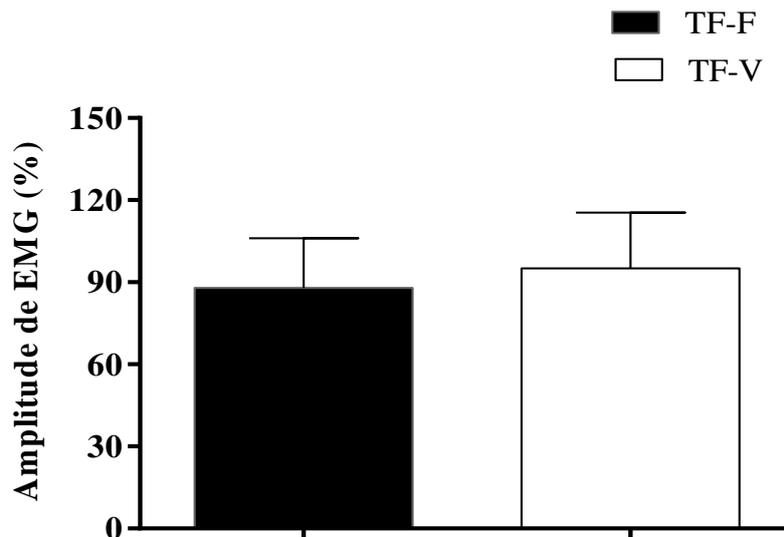


Figura 8. Amplitude da EMG normalizada pela CVM na Cadeira extensora unilateral (CE) mensurada depois de 10 semanas (Pós) de treinamento de força realizado até a falha muscular (TF-F) e treinamento de força não realizado até a falha muscular (TF-NF). Valores apresentados como média \pm DP.

5.5. Arquitetura muscular

O ângulo de penação (AP) aumentou significativamente do Pré para Pós-treinamento (TF-F: $22,5 \pm 3,8^\circ$ para $25,5 \pm 3,8^\circ$; TF-NF: $23,1 \pm 2,5^\circ$ para $26,0 \pm 2,9^\circ$; efeito principal de tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 9A). Entretanto, não houve diferença significantes entre os protocolos ($P > 0,05$). O CF também apresentou aumento significativo do Pré para o Pós-treinamento (TF-F: $5,5 \pm 0,5$ cm para $6,0 \pm 0,5$ cm; TF-NF: $5,5 \pm 0,5$ cm para $6,0 \pm 0,6$ cm; efeito principal de tempo, $P < 0,0001$) (Fig. 9B). Também não foi demonstrado diferença significativa entre os protocolos ($P > 0,05$).

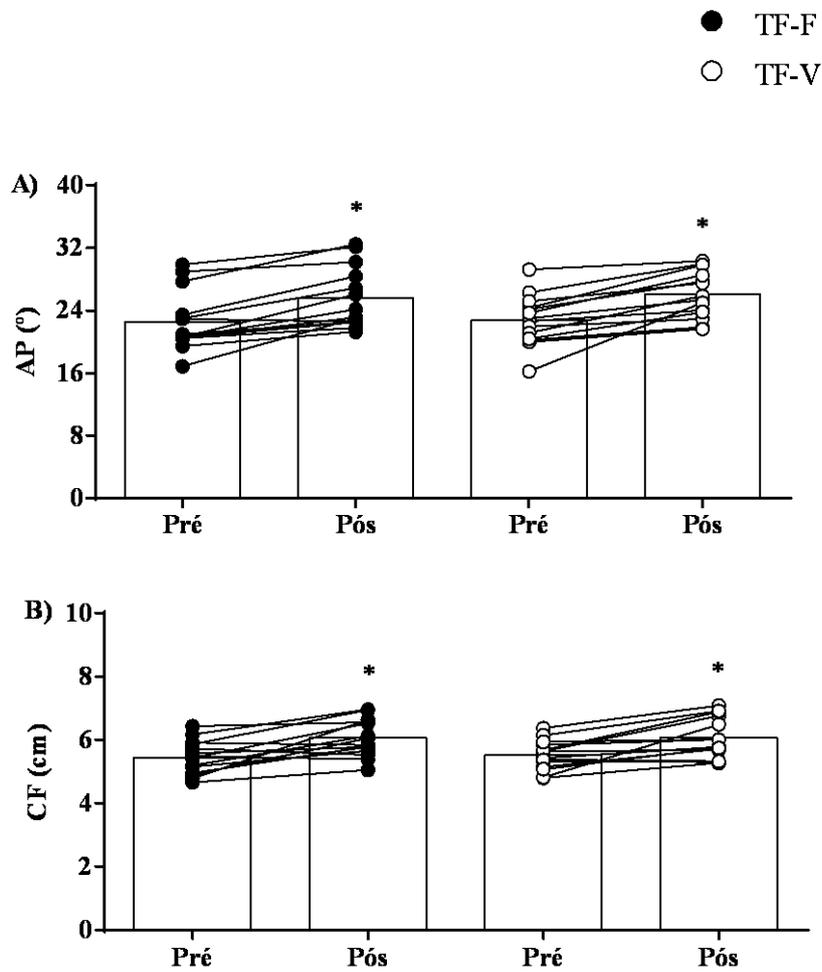


Figura 9. Ângulo de Penação (AP, A) e Comprimento do Fascículo (CF, B) mensurado antes (Pré) e depois de 10 semanas (Pós) de treinamento de força realizado até a falha muscular (TF-F) e treinamento de força não realizado até a falha muscular (TF-NF). *Significativamente diferente do Pré (efeito principal do tempo, $P < 0,05$). Valores apresentados como média \pm DP.

5.6. Diminuição das repetições (Drep)

O TF-F resultou em uma maior Drep comparado ao TF-NF para os exercícios *Leg Press* 45° (TF-F: 43,9% vs. TF-NF 25,4%; $P = 0,01$) (Fig. 10A) e cadeira extensora (TF-F: 18,1% vs. RT-V: 11,0%; $P = 0,03$) (Fig. 10B). Já para a mesa flexora, não foi encontrada diferença significativa entre os protocolos (TF-F: 28,4% vs. RT-V: 22,2%; $P = 0,03$) ($P > 0,05$) (Fig. 10C). A Drep dos três exercícios analisados conjuntamente foi maior para o TF-F comparado ao TF-NF (33,3% vs. TF-NF: 19,9%, respectivamente; $P = 0,006$) (Fig. 10D).

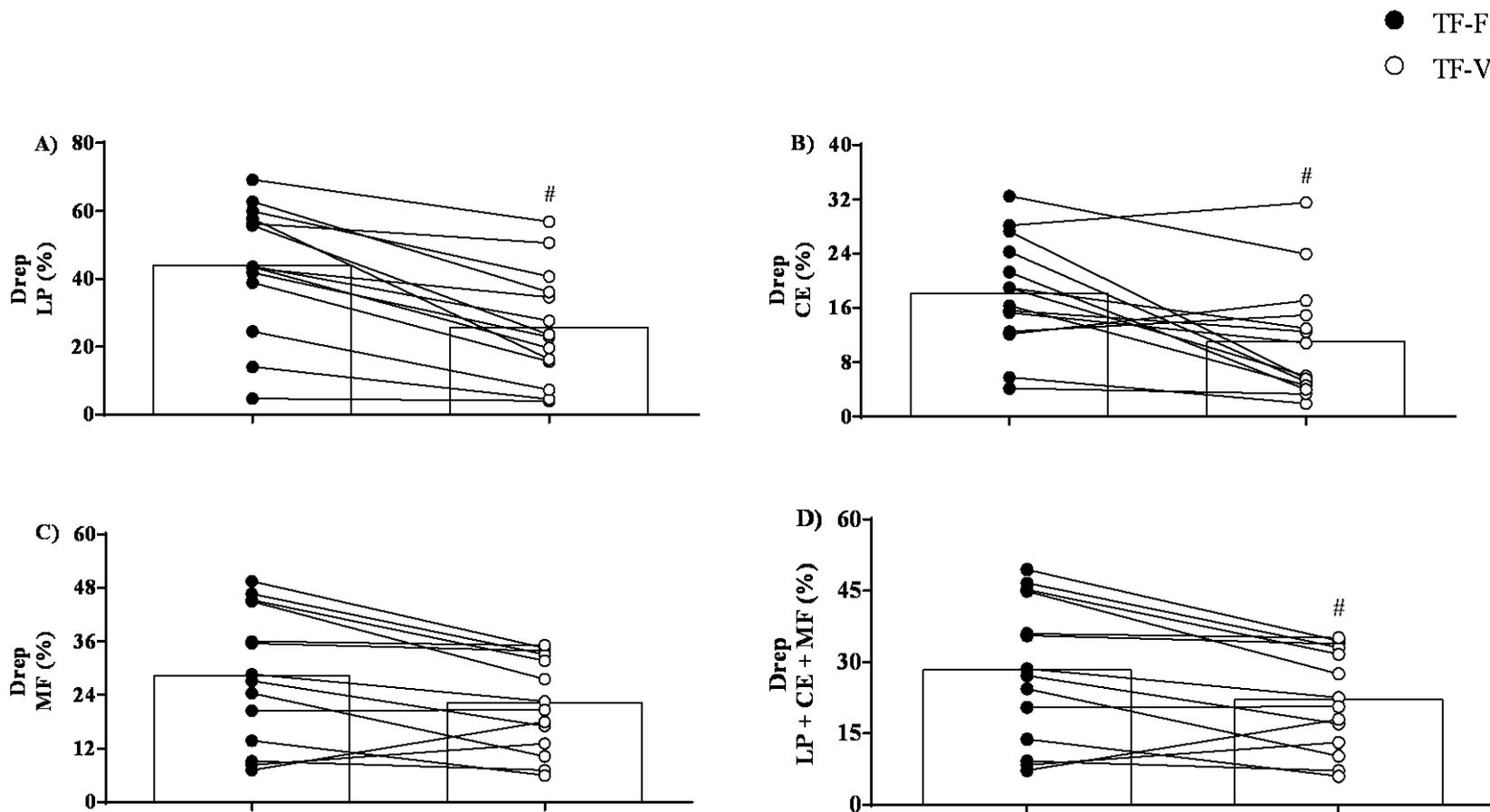


Figura 10. Diminuição das repetições (Drep) no Leg Leg Press 45° (LP,A), cadeira extensora (CE,B), mesa flexora (MF,C), e soma dos valores (LP, CE e MF,D) mensurada antes (Pré) e depois de 10 semanas (Pós) de treinamento de força realizado até a falha muscular (TF-F) e treinamento de força não realizado até a falha muscular (TF-NF). #Significamente diferente do protocolo RF-F ($P < 0,05$). Valores apresentados como média \pm DP.

5.7. Volume total de treinamento (VTT)

Não foram encontradas diferenças significantes no VTT entre os protocolos para os exercícios *Leg Press* 45° (TF-F: 245.313,5 ± 75.715,3 kg vs. TF-NF: 200.964,5 ± 88.734,6 kg; $P > 0,05$) (Fig. 12A), cadeira extensora (TF-F: 47.912,5 ± 15.322 kg vs. TF-NF: 45.623,3 ± 17.565,6 kg; $P > 0,05$) (Fig. 12B), mesa flexora (TF-F: 27.441,4 ± 12.289,9 kg vs. TF-NF: 23.142,6 ± 11.288,5 kg; $P > 0,05$) (Fig. 12C) e para o VTT de todos os exercícios analisados conjuntamente (TF-F: 322.635,5 ± 98.420 kg vs. TF-NF: 271.061,7 ± 111.751,4 kg; $P > 0,05$) (Fig. 12D).

6. DISCUSSÃO

Para nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que comparou os efeitos dos protocolos de treinamento de força realizados ou não até a falha muscular nas adaptações neuromusculares de indivíduos treinados em força. Nossos principais resultados demonstram que o TF-NF é uma estratégia eficaz para maximizar a hipertrofia, ganhos de força, ativação muscular e arquitetura muscular em indivíduos treinados.

Um dos principais mecanismos responsáveis pelos ganhos de hipertrofia e força muscular é o recrutamento de unidades motoras (UMS) (West *et al.*, 2010; Olsen *et al.*, 2019). Sugere-se que o treinamento de força quando realizado até a falha muscular (TF-F) pode promover uma maior fadiga, e isso pode levar a um maior recrutamento de UMs (Drinkwater *et al.*, 2005; Willardson, 2007), o qual tem sido associado ao aumento da amplitude do sinal da EMG (Fallentin *et al.*, 1993; Fuglevand *et al.*, 1993). De fato, Looney *et al.* (2016) verificaram em indivíduos treinados em força, que o TF-F resultou uma maior ativação muscular (i.e., amplitude de EMG) e em quase três vezes mais repetições (~21,5 repetições) quando comparado a um protocolo de TF realizado não realizado até a falha muscular (TF-NF), o qual foi realizado com a mesma intensidade e com repetições fixas (8 repetições). Nossos achados mostraram uma resposta contrária, uma vez que observamos aumentos similares nos valores da amplitude da EMG, entre TF-F e TF-NF. As diferenças entre os nossos e resultados do estudo supracitado, pode estar relacionado com as diferenças dos níveis de fadiga entre os protocolos de que não foram realizados até a falha muscular. Corroborando com os nossos achados, Sundstrup *et al.* (2012) mostrou que a amplitude da EMG dos músculos envolvidos na elevação lateral foi alcançada entre 3-5 repetições antes do ponto da falha muscular. Nesse sentido, Nóbrega *et al.* (2018) também mostraram que tanto em alta quanto em baixa intensidade, protocolos TF-F e TF-NF não apresentaram diferenças significativas na amplitude da EMG, força e hipertrofia muscular em indivíduos não treinados

em força. Portanto, nossos achados permitem sugerir que a ativação muscular, ganhos de força e hipertrofia muscular podem ser maximizados em indivíduos treinados, sem a necessidade de realizar repetições até a falha muscular, desde que o exercício atinja um nível de fadiga substancial.

Além da EMG, um fator que também pode explicar a similaridade das respostas neuromusculares (i.e., hipertrofia e força muscular) são os resultados do VTT entre os protocolos. Apesar do TF-F apresentar uma tendência para um maior VTT no presente estudo, os valores do VTT entre os protocolos foram similares (Fig. 11). Evidências na literatura mostram que, as adaptações neuromusculares musculares não apresentam diferenças significativas entre protocolos de TF, uma vez que, o VTT desses protocolos seja equalizado (Moore *et al.*, 2012; Angleri *et al.*, 2017). Por exemplo, Angleri *et al.* (2017) mostraram que os sistemas de treino pirâmide crescente comparado com o *drop set*, não promovem aumentos nos ganhos de hipertrofia, força muscular e também não promovem mudanças na arquitetura muscular comparada com o treino tradicional (i.e., 3-5 series de 6-12 repetições a 75% de 1-RM), com VTT equalizado.

Mesmo com a similaridade do VTT apresentada entre os protocolos do presente estudos, podemos sugerir que o TF-F apresentou um nível de fadiga maior que o TF-NF, uma vez que o nível de desempenho dos participantes foi diferente entre os protocolos. Essa diferença pode ser visualizada na análise da Drep durante os exercícios realizados (Fig. 10), onde o TF-F apresentou uma maior Drep quando comparado ao TF-NF.

Outro fator que pode explicar os ganhos similares na hipertrofia e força muscular é a arquitetura muscular. No presente estudo, os protocolos de TF-F e TF-NF apresentaram aumentos similares nos valores do ângulo de penação (AP) (13,7% e 12,4%, respectivamente) (Fig. 9A) e comprimento do fascículo (CF) (12,7% e 10,4%, respectivamente) (Fig. 9B) depois de 10 semanas de treinamento. Apesar dos efeitos do treinamento de força sobre

arquitetura muscular de indivíduos treinados em força ter sido pouco investigada, recentemente foi demonstrado que diferentes protocolos de TF realizados até ou não a falha muscular (sistemas de TF drop-set e pirâmide crescente), por indivíduos treinados em força, foram igualmente efetivos para promover aumentos similares no AP (10,3% e 11%) e CF (9,1% e 8,9%) (Angleri *et al.*, 2017). Nossos resultados sugerem que a hipertrofia muscular similar entre TF-F e TF-NF, acompanhada pelo aumento também similar do AP e CF, pode ter ocorrido devido a uma adição do número de sarcômeros em paralelo, os quais podem ter contribuído também para o aumento similar da força muscular (Aagaard *et al.*, 2001) entre os protocolos.

Sendo assim, os achados do presente estudo sugerem que realizar repetições adicionais, o qual é possível quando o exercício é realizado até a falha, não acarreta em ativação muscular adicional, e tão pouco ganhos adicionais de hipertrofia, força e arquitetura muscular, mesmo em indivíduos treinados.

7. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O modelo de TF unilateral empregada neste estudo poderia ter a ocorrência do efeito cruzado do treinamento, onde o TF realizado em uma musculatura pode levar a ganhos de força mediados neuralmente no músculo contralateral não treinado (Lee e Carroll, 2007). Segundo Lee e Carroll (2007), a magnitude do efeito cruzado é variável, mas possui uma média de 7%, o qual é bem inferior aos ganhos de força observados no presente estudo (entre 24-27%). Adicionalmente, é sugerido por Mitchell et al. (2012) que o efeito cruzado é mínimo ou inexistente quando ambos os membros estão treinando com diferentes protocolos, uma vez que, não foi encontrada uma correlação nos ganhos de força entre os protocolos unilateral para os membros inferiores ($r = 0,33$). Adicionalmente a educação cruzada é menos provável de ocorrer em indivíduos treinados do que aqueles não treinados em força, pois esses já apresentam uma grande adaptação neural ao treinamento (Amarantini e Bru, 2015). Finalmente, nosso estudo não mensurou de forma direta a fadiga muscular causada pelos TF-F e TF-NF. No entanto, essa limitação pode ser atenuada pela realização da análise da diminuição do número de repetições realizadas ao longo das séries em cada exercício, uma vez que a queda no desempenho é considerada um indicador de fadiga (Gonzalez-Badillo *et al.*, 2016; Moran-Navarro *et al.*, 2017).

8. APLICAÇÕES PRÁTICAS

Com base neste estudo, podemos sugerir que o TF-NF pode ser uma excelente estratégia utilizada para maximizar as adaptações neuromusculares de indivíduos treinados em força, uma vez que, apresenta as mesmas adaptações que o TF-F. Com isso, evitar possivelmente intercorrências indesejáveis de protocolos realizados até a falha muscular, como por exemplo, elevados picos pressóricos sanguíneos (Macdougall *et al.*, 1985), aumento do risco de lesões musculoesqueléticas e *overtraining* (Stone *et al.*, 1996Stone *et al.*, 1996).

9. CONCLUSÃO

O treinamento de força realizado até a falha muscular promove hipertrofia, ganhos de força muscular, ativação muscular, aumento no ângulo de penetração e comprimento do fascículo similar ao treinamento de força realizado até a interrupção voluntária em indivíduos treinados em força.

10.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P. et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol*, v. 534, n. Pt. 2, p. 613-23, Jul 15 2001.

ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*, v. 41, n. 7, p. 1510-30, Jul 2009a.

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

ADAM, A.; DE LUCA, C. J. Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions. *J Neurophysiol*, v. 90, n. 5, p. 2919-27, Nov 2003.

ALWAY, S. E. et al. Functional and structural adaptations in skeletal muscle of trained athletes. *J Appl Physiol* (1985), v. 64, n. 3, p. 1114-20, Mar 1988.

AMARANTINI, D.; BRU, B. Training-related changes in the EMG-moment relationship during isometric contractions: Further evidence of improved control of muscle activation in strength-trained men? *J Electromyogr Kinesiol*, v. 25, n. 4, p. 697-702, Aug 2015.

ANGLERI, V.; UGRINOWITSCH, C.; LIBARDI, C. A. Crescent pyramid and drop-set systems do not promote greater strength gains, muscle hypertrophy, and changes on muscle architecture compared with traditional resistance training in well-trained men. *Eur J Appl Physiol*, v. 117, n. 2, p. 359-369, Feb 2017.

BENTES, C. M. et al. Hypotensive effects and performance responses between different resistance training intensities and exercise orders in apparently health women. *Clin Physiol Funct Imaging*, v. 35, n. 3, p. 185-90, May 2015.

BLAZEVIK, A. J. et al. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* (1985), v. 103, n. 5, p. 1565-75, Nov 2007.

BLAZEVIK, A. J. et al. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Med Sci Sports Exerc*, v. 35, n. 12, p. 2013-22, Dec 2003.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol Online*, v. 4, n. 3, p. 1-21, 2001.

CHEEMA, B. S. et al. Effect of progressive resistance training on measures of skeletal muscle hypertrophy, muscular strength and health-related quality of life in patients with chronic kidney disease: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, v. 44, n. 8, p. 1125-38, Aug 2014.

DANKEL, S. J. et al. Frequency: The Overlooked Resistance Training Variable for Inducing Muscle Hypertrophy? *Sports Med*, v. 47, n. 5, p. 799-805, May 2017.

DRINKWATER, E. J. et al. Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. *J Strength Cond Res*, v. 19, n. 2, p. 382-8, May 2005.

FALLETIN, N.; JORGENSEN, K.; SIMONSEN, E. B. Motor unit recruitment during prolonged isometric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 67, n. 4, p. 335-41, 1993.

FUGLEVAND, A. J. et al. Impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces. *J Physiol*, v. 460, p. 549-72, Jan 1993.

FUKUNAGA, T. et al. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J Appl Physiol* (1985), v. 82, n. 1, p. 354-8, Jan 1997.

GENTIL, P. et al. Effect of adding single-joint exercises to a multi-joint exercise resistance-training program on strength and hypertrophy in untrained subjects. *Appl Physiol Nutr Metab*, v. 38, n. 3, p. 341-4, Mar 2013.

GONZALEZ-BADILLO, J. J. et al. Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *Int J Sports Med*, v. 37, n. 4, p. 295-304, Apr 2016.

HISCOCK, D. J. et al. Muscle activation, blood lactate, and perceived exertion responses to changing resistance training programming variables. *Eur J Sport Sci*, v. 16, n. 5, p. 536-44, Aug 2016.

HUCZEL, H. A.; CLARKE, D. H. A comparison of strength and muscle endurance in strength-trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 64, n. 5, p. 467-70, 1992.

JENKINS, N. D. et al. Muscle activation during three sets to failure at 80 vs. 30% 1RM resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*, v. 115, n. 11, p. 2335-47, Nov 2015.

LEE, M.; CARROLL, T. J. Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Med*, v. 37, n. 1, p. 1-14, 2007.

LEVINGER, I. et al. The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *J Sci Med Sport*, v. 12, n. 2, p. 310-6, Mar 2009.

LIBARD, S. et al. Human cytomegalovirus tegument protein pp65 is detected in all intra- and extra-axial brain tumours independent of the tumour type or grade. *PLoS One*, v. 9, n. 9, p. e108861, 2014.

LIEBER, R. L.; FRIDEN, J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, v. 23, n. 11, p. 1647-66, Nov 2000.

LIXANDRÃO, M. E. et al. Vastus lateralis muscle cross sectional area ultrasonography validity for image-fitting in humans. *J Strength Cond Res*, May 19 2014.

LOONEY, D. P. et al. Electromyographical and Perceptual Responses to Different Resistance Intensities in a Squat Protocol: Does Performing Sets to Failure With Light Loads Produce the Same Activity? *J Strength Cond Res*, v. 30, n. 3, p. 792-9, Mar 2016.

MACDOUGALL, J. D. et al. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* (1985), v. 58, n. 3, p. 785-90, Mar 1985.

MADEN-WILKINSON, T. M. et al. Comparison of MRI and DXA to measure muscle size and age-related atrophy in thigh muscles. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, v. 13, n. 3, p. 320-8, Sep 2013.

MAUGHAN, R. J.; WATSON, J. S.; WEIR, J. Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects. *Br J Sports Med*, v. 18, n. 3, p. 149-57, Sep 1984.

MITCHELL, C. J. et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* (1985), v. 113, n. 1, p. 71-7, Jul 2012.

MOORE, D. R.; YOUNG, M.; PHILLIPS, S. M. Similar increases in muscle size and strength in young men after training with maximal shortening or lengthening contractions when matched for total work. *Eur J Appl Physiol*, v. 112, n. 4, p. 1587-92, Apr 2012.

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

NOBREGA, S. R. et al. Effect of Resistance Training to Muscle Failure vs. Volitional Interruption at High- and Low-Intensities on Muscle Mass and Strength. *J Strength Cond Res*, v. 32, n. 1, p. 162-169, Jan 2018.

OLSEN, L. A.; NICOLL, J. X.; FRY, A. C. The skeletal muscle fiber: a mechanically sensitive cell. *Eur J Appl Physiol*, v. 119, n. 2, p. 333-349, Feb 2019.

PETERSON, M. D.; RHEA, M. R.; ALVAR, B. A. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res*, v. 19, n. 4, p. 950-8, Nov 2005.

PITCHER, J. B.; MILES, T. S. Influence of muscle blood flow on fatigue during intermittent human hand-grip exercise and recovery. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, v. 24, n. 7, p. 471-6, Jul 1997.

REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; NARICI, M. V. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*, v. 91, n. 1, p. 116-8, Jan 2004.

ROONEY, K. J.; HERBERT, R. D.; BALNAVE, R. J. Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Med Sci Sports Exerc*, v. 26, n. 9, p. 1160-4, Sep 1994.

SALE, D. G. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev*, v. 15, p. 95-151, 1987.

SALE, D. G. et al. Neuromuscular function in weight-trainers. *Exp Neurol*, v. 82, n. 3, p. 521-31, Dec 1983.

SCHOENFELD, B. J. et al. Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. *Eur J Appl Physiol*, v. 114, n. 12, p. 2491-7, Dec 2014.

SCHOENFELD, B. J. et al. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res*, v. 29, n. 10, p. 2954-63, Oct 2015.

SCHOTT, J.; MCCULLY, K.; RUTHERFORD, O. M. The role of metabolites in strength training. II. Short versus long isometric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 71, n. 4, p. 337-41, 1995.

SEGAL, N. A. et al. Correcting for fat mass improves DXA quantification of quadriceps specific strength in obese adults aged 50-59 years. *J Clin Densitom*, v. 12, n. 3, p. 299-305, Jul-Sep 2009.

SENIAM. http://seniam.org/sensor_location.htm. Acesso em: 20 April.

SIMAO, R. et al. Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercise in women. *J Strength Cond Res*, v. 21, n. 1, p. 23-8, Feb 2007.

STONE, M. H. et al. Training to Muscular Failure: Is it Necessary? . *Strength Cond J*, v. 18, p. 4, 1996.

SUNDSTRUP, E. et al. Muscle activation strategies during strength training with heavy loading vs. repetitions to failure. *J Strength Cond Res*, v. 26, n. 7, p. 1897-903, Jul 2012.

TOMELERI, C. M. et al. Resistance training improves inflammatory level, lipid and glycemic profiles in obese older women: A randomized controlled trial. *Exp Gerontol*, v. 84, p. 80-87, Nov 2016.

VOET, N. B. et al. Strength training and aerobic exercise training for muscle disease. *Cochrane Database Syst Rev*, n. 7, p. CD003907, 2013.

WEST, D. W. et al. Human exercise-mediated skeletal muscle hypertrophy is an intrinsic process. *Int J Biochem Cell Biol*, v. 42, n. 9, p. 1371-5, Sep 2010.

WILLARDSON, J. M. The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *J Strength Cond Res*, v. 21, n. 2, p. 628-31, May 2007.

ZATSIORSKY, V. M.; KRAEMER, W. J. Science and practice of strength training. Champaign: Human Kinetics; 2006.

11. ANEXOS

11.1. Artigo submetido

Journal of Sports Sciences

Resistance training to muscle failure versus volitional interruption: effects on muscle mass, strength, activation and architecture in trained individuals

--Manuscript Draft--

Full Title:	Resistance training to muscle failure versus volitional interruption: effects on muscle mass, strength, activation and architecture in trained individuals
Manuscript Number:	RJSP-2019-0069
Article Type:	Original Manuscript
Keywords:	concentric failure; neuromuscular adaptations; muscle cross-sectional area; electromyography; fatigue.
Abstract:	<p>The aim of the study was to compare the effect of resistance training (RT) performed to muscle failure (RT-F) or volitional interruption (RT-V) on muscle mass, strength and activation in trained individuals. Thigh lean mass (TLM), vastus lateralis muscle cross-sectional area (CSA), architecture and 1-RM were assessed at baseline (Pre) and after ten (Post) RT weeks. EMG amplitude assessment was performed after 10W RT. All protocols were similarly effective in increasing from pre- to post-training TLM (RT-F: 6371.7±629.7 kg to 6867.7±657.82 kg, RT-V: 6401.1±587.8 kg to 6798.4±610.0; P<0.0001) and CSA (RT-F: 32.9±5.3 cm² to 37.16±5.6 cm², RT-V: 33.1±5.8 cm² to 37.5±6.6 cm²; P<0.0001). Both protocols showed significant increases in 1-RM values from pre- to post-training for 45° leg press (RT-F: 237.5±21.6 kg to 290.0±40.24 kg, RT-V: 237.5±32.9 kg to 299.93±41.4 kg; P<0.0001), leg extension (RT-F: 55.57±8.6 kg to 73.2±9.8 kg, RT-V: 56.3±9.5 kg to 73.8±8.4 kg; P<0.0001), and leg flexion (RT-F: 53.5±8.0 kg to 64.3±6.4 kg, RT-V: 51.57±7.9 kg to 63.2±6.8 kg; P<0.0001). EMG amplitude showed no significant differences between protocols (P>0.05). In conclusion, RT to muscle failure or volitional interruption are equally effective in promoting increases in muscle hypertrophy, pennation angle, fascicle length, strength and activation.</p>
Order of Authors:	Natalia Santanielo, MSc. Sanmy Rocha Nobrega, MSc. Maíra Scarpelli, MSc. Gabriele Biscegli Otoboni Ieda Fernanda Alvarez Lucas Pintanel Cleiton Augusto Libardi, PhD

1 **Resistance training to muscle failure versus volitional interruption: effects on**
2 **muscle mass, strength, activation and architecture in trained individuals**

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24 Word count: 3877

25

26 **Abstract**

27 The aim of the study was to compare the effect of resistance training (RT) performed to
28 muscle failure (RT-F) or volitional interruption (RT-V) on muscle mass, strength and
29 activation in trained individuals. Thigh lean mass (TLM), vastus lateralis muscle cross-
30 sectional area (CSA), architecture and 1-RM were assessed at baseline (Pre) and after
31 ten (Post) RT weeks. EMG amplitude assessment was performed after 10W RT. All
32 protocols were similarly effective in increasing from pre- to post-training TLM (RT-F:
33 6371.7±629.7 kg to 6867.7±657.82 kg, RT-V: 6401.1±587.8 kg to 6798.4±610.0;
34 P<0.0001) and CSA (RT-F: 32.9±5.3 cm² to 37.16±5.6 cm², RT-V: 33.1±5.8 cm² to
35 37.5±6.6 cm²; P<0.0001). Both protocols showed significant increases in 1-RM values
36 from pre- to post-training for 45° leg press (RT-F: 237.5±21.6 kg to 290.0±40.24 kg,
37 RT-V: 237.5±32.9 kg to 299.93±41.4 kg; P<0.0001), leg extension (RT-F: 55.57±8.6 kg
38 to 73.2±9.8 kg, RT-V: 56.3±9.5 kg to 73.8±8.4 kg; P<0.0001), and leg flexion (RT-F:
39 53.5±8.0 kg to 64.3±6.4 kg, RT-V: 51.57±7.9 kg to 63.2±6.8 kg; P<0.0001). EMG
40 amplitude showed no significant differences between protocols (P>0.05). In conclusion,
41 RT to muscle failure or volitional interruption are equally effective in promoting
42 increases in muscle hypertrophy, pennation angle, fascicle length, strength and
43 activation.

44 **Key words:** concentric failure, neuromuscular adaptations, muscle cross-sectional area,
45 electromyography, fatigue.

46

47 **Introduction**

48 Resistance training (RT) is a potent stimulus to increase muscle cross-sectional area
49 (i.e., muscle hypertrophy), muscle strength (ACSM, 2009) and to promote changes in
50 muscle architecture (e.g., increases in muscle fiber pennation angle [PA] and fascicle
51 length [LF]) (Angleri, Ugrinowitsch, & Libardi, 2017; Nobrega, Ugrinowitsch, Pintanel,
52 Barcelos, & Libardi, 2018; Voet et al., 2013). It has been suggested that performing RT
53 to muscle failure (RT-F) (i.e., the incapacity to perform the next concentric muscular
54 action in the appropriate range of motion) can maximize these neuromuscular
55 adaptations (Drinkwater et al., 2005; Rooney, Herbert, & Balnave, 1994; Schott,
56 McCully, & Rutherford, 1995), due to greater increase in recruitment of motor units
57 (MUs) when compared with non-failure (Willardson, 2007). In fact, it has been
58 demonstrated that RT-F (~21.5 repetitions) results in greater muscle activation (i.e.,
59 electromyographic [(EMG)] amplitude) when compared with a non-failure protocol (8
60 repetitions) of same intensity in trained individuals (Looney et al., 2016). On the other
61 hand, Sundstrup et al. (2012) showed an EMG amplitude plateau between 3-5
62 repetitions before muscle failure in untrained individuals. Collectively these findings
63 suggest that for the same intensity, the more distant from muscle failure, lower may be
64 the muscular activation during the RT. Assuming that the number of repetitions and
65 fatigue are correlated (Dankel et al., 2017; Nobrega, et al., 2018), it is plausible to
66 suggest that RT performed close to muscle failure, which is already capable of inducing
67 substantial fatigue, would be sufficient to promote muscle activation, muscle strength
68 gains and hypertrophy similar to RT-F even in trained individuals.

69 In this sense, RT performed until volitional interruption (RT-V) (i.e., repetitions
70 are performed to the point in which subjects voluntarily interrupted the exercise prior to
71 muscle failure) could be a viable way to generate fatigue without reaching the point of

72 muscle failure (Nobrega, et al., 2018). Nobrega, et al. (2018) showed similar muscle
73 activation, muscle hypertrophy and strength between RT-F and RT-V for untrained
74 individuals. However, to date the effects of RT-V on muscle mass and strength of
75 trained individuals remain unknown. Importantly, RT-V could be an interesting strategy
76 for trained individuals, since it has been hypothesized that performing RT-F for
77 prolonged periods of time may increase the risk of musculoskeletal injury (Stone,
78 Chandler, Conley, Kramer, & Stone, 1996) and blood pressure peaks (MacDougall,
79 Tuxen, Sale, Moroz, & Sutton, 1985).

80 Therefore, the aim of the present study was to compare the effects of RT-F and
81 RT-V on muscle mass, strength and activation of trained individuals. Secondly, we
82 compared their effect on muscle architecture (pennation angle [PA] and fascicle length
83 [FL]). The hypothesis of the present study was that RT-F would show similar gains in
84 muscle mass, strength, activation and changes in architecture when compared with RT-
85 V.

86

87 **Methods**

88 **Participants**

89 Eighteen trained men (age: 24.1 ± 2.3 years, height: 172.8 ± 5.6 cm, body mass: $74.9 \pm$
90 6.7 kg, RT experience: 5.8 ± 3.0 years) volunteered to participate in this study. Subjects
91 had trained their lower limbs for at least 2 years with a frequency of two times per week
92 prior to recruitment. Besides being deemed as resistance trained, subjects had to: (1) be
93 free from using anabolic steroids; (2) be free from musculoskeletal disorders or risk
94 factors as assessed by the PAR-Q Questionnaire; (3) perform 45° leg press, leg
95 extension and leg flexion exercises in their RT routines. All of the assessments were
96 performed at the same time of the day. Additionally, subjects were advised to maintain

97 their eating habits and to not consume any other nutritional supplement beside those
98 provided by the principal investigator after each RT session (30g Iso Whey Protein,
99 strawberry flavor – Max Titanium – Brazil). Participants signed a consent form, the
100 study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and ethical
101 approval was granted by the University’s ethics committee (opinion number:
102 1.852.589).

103

104 **Study design**

105 Initially, participants visited the laboratory to perform assessments in thigh lean mass
106 (TLM), vastus lateralis (VL) muscle cross-sectional area (CSA) and architecture
107 variables (i.e., pennation angle [PA], fascicle length [FL]). Next, familiarization with
108 the 1-RM test and exercise protocols with the 45° leg press (NK-5070; NakaGym,
109 Diadema, SP, Brazil), leg extension (NK-5060; NakaGym, Diadema, SP, Brazil) and
110 leg flexion (Flexor Premium; Fisiomaq Fitness Technology, Rio Negro, PR, Brazil)
111 exercises were performed. Seventy-two hours later, a new 1-RM test was performed. If
112 1-RM values differed more than 5% from the previous test, a subsequent test was
113 performed after 72h (Levinger et al., 2009). On average, each participant performed
114 three 1-RM tests. To reduce intersubjects variability, each participant’s leg was
115 allocated in a randomized design to one of the two training protocols: RT-F or RT-V,
116 for a total of 18 legs in each group. After five weeks of training (5W), 1-RM was
117 reassessed to adjust training load. Training protocols were performed for 10 weeks
118 (Post). 72h following the last training session, TLM, muscle CSA, muscle architecture,
119 and 1-RM tests were re-assessed. Additionally, 72 hours after the final 1-RM test, VL
120 muscle activation was assessed through EMG, in which subjects performed their
121 respective training protocol in the leg extension machine only.

122 **Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA)**

123 Thigh lean mass (TLM) was determined by a total body DXA (Hologic, Inc., Waltham,
124 MA, USA) scan. Subjects laid supine on the scanning bed. Thigh fat and TLM were
125 determined by redefining the region of interest using the manufacturer's body
126 composition analysis software Hologic APEX 3.2. The delineation in region of interest
127 for the thigh was done manually using previously reported borders from the femoral
128 neck to the knee joint (Segal, Glass, Baker, & Torner, 2009). Briefly, the upper limit of
129 the region was defined as the lowest point of the ischial tuberosity, the lower limit was
130 defined as the superior border of the patella, and the pubic symphysis and the most
131 lateral aspect of the thigh were used as the medial and lateral limits, respectively. The
132 adjusted lean mass was calculated as follows: Lean mass = Bone mineral - fat free mass.
133 The coefficient of variation (CV) and typical error for TLM assessments were 0.88%
134 and 58.13 g, respectively.

135

136 **Muscle cross-sectional area (CSA)**

137 The CSA was obtained through an ultrasound imaging (US) unit following the
138 procedures described in our previously published validation study (Lixandrão et al.,
139 2014). Subjects were instructed to abstain from vigorous physical activities for at least
140 72h prior to each CSA assessment (Damas et al., 2016; Newton, Morgan, Sacco,
141 Chapman, & Nosaka, 2008). Before the acquisition of images, subjects laid in a supine
142 position for 20 minutes to ensure fluid redistribution. A B-mode US, with a linear probe
143 set at 7.5 MHz (Samsung, MySono U6, São Paulo, Brazil), was used to acquire the
144 images. Water-soluble transmission gel was applied in the area where the images were
145 obtained, ensuring acoustic coupling without compressing the epidermis. The point
146 corresponding to 50% of the distance between the greater trochanter and the lateral

147 epicondyle of the femur was used for the acquisition of CSA images. Images were
148 acquired in the sagittal plane. To guide the displacement of the probe, the skin was
149 transversely marked at intervals of 2 cm. Sequential images of the VL muscle started at
150 the point of alignment of the upper edge of the probe with the most medial skin mark
151 (over the rectus femoris muscle) and ended at the lateral aspect of the thigh. Images
152 were recorded every 2 cm. Then, the sequence of images was opened in Power Point
153 (Microsoft, USA), manually rotated to reconstruct the entire fascia of VL muscle, and
154 saved as a new figure file. Figure files were opened in the ImageJ software and the
155 “polygonal” function was used to determine VL CSA. ImageJ “polygonal” functional
156 was calibrated using a known distance marked in the US unit. The CV and the typical
157 error of CSA measures were 0.84% and 0.28 cm², respectively.

158

159 **Maximal dynamic strength test**

160 Unilateral 1-RM tests in the 45° leg press, leg extension and leg flexion machines were
161 performed following the recommendations described by Brown and Weir (2001).
162 Initially, subjects warmed up for 5 minutes on a cycle ergometer at 20 km·h⁻¹. Then,
163 subjects performed eight repetitions at 50% of the estimated 1-RM, followed by three
164 repetitions at 70% of the estimated 1-RM, with a rest interval of 2 minutes between sets.
165 Following warm up, subjects initiated the 1-RM test. Up to five attempts were allowed,
166 with a rest interval of 3 minutes between attempts. The coefficient of variation and the
167 typical error for the 45° leg press, leg extension and leg flexion 1-RM tests were 1.45%
168 and 3.12 kg, 2.01% and 1.13 kg, and 2.34% and 1.25 kg.

169

170 **Muscle activation**

171 Activation of the vastus lateralis (VL) muscle was assessed by the amplitude of the
172 EMG signal. Initially, subjects performed a maximal voluntary isometric contraction
173 (MVIC) test. Prior to electrodes placement, subjects were prepared by shaving the
174 desired area, followed by skin abrasion and skin cleansing with isopropyl alcohol to
175 ensure low skin impedance. Self-adhesive disposable electrodes were then placed over
176 the VL muscle according to Seniam (2016), with an inter-electrode distance of 2 cm. A
177 reference electrode was fixed on the opposite ankle. For better stability, micropore tape
178 was applied over the electrodes. Following a 5 minutes warm-up on a cycle ergometer
179 at 20 km·h⁻¹, subjects were positioned in a leg extension machine with knees fixed at
180 90° of knee flexion. The leg extension machine arm was locked at 90°. Subjects were
181 asked to gradually build force and hold it for three seconds at maximal force. Three
182 trials were performed, with 1-minute rest between trials, and the highest root mean
183 square (RMS) value attained was used for normalizing EMG signals. To differentiate
184 concentric and eccentric EMG signals, an electrogoniometer (EMG System, São José
185 dos Campos, SP - Brazil) was placed on the estimated center of rotation of the knee
186 joint (i.e. intercondilar line). EMG and electrogoniometer signals were acquired using
187 the EMG832C electromyographic device (EMG System, São José dos Campos, SP -
188 Brazil) and active bipolar surface electrodes with pre-amplifier gains of 20-fold and
189 common-mode rejection rate >100 db. Following electrodes placement, subjects were
190 instructed to perform the MVIC as instructed. For EMG acquisition, subjects were
191 instructed to exercise each leg following the resistance training protocols to which they
192 were allocated. In short, the legs allocated to the RT-F protocol performed sets to
193 muscular failure, while those allocated in the RT-V protocol performed sets to volitional
194 interruption. Both protocols were performed with 75% 1-RM. The loads used in the

195 EMG tests were adjusted according to the volunteers' most recent 1-RM value. The
196 training protocols are described in detail in the "resistance training protocols" section. A
197 2 minutes rest interval was allowed between sets. Signals were collected at 1000 Hz and
198 filtered with an eighth order Butterworth bandpass filter set at 20–500 Hz. Data
199 processing was performed off-line using a custom MATLAB routine (MathWorks®,
200 Natick, MA). Initially, EMG data was normalized using MVIC data. Following data
201 normalization, the beginning and ending of each repetition was manually identified on
202 the MATLAB routine for each set. Minimal and maximal angle values were used to
203 define the end of the eccentric and concentric phases, respectively. The muscle
204 activation was calculated using the mean RMS of the EMG signal of the concentric
205 phase of the last three repetitions.

206

207 **Pennation angle (PA) and fascicle length (FL)**

208 PA and FL of the VL muscle were measured at the same time and site of the CSA
209 acquisition, with the probe oriented longitudinally to the muscle belly. The PA was
210 defined as the angle formed between the intersection of a fascicle and the deep
211 aponeurosis. FL was defined as the distance from fascicle origin in the deep aponeurosis
212 to insertion in the superficial aponeurosis. The mean value of three images was used to
213 determine PA and FL using the "Angle" tool (Scanlon et al., 2014) and "Straight" tool
214 (Erskine, Jones, Maganaris, & Degens, 2009), respectively, of the ImageJ software
215 (1.50b). The CV and typical error for PA and FL assessments were 0.79% and 0.18°,
216 and 0.81% and 0.05 cm, respectively.

217

218 **Resistance training protocols**

219 RT protocols were performed unilaterally using conventional leg press, leg extension
220 and leg flexion machines, twice a week for 10 weeks (20 training sessions). Before the
221 beginning of the study, subjects reported their weekly RT volume (i.e., total number of
222 sets per muscle group) for the quadriceps (Sets: 19.1 ± 8.5 , range 7-42) and hamstrings
223 (Sets: 8.0 ± 4.6 , range 7-20). Based on individual reports, each participant had their
224 weekly RT volume increased by 20% to ensure similar progression in training. Weekly
225 RT volume of the quadriceps was equally distributed between the 45° leg press (Sets:
226 11.5 ± 5.1 , range 4-25) and leg extension (Sets: 11.6 ± 5.2 , range 4-25) machine, and
227 hamstrings were trained on the leg flexion (Sets: 9.6 ± 5.5 , range 4-24) machine. Prior
228 to each RT session, subjects performed a general warm-up on a cycle ergometer (Ergo-
229 Fit®, Pirmasens, Rheinland-Pfalz, Germany) pedaling at $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ for 5 minutes. A 2
230 minutes rest interval was allowed between each leg. For the RT-F protocol, repetitions
231 were performed at 75% 1-RM to the point of inability to complete a repetition with full
232 range of motion (i.e., 90 degrees) (Jenkins et al., 2015; Schoenfeld, Peterson, Ogborn,
233 Contreras, & Sonmez, 2015), as evaluated by researchers familiar with the protocol. For
234 the RT-V protocol, repetitions were performed at 75% 1-RM to the point in which
235 subjects voluntarily interrupted the exercise (Nobrega, et al., 2018; Pitcher and Miles,
236 1997) prior to muscular failure. Thus, all subjects were previously instructed on the
237 criteria for RT-F and RT-V protocols.

238

239 **Decrease in Number of Repetitions (Nrep) and Mean Nrep per RT session**

240 The decrease in Nrep between protocols was calculated as the relative difference
241 between the first and last set (decrease in Nreps = first set – last set; / first sets)
242 performed at each exercise.

243 To calculate the mean number of repetitions (Nrep) per RT session, all
244 repetitions performed throughout the study period were summed and posteriorly divided
245 by the number of sessions performed per participant for each exercise. The data analysis
246 was conduct using the area under the curve (AUC) of the number of repetitions of each
247 of the RT sessions.

248

249 **Statistical analysis**

250 After visual inspection of the data, a Shapiro-Wilk test was performed to verify data
251 normality. T-tests were implemented to compare baseline values between-protocols
252 (RT-F or RT-V) for the dependent variables (TLM, AST, 1-RM, AP and FL). Then, a
253 mixed model with protocols and time as fixed factors and subjects as random factor was
254 performed for each dependent variable to compare training effects over time. If the F
255 value was significant, Tukey's adjustments were applied for multiple comparisons.
256 Additionally, Paired samples t-tests were used to compare differences in EMG, %
257 decrease in Nrep, AUC of mean Nrep per RT session and TTV (sets x repetitions x load
258 [kg]) between RT-F and RT-V protocols. TTV was calculated considering the whole RT
259 program. Statistical analyses were performed in the SAS 9.3 software (SAS institute
260 Inc., Cary, NC, USA) and P values were set as $P \leq 0.05$.

261

262 **Results**

263 **Participants**

264 Only participants that completed 100% of the training sessions were included. Four
265 participants did not complete all sessions or dropped out for personal reasons, thus they
266 were not included in the analyses. Fourteen subjects completed the study, for a total of n
267 = 28 legs.

268

269 **Baseline measurements**

270 There were no significant differences in baseline values ($P>0.05$) between protocols for
271 TLM (RT-F: 6371.7 ± 629.7 g, RT-V: 6401.2 ± 6798.5 g), CSA (RT-F: 32.9 ± 5.3 cm², RT-
272 V: 33.1 ± 5.8 cm²), PA (RT-F: $22.5\pm3.8^\circ$, RT-V: $23.2\pm2.6^\circ$, FL (RT-F: 5.45 ± 0.5 cm, RT-
273 V: 5.1 ± 0.47 cm) and 1-RM in the 45° leg press (RT-F: 237.5 ± 31.7 kg, RT-V:
274 237.5 ± 33.0 kg), leg extension (RT-F: 55.8 ± 8.6 kg, RT-V: 56.4 ± 9.6 kg), leg flexion
275 (RT-F: 53.6 ± 8.0 kg, RT-V: 51.6 ± 8.0 kg) and compound 1-RM values (45° leg press, leg
276 extension and leg flexion) (RT-F: 349.1 ± 36.9 kg, RT-V: 349.5 ± 37.9 kg).

277

278 **Thigh Lean Mass (TLM), muscle cross-sectional area (CSA) and muscle architecture**

279 TLM values showed significant increases from pre- to post-training for both protocols
280 (RT-F: 6371.7 ± 629.7 kg to 6867.7 ± 657.82 kg, RT-V: 6401.1 ± 587.8 kg to 6798.4 ± 610.0
281 kg, main time effect, $P<0.0001$) (Fig. 1a). CSA values also increased significantly for
282 both protocols from pre- to post-training (RT-F: 32.9 ± 5.3 cm² to 37.1 ± 5.6 cm², RT-V:
283 33.1 ± 5.8 cm² to 37.5 ± 6.6 cm², main time effect, $P<0.0001$) (Fig. 1b). Regarding PA,
284 protocols showed significant increases from pre- to post-training (RT-F: $22.5\pm3.8^\circ$ to
285 $25.5\pm3.8^\circ$, RT-V: $23.1\pm2.5^\circ$ to $26.0\pm2.9^\circ$, main time effect, $P<0.0001$) (Fig. 1c). FL
286 values also increased significantly from pre- to post-training for the protocols (RT-F:
287 5.45 ± 0.53 cm to 6.0 ± 0.5 cm, RT-V: 5.5 ± 0.47 cm to 6.0 ± 0.6 cm, main time effect,
288 $P<0.0001$) (Fig. 1d). No significant differences between protocols were found ($P>0.05$)
289 in the assessed variables.

290

291 - PLEASE INSERT FIGURE 1 HERE -

292

293 **Maximum dynamic strength (1-RM)**

294 Both protocols showed significant increases in 1-RM values from pre- to post-training
295 for 45° leg press (RT-F: 237.5±21.6 kg to 290.0±40.24 kg, RT-V: 237.5±32.9 kg to
296 299.93±41.4 kg, main time effect, $P<0.0001$) (Fig. 2a), leg extension (RT-F: 55.57±8.6
297 kg to 73.2±9.8 kg, RT-V: 56.3±9.5 kg to 73.8±8.4 kg, main time effect, $P<0.0001$) (Fig.
298 2b) and leg flexion (RT-F: 53.5±8.0 kg to 64.3±6.4 kg, RT-V: 51.57±7.9 kg to 63.2±6.8
299 kg, main time effect, $P<0.0001$) (Fig. 2c). Compound 1-RM values (45° leg press, leg
300 extension and leg flexion) significantly increased from pre- to post-training (RT-F:
301 349.1±36.9 kg to 431.0± 39.9 kg, RT-V: 349.5±37.9 kg to 440.4±42.5 kg, main time
302 effect, $P<0.0001$) (Fig. 2d). No significant differences were detected between protocols
303 ($P>0.05$).

304

305 - PLEASE INSERT FIGURE 2 HERE -

306

307 **Muscle activation**

308 No significant differences in peak EMG amplitude ($P>0.05$) were detected between RT-
309 F and RT-V protocols (92.2±24.9%, 100.3±25.6%, respectively) (Fig. 3).

310

311 - PLEASE INSERT FIGURE 3 HERE -

312

313 **Decrease in Number of Repetitions (Nrep) and Mean Nrep per session**

314 RT-F protocol resulted in larger decreases in Nrep compared with the RT-V protocol for
315 45° leg press (RT-F: 44%, RT-V: 25.4%, main group effect, $P=0.01$) (Fig. 4a) and leg
316 extension (RT-F: 18.1%, RT-V: 11%, main group effect, $P=0.03$) (Fig. 4b). Regarding
317 leg flexion, no significant differences ($P>0.05$) were detected between protocols (Fig.

318 4c). Compound Nrep decrease was significantly different for the RT-F protocol
319 compared with the RT-V (RT-F: 33.3%, RT-V: 20%, main group effect, P=0.006) (Fig.
320 4d).

321

322 - PLEASE INSERT FIGURE 4 HERE -

323

324 Mean Nrep per RT session was significantly higher for RT-F compared with RT-V for
325 45° leg press (RT-F: 13.3±0.7 and RT-V: 10.9±0.9, main group effect, P=0.03) (Fig.
326 5a). No significant differences were detected between protocols (P>0.05) for leg
327 extension (RT-F: 10.7±2.9 and RT-V: 9.9±2.5) (Fig. 5b), leg flexion (RT-F: 8.3 ± 2.7
328 and RT-V: 7.3±2.9) (Fig 5c) and compound values (RT-F: 32.11±1.34 and RT-V:
329 26.04±1.82) (Fig. 5d).

330

331 - PLEASE INSERT FIGURE 5 HERE -

332

333 **Total training volume (TTV)**

334 No significant differences in TTV (P>0.05) were detected between protocols for 45° leg
335 press (RT-F: 277.5±140.6 tons vs. RT-V: 261.7±174.6 tons), leg extension (RT-F:
336 56.4±34.9 tons vs. RT-V: 53.7±34.7 tons), leg flexion (RT-F: 31.5±19.36 tons vs. RT-
337 V: 26.6±16.9 tons) and compound TTV values (RT-F: 365.4±185.8 tons vs. RT-V:
338 322.0±218.8 tons).

339

340 **Discussion**

341 To the best of our knowledge, this is the first study to compare the effects of RT-F and
342 RT-V protocols on neuromuscular adaptations of trained individuals. Our main results

343 show similar adaptations in muscle hypertrophy, strength and activation between
344 protocols, confirming our initial hypothesis.

345 Studies suggest that the rise in EMG amplitude can be attributed to increased
346 motor unit recruitment as a compensatory mechanism for sustaining contractile force as
347 fatigue accumulates (Smilios, Hakkinen, & Tokmakidis, 2010; Stock, Beck, &
348 Defreitas, 2012). Therefore, muscle failure could lead to greater UMs recruitment,
349 promoting greater muscle hypertrophy (Fisher et al., 2011; Morton et al., 2016) and
350 strength gains (Nobrega and Libardi, 2016). In fact, Drinkwater et al. (2005) and
351 Looney et al. (2016) studies showed significantly greater results (muscle strength and
352 EMG amplitude, respectively) for muscle failure compared with no failure protocol. For
353 instance, Looney, et al. (2016) showed that when protocols are performed far from
354 muscle failure (8 repetitions), EMG amplitude is smaller compared with protocols
355 performed to muscle failure (~21.5 repetitions). However, our results show otherwise,
356 as we observed similar increases in EMG, CSA and 1-RM values, regardless of the
357 training protocol (i.e., failure or volitional interruption). The differences between results
358 of the studies above and our own may be related to different fatigue levels among the
359 RT protocols (failure vs. volitional interruption or failure vs. no failure). Even though
360 the RT-V protocol did not reach muscle failure, a 20% decrease in Nrep was found
361 between the first and last set of training session, which could indicate that the fatigue
362 generated was substantial (Fig. 4). Importantly, RT-F showed a trend of greater
363 decrease in the Nrep (33.3%) (Fig. 4d), but no significant difference compared to RT-V.
364 Nonetheless, we can say that the training protocols are distinct, since RT-F resulted in
365 significantly higher mean Nrep per RT session for 45° leg press (Fig. 5a) when
366 compared with RT-V. Additionally, the RT-F group presented a tendency for higher
367 mean Nrep in the other exercises (i.e. leg extension, leg flexion and compound mean

368 number of repetitions) (Fig. 5b, 5c. and 5d), compared with the RT-V group.
369 Accordingly, our results are in line with evidence showing that EMG amplitude can be
370 maximized without the need to perform repetitions to failure in untrained in strength
371 individuals. Sundstrup (2012) found in untrained women that maximal EMG amplitude
372 of the muscles involved in lateral raise was achieved 3-5 repetitions before muscular
373 failure. Nobrega (2018) also showed that two experimental high-intensity RT protocols
374 (i.e., RT-F vs. RT-V) did not present significant differences in EMG amplitude,
375 hypertrophy and muscular strength after a 12 weeks period of RT, in individuals
376 untrained in strength.

377 Besides EMG, another variable that may explain the similar gains in
378 hypertrophy and muscle strength are the changes in muscle architecture (i.e., muscle PA
379 and FL). However, few studies have investigated the adaptations in muscle architecture
380 following a training intervention in trained individuals. In the present study, RT-F and
381 RT-V protocols showed increases in PA (13.7% and 12.4%, respectively) (Fig. 1c) and
382 FL (12.7% and. 10.4%, respectively) (Fig. 1d) after 10 weeks of training. Our results
383 are in line with the study of Angleri et al. (2017), which showed that drop-set, crescent
384 pyramid and traditional RT protocols promote similar increases in PA (10.3%, 11% and
385 10.6%, respectively) and FL (9.1%, 8.9% and 8.9%, respectively). These muscle
386 adaptations were accompanied by similar gains in muscle hypertrophy and strength,
387 allowing us to suggest that the adaptation in CSA was due to an increase in number of
388 sarcomeres in parallel, consequentially increasing maximum force capacity (Aagaard et
389 al., 2001) in a similar way for failure and non-failure protocols.

390 In conclusion, resistance training to muscle failure or volitional interruption are
391 equally effective in promoting increases in muscle hypertrophy, strength, activation,
392 pennation angle and fascicle length.

393 **Disclosure statement**

394 The authors declare that the results of the study are presented clearly, honestly, and
395 without fabrication, falsification, or inappropriate data manipulation. The authors
396 declare no conflicts of interest.

397

398 **References**

- 399 Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A.,
400 Magnusson, S. P., . . . Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased
401 contractile strength of human pennate muscle in response to strength training:
402 changes in muscle architecture. *J Physiol*, 534(Pt. 2), 613-623.
- 403 ACSM. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci*
404 *Sports Exerc*, 41(3), 687-708.
- 405 Angleri, V., Ugrinowitsch, C., & Libardi, C. A. (2017). Crescent pyramid and drop-set
406 systems do not promote greater strength gains, muscle hypertrophy, and changes on
407 muscle architecture compared with traditional resistance training in well-trained
408 men. *Eur J Appl Physiol*, 117(2), 359-369.
- 409 Brown, L. E., & Weir, J. P. (2001). ASEP procedures recommendation I: accurate
410 assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol Online*, 4(3), 1-21.
- 411 Damas, F., Phillips, S. M., Lixandrao, M. E., Vechin, F. C., Libardi, C. A., Roschel, H.,
412 . . . Ugrinowitsch, C. (2016). Early resistance training-induced increases in muscle
413 cross-sectional area are concomitant with edema-induced muscle swelling. *Eur J*
414 *Appl Physiol*, 116(1), 49-56.
- 415 Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Counts, B.
416 R., . . . Loenneke, J. P. (2017). Frequency: The Overlooked Resistance Training
417 Variable for Inducing Muscle Hypertrophy? *Sports Med*, 47(5), 799-805.

418 Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., Lindsell, R. P., Pyne, D. B., Hunt, P. H., & McKenna,
419 M. J. (2005). Training leading to repetition failure enhances bench press strength
420 gains in elite junior athletes. *J Strength Cond Res*, 19(2), 382-388.

421 Erskine, R. M., Jones, D. A., Maganaris, C. N., & Degens, H. (2009). In vivo specific
422 tension of the human quadriceps femoris muscle. *Eur J Appl Physiol*, 106(6), 827-
423 838.

424 Fisher, C. G., Vaccaro, A. R., Whang, P. G., Prasad, S. K., Angevine, P. D., Mulpuri,
425 K., . . . Patel, A. A. (2011). Evidence-based recommendations for spine surgery.
426 *Spine (Phila Pa 1976)*, 36(14), E897-903.

427 Jenkins, N. D., Housh, T. J., Bergstrom, H. C., Cochrane, K. C., Hill, E. C., Smith, C.
428 M., . . . Cramer, J. T. (2015). Muscle activation during three sets to failure at 80 vs.
429 30% 1RM resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*, 115(11), 2335-2347.

430 Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D., & Selig, S. (2009). The
431 reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *J Sci Med
432 Sport*, 12(2), 310-316.

433 Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Bottaro, M., Chacon-Mikahil, M. P., Cavaglieri, C.
434 R., Min, L. L., . . . Libardi, C. A. (2014). Vastus lateralis muscle cross sectional area
435 ultrasonography validity for image-fitting in humans. *J Strength Cond*, 28(11):3293-
436 7.

437 Looney, D. P., Kraemer, W. J., Joseph, M. F., Comstock, B. A., Denegar, C. R.,
438 Flanagan, S. D., . . . Maresh, C. M. (2016). Electromyographical and Perceptual
439 Responses to Different Resistance Intensities in a Squat Protocol: Does Performing
440 Sets to Failure With Light Loads Produce the Same Activity? *J Strength Cond Res*,
441 30(3), 792-799.

442 MacDougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., Moroz, J. R., & Sutton, J. R. (1985). Arterial
443 blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* (1985), 58(3),
444 785-790.

445 Morton, R. W., Oikawa, S. Y., Wavell, C. G., Mazara, N., McGlory, C., Quadrilatero,
446 J., . . . Phillips, S. M. (2016). Neither load nor systemic hormones determine
447 resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained
448 young men. *J Appl Physiol* (1985), 121(1), 129-138.

449 Newton, M. J., Morgan, G. T., Sacco, P., Chapman, D. W., & Nosaka, K. (2008).
450 Comparison of responses to strenuous eccentric exercise of the elbow flexors
451 between resistance-trained and untrained men. *J Strength Cond Res*, 22(2), 597-607.

452 Nobrega, S. R., & Libardi, C. A. (2016). Is Resistance Training to Muscular Failure
453 Necessary? *Front Physiol*, 7, 10.

454 Nobrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Pintanel, L., Barcelos, C., & Libardi, C. A. (2018).
455 Effect of Resistance Training to Muscle Failure vs. Volitional Interruption at High-
456 and Low-Intensities on Muscle Mass and Strength. *J Strength Cond Res*, 32(1), 162-
457 169.

458 Pitcher, J. B., & Miles, T. S. (1997). Influence of muscle blood flow on fatigue during
459 intermittent human hand-grip exercise and recovery. *Clin Exp Pharmacol Physiol*,
460 24(7), 471-476.

461 Rooney, K. J., Herbert, R. D., & Balnave, R. J. (1994). Fatigue contributes to the
462 strength training stimulus. *Med Sci Sports Exerc*, 26(9), 1160-1164.

463 Scanlon, T. C., Fragala, M. S., Stout, J. R., Emerson, N. S., Beyer, K. S., Oliveira, L. P.,
464 & Hoffman, J. R. (2014). Muscle architecture and strength: adaptations to short-term
465 resistance training in older adults. *Muscle Nerve*, 49(4), 584-592.

466 Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015).
467 Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and
468 Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res*, 29(10), 2954-2963.

469 Schott, J., McCully, K., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength
470 training. II. Short versus long isometric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup*
471 *Physiol*, 71(4), 337-341.

472 Segal, N. A., Glass, N. A., Baker, J. L., & Torner, J. C. (2009). Correcting for fat mass
473 improves DXA quantification of quadriceps specific strength in obese adults aged
474 50-59 years. *J Clin Densitom*, 12(3), 299-305.

475 Seniam. http://seniam.org/sensor_location.htm. Retrieved Date Accessed, 2016.

476 Smilios, I., Hakkinen, K., & Tokmakidis, S. P. (2010). Power output and
477 electromyographic activity during and after a moderate load muscular endurance
478 session. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2122-2131.

479 Stock, M. S., Beck, T. W., & Defreitas, J. M. (2012). Effects of fatigue on motor unit
480 firing rate versus recruitment threshold relationships. *Muscle Nerve*, 45(1), 100

481 Stone, M. H., Chandler, T. J., Conley, M. S., Kramer, J. B., & Stone, M. E. (1996).
482 Training to Muscular Failure: Is it Necessary? . *Strength Cond J*, 18, p 4.

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

486 Voet, N. B., van der Kooi, E. L., Riphagen, II, Lindeman, E., van Engelen, B. G., &
487 Geurts, A. C. (2013). Strength training and aerobic exercise training for muscle
488 disease. *Cochrane Database Syst Rev*(7), p CD003907.

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

491

492

493 **Figure legends**

494

495 Figure 1. Thigh Lean Mass (TLM) (a), Muscle cross-sectional area (CSA) (b),
496 Pennation Angle (PA) (c), Fascicle Length (FL) (d) measured at baseline (Pre) and after
497 10 weeks (Post) of resistance training to muscle failure (RT-F) and resistance training to
498 volitional interruption (RT-V). Values presented as mean \pm SD. *Significantly different
499 from Pre (main time effect, $P < 0.05$).

500

501 Figure 2. Maximum dynamic strength (Kg) in 45° Leg Press (LP) (a), Leg Extension
502 (LE) (b), Leg Flexion (LE) (c), and compound (LP, LE plus LF) (d) measured at
503 baseline (Pre) and after 10 weeks (Post) of resistance training to muscle failure (RT-F)
504 and resistance training to volitional interruption (RT-V). Values presented as mean \pm
505 SD. *Significantly different from Pre (main time effect, $P < 0.05$).

506

507 Figure 3. Peak EMG amplitude normalized by MVIC in unilateral Leg Extension (LE)
508 measured after 10 weeks (Post) of resistance training to muscle failure (RT-F) and
509 resistance training volitional interruption (RT-V). Values presented as mean \pm SD.

510

511 Figure 4. Decrease in number of repetitions (Nrep) in unilateral 45° leg press (LP) (a),
512 Leg Extension (LE) (b), Leg Flexion (LF) (c), and compound (LP, LE plus LF) (d)
513 measured at baseline (Pre) and after 10 weeks (Post) of resistance training to muscle
514 failure (RT-F) and resistance training to volitional interruption (RT-V). Values
515 presented as mean \pm SD. #Significantly different from RT-F protocol, $P < 0.05$.

516

517 Figure 5. Mean Number of Repetitions (Nrep) per RT session in unilateral 45° leg press
518 (LP) (a), Leg Extension (LE) (b), Leg Flexion (LF) (c), and compound (LP, LE plus LF)
519 (d) measured in 20 session of resistance training to muscle failure (RT-F) and resistance
520 training to volitional interruption (RT-V). Values presented as mean \pm SD.
521 #Significantly different from RT-F protocol, P < 0.05.

Fig.1

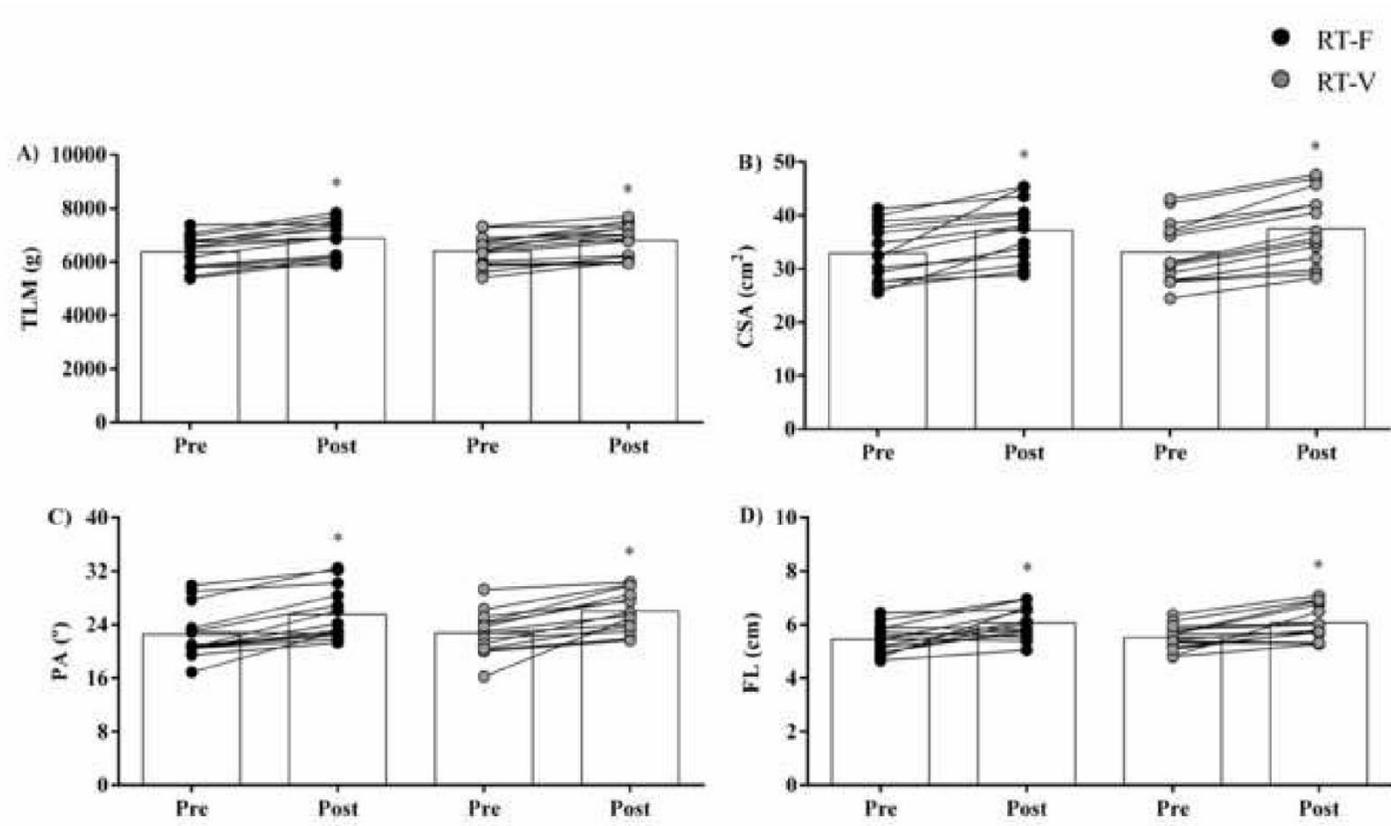


Fig.2

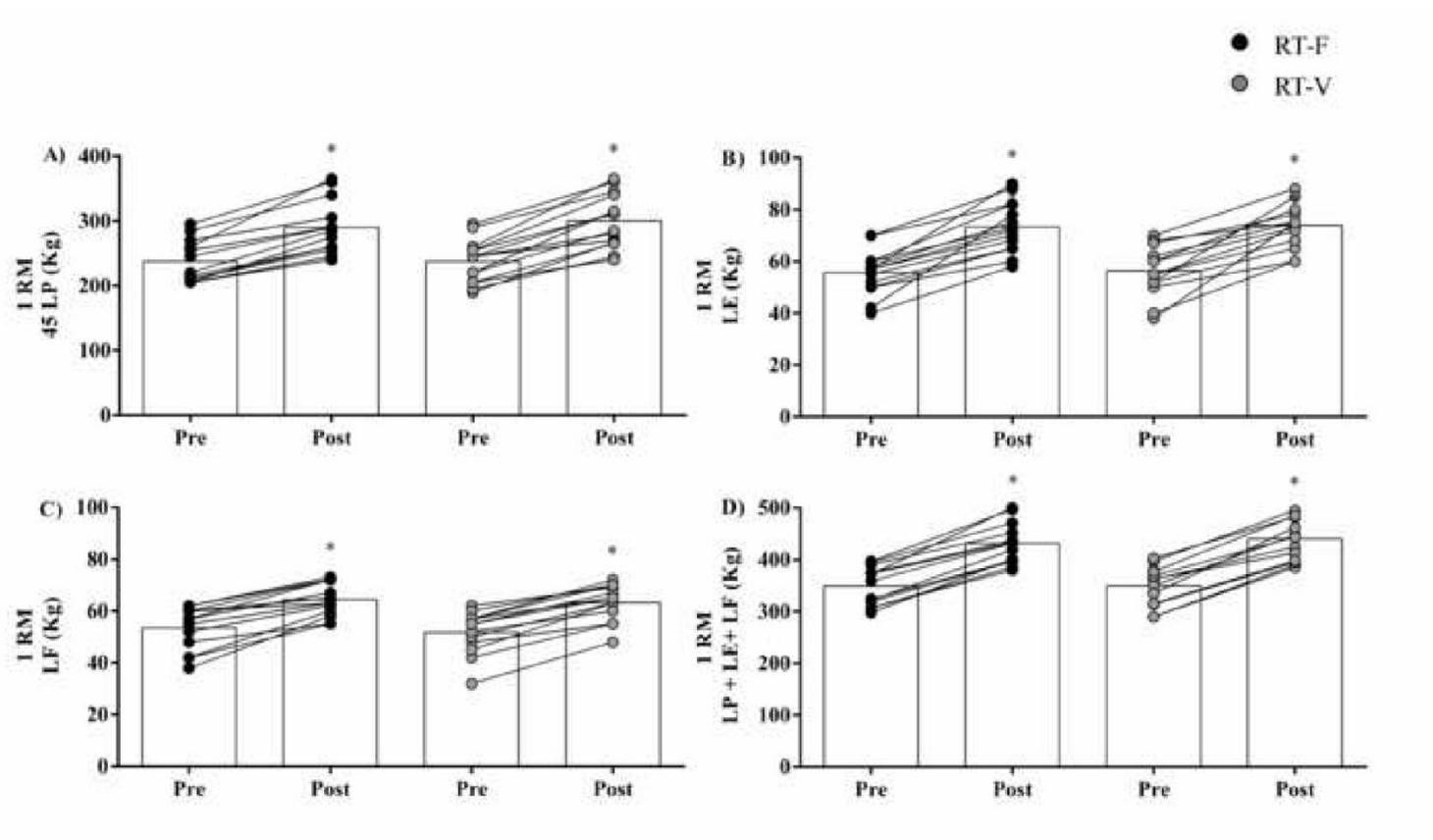


Fig.3

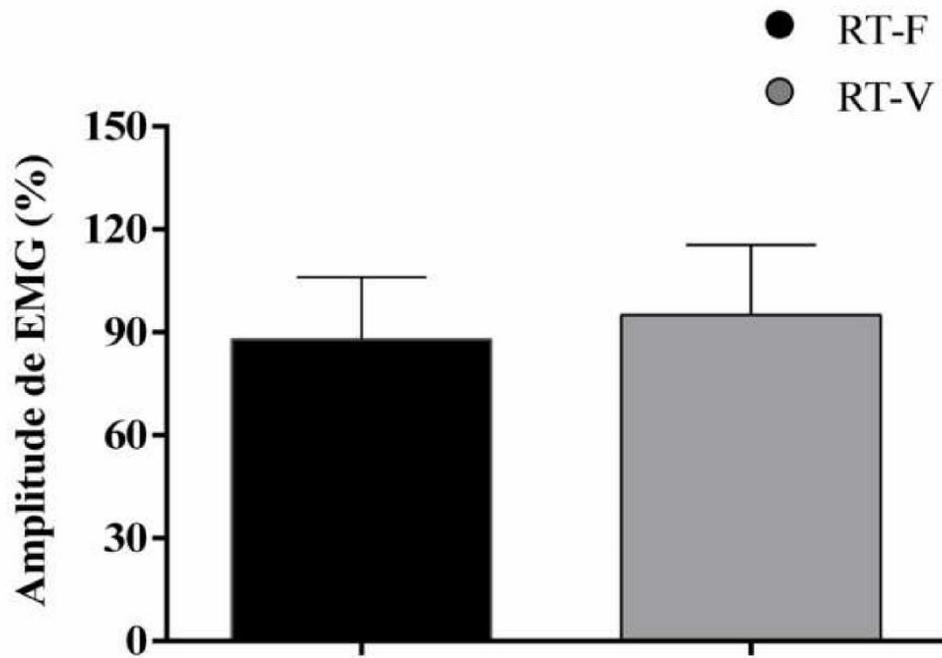
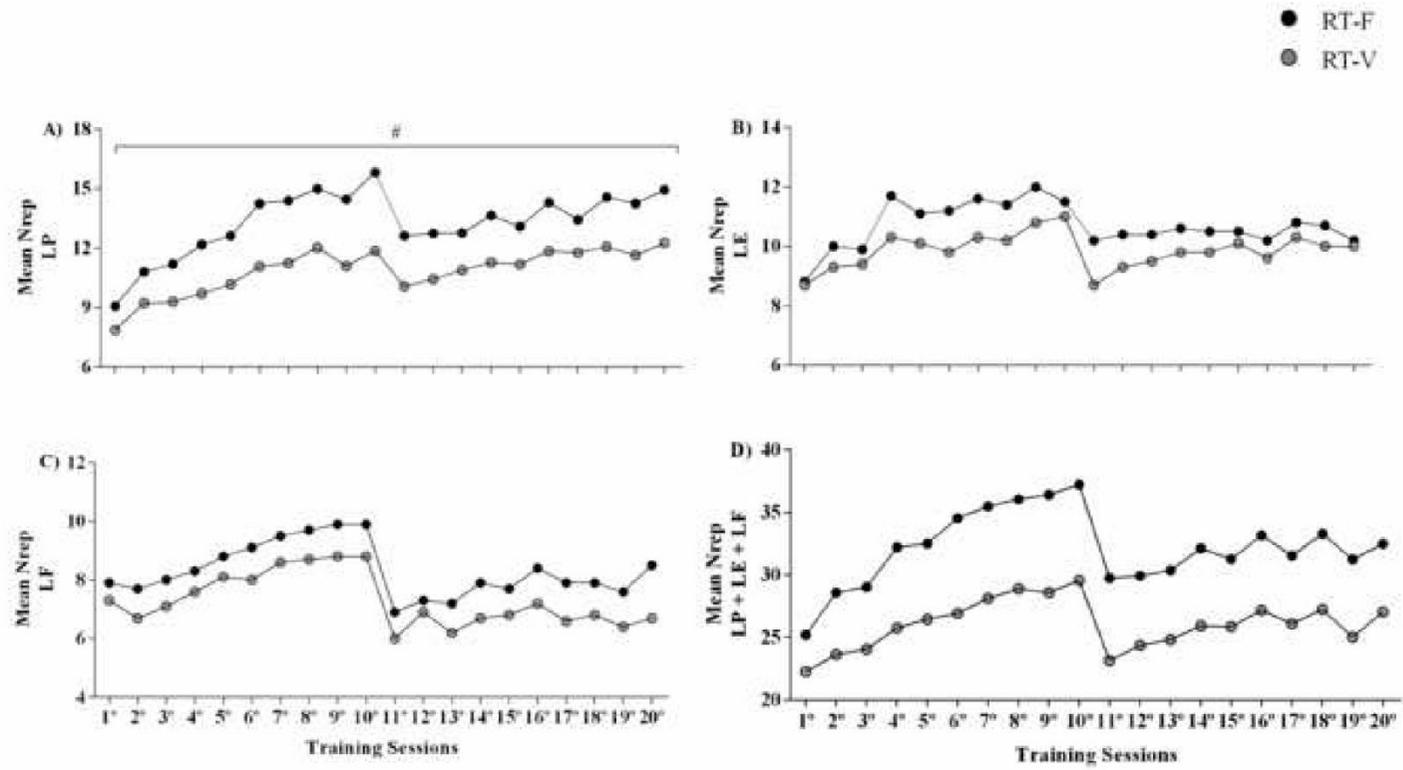


Fig.5



11.2. Resumos publicados em congresso

Natalia Santanielo; Sanmy R. Nobrega; Maíra C. Scarpelli; Gabriele B. Otoboni; Ieda F. Alvarez; Lucas Pintanel; Cleiton A. Libardi. Treinamento de força realizado até a falha muscular vs interrupção voluntária: efeitos das adaptações hipertróficas. VII Congresso brasileiro de metabolismo, nutrição e exercício, 2018, Londrina, Paraná.

Augusto Piovezan Massucato; **Natalia Santanielo**; Lucas Pintanel; Sanmy R. Nobrega; Maíra C. Scarpelli; Gabriele B. Otoboni; Cleiton A. Libardi. Comparação da ativação muscular no treinamento de força até a falha muscular e treinamento de força com interrupção voluntária em homens jovens treinados. VII Congresso brasileiro de metabolismo, nutrição e exercício, 2018, Londrina, Paraná.

Sanmy R. Nobrega; **Natalia Santanielo**; Maíra C. Scarpelli; Gabriele B. Otoboni; Ieda F. Alvarez; Lucas Pintanel; Cleiton A. Libardi. Efeito do treinamento de força de alta intensidade até a falha e interrupção voluntária na força muscular de homens treinados

Maíra C. Scarpelli; Sanmy R. Nobrega; **Natalia Santanielo**; Ieda F. Alvarez; Gabriele B. Otoboni; Cleiton A. Libardi. Efeito do volume individualizado de treinamento de força na força muscular de homens jovens treinados. VII Congresso brasileiro de metabolismo, nutrição e exercício, 2018, Londrina, Paraná.

Felipe Damas; **Natalia Santanielo**; Talisson S. Chaves; Cintia Barcelos, O C. Witard; Cleiton A. Libardi. Individual muscle hypertrophy to different resistance training variations: biological responsivity vs training modulation. International Sports & Exercise Nutrition Conference - ISENC, 2018, Inglaterra.

11.3. Parecer consubstanciado do ética e pesquisa

UFSCAR - UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeito do treinamento de força de alta e baixa intensidade realizado até falha muscular ou interrupção voluntária na ativação, força, arquitetura muscular e área de secção transversa das fibras musculares em homens treinados

Pesquisador: Natalia Santanielo Silva Magosso

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 60255716.2.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Patrocinador Principal: Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.852.589

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um estudo experimental prospectivo e intervencionista em que participarão 32 homens jovens treinados a ser desenvolvido no Laboratório de Adaptações Neuromusculares ao Treinamento de Força (LANTF), Departamento de Educação Física e Motricidade Humana (DEFMH), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Serão realizados duas sessões semanais de treinamento nos exercício leg press 45° e extensão do joelho no equipamento cadeira extensora, ambos de forma unilateral, por um período de 12 semanas, totalizando 24 sessões. Para os grupos TFAI-Vol e TFAI-Fal, os participantes realizarão 3 séries à 80% 1-RM, com intervalo de 2 minutos entre as séries. Já os grupos TFBI-Vol e TFBI-Fal realizarão o mesmo número de séries e o mesmo tempo nas pausas que os grupos de alta intensidade, porém a 30% de 1-RM. Tem como desfecho primário a Ativação muscular, o aumento na força muscular, área de secção transversa das fibras tipo I e II e do músculo vasto lateral, número de células satélites, ângulo de penação e comprimento do fascículo decorrentes do TFAI e TFBI realizados até a interrupção voluntária sejam similares às obtidas por meio do TFAI realizado até a falha muscular.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo da pesquisa será verificar o efeito do TF realizado em alta (TFAI) e baixa (TFBI)

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

CEP: 13.565-905

UF: SP **Município:** SAO CARLOS

Telefone: (16)3351-9683

E-mail: cephumanos@ufscar.br

Continuação do Parecer: 1.852.589

intensidade até a falha muscular ou interrupção voluntária na força muscular, área de secção transversa do músculo vasto lateral (ASTvl) e das fibras musculares (ASTf), número de células satélites (NCS), ângulo de penação, comprimento do fascículo e ativação muscular do músculo vasto lateral.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O pesquisador responsável descreve como riscos que "O participante será informado sobre possíveis dores musculares, desconforto ao movimentar a articulação, diminuição na amplitude de movimento dessa articulação com curta permanência, risco de lesão musculoesquelética por esforço, maiores respostas hemodinâmicas e com picos

pressóricos próximos a falha muscular." Como benefícios descreve que terá "Maximização dos ganhos de força e hipertrofia muscular, e otimização de respostas adaptativas ao treinamento"

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Projeto de pesquisa apresenta relevância para a área em questão. O cronograma aponta que a coleta de dados dará início março/2017.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto e TCLE estão de acordo com a Resolução nº466/2012. O pesquisador adequou o TCLE de acordo com as recomendações.

Recomendações:

Nada a declarar.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto adequado.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) em Seres Humanos recomenda que os pesquisadores responsáveis consultem as normas do CEP e a resolução nº 466 de 2012, disponíveis na página da Plataforma Brasil em caso de dúvidas.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_785648.pdf	08/11/2016 11:01:07		Aceito
Outros	CR.pdf	08/11/2016 10:59:38	Natalia Santanielo Silva Magosso	Aceito

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

CEP: 13.565-905

UF: SP

Município: SAO CARLOS

Telefone: (16)3351-9683

E-mail: cephumanos@ufscar.br

Continuação do Parecer: 1.852.589

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	08/11/2016 10:12:27	Natalia Santanielo Silva Magosso	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.pdf	06/09/2016 14:01:10	Natalia Santanielo Silva Magosso	Aceito
Folha de Rosto	FR.pdf	06/09/2016 13:46:52	Natalia Santanielo Silva Magosso	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO CARLOS, 28 de Novembro de 2016

Assinado por:
Priscilla Hortense
(Coordenador)

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

CEP: 13.565-905

UF: SP

Município: SAO CARLOS

Telefone: (16)3351-9683

E-mail: cephumanos@ufscar.br

11.4. Termo de consentimento livre e esclarecido (CEP)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(Resolução 466/2012 do CNS)

O Senhor está sendo convidado como voluntário a participar da pesquisa **“Efeito do treinamento de força de alta e baixa intensidade realizado até falha muscular ou interrupção voluntária na ativação, força, arquitetura muscular e área de secção transversa das fibras musculares em homens treinados”**.

O objetivo deste estudo é comparar o aumento de massa muscular e a área de secção transversa das fibras do tipo 1 e 2 através treinamento de alta intensidade (TFAI) e o treinamento de baixa intensidade (TFBI) realizados até falha muscular ou até a interrupção voluntária em indivíduos jovens treinados em força. O estudo será composto por quatro grupos experimentais: TFAI realizado até a falha muscular, TFAI realizado até a interrupção voluntária, TFBI realizado até a falha muscular e TFBI realizado até a interrupção voluntária. Os resultados obtidos no estudo poderão ser úteis na escolha do tipo de treino mais adequada para o aumento da massa e fibra muscular em jovens treinados em força.

Para participar deste estudo o voluntário não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Todas as despesas com o transporte e a alimentação decorrentes da sua participação na pesquisa serão de sua responsabilidade. Sua participação é voluntária, isto é, a qualquer momento o senhor pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Terá o esclarecimento sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar, e sua recusa não trará nenhum prejuízo na sua relação com o pesquisador ou com a instituição que forneceu os dados. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Os dados coletados poderão ter seus resultados divulgados em eventos, revistas e/ou trabalhos científicos, entretanto o Sr não será identificado em nenhuma publicação que possa resultar.

Sua participação no estudo, caso concorde com todos os termos aqui descritos, acontecerá por aproximadamente 37 (trinta e sete) visitas ao Laboratório de Adaptações Neuromusculares ao Treinamento de Força, localizado no Departamento de Educação Física da UFSCar. De maneira geral, as visitas ocorrerão em intervalos de 72h, onde, na primeira visita, será realizado ajuste individual dos aparelhos e padronização dos movimentos. As visitas 2, 3, 4 e 5 serão respectivamente: familiarização com teste de força máxima (1-RM) e protocolos de treinamento; reteste de 1-RM; mensuração da ativação muscular por EMG dos músculos reto femoral, vasto lateral e vasto medial; avaliação massa muscular por ultrassonografia do músculo vasto lateral, será realizada

primeira coleta do tecido muscular (biópsia muscular) e o preenchimento do recordatório alimentar (Avaliação – T1). Nas visitas 6 – 18 serão realizadas as sessões de treinamentos. As visitas 19, 20 e 21 serão respectivamente: avaliação massa muscular por ultrassonografia (ASTq) do músculo vasto lateral; teste de 1-RM e aquisição da EMG (Avaliação – T2). Nas visitas 22 –34 serão realizadas as sessões de treinamentos. As sessões de treinamento de força serão compostas da seguinte maneira: para os grupos TFAI realizado até a falha muscular (i.e., a incapacidade de completar uma ação concêntrica na amplitude determinada previamente) e TFAI até a interrupção voluntária (I.E., término de cada série será determinado pelo próprio indivíduo) treinos de força com 3 séries à 80% 1-RM, com intervalo de 2 minutos entre as séries. Já os grupos TFBI realizado até a falha muscular e TFBI até a interrupção voluntária realizarão 3 series à 30% de 1-RM, com intervalo de 2 minutos entre as séries. Serão realizadas duas sessões semanais de treinamento nos exercícios leg press 45° e extensão do joelho no equipamento cadeira extensora, ambos de forma unilateral, por um período de 12 semanas. A pausa entre as series será de 2 minutos. Nas visitas 35, 36 e 37 serão respectivamente: avaliação massa muscular por ultrassonografia do músculo vasto lateral; teste de 1-RM e aquisição da EMG (Avaliação – T3).

Em sua primeira visita dados pessoais, como idade, peso e altura, serão coletados, bem como informações sobre suas atividades diárias. Em seguida você será posicionado no aparelho para ajuste do banco de apoio para as costas e apoio para o tornozelo. Você também será informado sobre o movimento de extensão de joelho que será utilizado no estudo e a correta forma de realiza-lo.

Para sua familiarização com o teste de força máxima e protocolos de treinamento, inicialmente você fará aquecimento numa bicicleta ergométrica durante 5 minutos, seguido de duas séries de aquecimento no aparelho de cadeira extensora com carga adequada e dois minutos de descanso entre as séries de aquecimento. Em seguida até cinco tentativas para determinar sua força máxima serão realizadas, com intervalo de 3 minutos entre as tentativas para evitar cansaço excessivo. Decorridos 5 minutos do teste de força, duas séries de 10 repetições de extensão dos joelhos com baixa carga serão realizadas para familiarização com o protocolo de treino, com 2 minutos de descanso entre séries. O reteste da força máxima seguirá os mesmos passos descritos acima.

Para a ativação muscular do músculo será avaliada por meio da amplitude do sinal eletromiográfico (EMG). Uma lâmina de depilação será utilizada para retirada dos pelos da área e uma compressa embebida em álcool será utilizada para reduzir a impedância da pele. Eletros de superfície serão colocados sobre o ventre dos músculos vasto lateral, vasto medial e reto femoral e alinhados com a orientação da fibra muscular, com uma distância de 2 cm entre os eletrodos. Além disso, um eletrodo terra será colocado na região do tornozelo no maléolo lateral da fíbula. Após os procedimentos citados você realizará uma contração isométrica máxima, para que os valores das repetições máximas possam ser normalizados, e posteriormente você realizará as 3 series referente ao treinamento de força.

Para avaliação da massa muscular de seu vasto lateral, você ficará deitado em uma maca durante 20 minutos para que o músculo se acomode nesta posição e uma lâmina de depilação será utilizada para retirada dos pelos da área de sua coxa que será avaliada. Gel

de transmissão será aplicado em sua pele e o cabeçote do ultrassom será posicionado sobre o músculo, sendo deslocado lateralmente sobre sua perna, onde a cada 2 centímetros imagens musculares serão obtidas.

Para a avaliação do aumento de massa muscular e área de secção transversa das fibras do tipo 1 e 2, as coletas de tecido muscular serão realizadas por um médico com vasta experiência nesse procedimento. As biópsias serão sempre realizadas no vasto lateral. Você ficará deitado em uma maca, uma lâmina de depilação será utilizada para retirada dos pelos da área e uma compressa embebida em álcool será utilizada para limpar a área da pele. Uma pequena área, será anestesiada e uma pequena incisão (aproximadamente 0,5 cm de comprimento), utilizando bisturi cirúrgico. A agulha de será introduzida na porção lateral do músculo vasto lateral em uma profundidade de ~4 cm para obtenção da amostra de tecido muscular. Será retirado ~60 mg de tecido muscular por biópsia e, após a retirada do tecido, a incisão será fechada e coberta por bandagens.

Você poderá sentir dores musculares decorrentes das microlesões causadas pelo exercício. Essas microlesões são responsáveis, em parte, pela adaptação ao exercício físico, não acarretando qualquer tipo de comprometimento a sua função muscular. Em casos raros intercorrências como febre e dor excessiva podem ocorrer, necessitando de auxílio médico. Nestes casos, os custos com consultas e aquisição de medicamentos os serão de responsabilidade dos pesquisadores. Caso alguma emergência médica ocorra, os responsáveis pelo estudo lhe acompanharão ao Hospital Escola localizado na Rua Luiz Vaz de Camões, 111 - Vila Celina - Telefone: (16) 3362-5555.

Os benefícios pessoais de sua participação no projeto serão o aumento de sua força e massa muscular, facilitando a realização de suas atividades de vida diária, principalmente aquelas envolvendo os membros inferiores, como caminhar e subir escadas, e prevenção da sarcopenia, enfermidade que resulta em perda de massa muscular.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, no “Laboratório de Adaptações Neuromusculares ao Treinamento de Força” e a outra será fornecida ao senhor. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Natalia Santanielo Silva

Cleiton Augusto Libardi

Rodovia Washington Luiz, Km. 235, Departamento de Educação Física- Caixa Postal 676
- CEP 13.565-905 - São Carlos - SP – Brasil. Fone (16)99747-3665

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Rodovia Washington Luiz, Km. 235 - Caixa Postal 676 - CEP 13.565-905 - São Carlos - SP – Brasil. Fone (16) 3351-8110. Endereço eletrônico: cephumanos@power.ufscar.br

Local e data: ____/____/____

Sujeito da pesquisa *