



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**  
**FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA - FEF**  
**BACHARELADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

**JOÃO BIANCHETTI RODRIGUES DA COSTA**  
**RAFAEL FERREIRA RIBEIRO DA SILVA**

**EXERCÍCIO ISOMETRICO E FUNÇÃO ENDOTELIAL: UMA**  
**INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS CRÔNICOS**

**BRASÍLIA – DF**  
**2022**

**JOÃO BIANCHETTI RODRIGUES DA COSTA**  
**RAFAEL FERREIRA RIBEIRO DA SILVA**

**EXERCÍCIO ISOMETRICO E FUNÇÃO ENDOTELIAL: UMA  
INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS CRÔNICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para Faculdade de Educação  
Física da UnB, como requisito para  
obtenção do título de Graduado no  
Bacharelado em Educação Física  
Orientador: Prof. Dr. Lauro Casqueiro  
Vianna

**Brasília, DF, Brasil**  
**2022**

JOÃO BIANCHETTI RODRIGUES DA COSTA  
RAFAEL FERREIRA RIBEIRO DA SILVA

**EXERCÍCIO ISOMETRICO E FUNÇÃO ENDOTELIAL: UMA  
INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS CRÔNICOS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado para banca examinadora  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em educação física pela  
Universidade de Brasília - UnB

Brasília, 27 de setembro de 2022

---

Prof. Dr. Martim Bottaro  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Lauro Casqueiro Vianna  
Orientador  
Universidade de Brasília

---

Prof. Me. Rosa Virginia Diaz Guerrero  
Avaliador  
PPGEF-UnB.

## **Agradecimentos**

Somos gratos a todos que nos apoiaram e motivaram (amigos, familiares, etc.) durante toda nossa graduação e principalmente neste último semestre (1-2022), esse apoio foi essencial para que não desistíssemos.

Gostaríamos de agradecer ao nosso orientador Dr. Lauro Casqueiro Vianna, por ter tido muita paciência durante o processo de orientação, nos ter dado todo o suporte necessário para a realização de nosso trabalho de conclusão de curso e contribuído muito para nossa formação, tanto acadêmica como pessoal.

Também agradecemos o apoio de toda a equipe que compõe o laboratório NeuroVASQ, que nos acolheu e ajudou muito sempre que precisávamos.

## RESUMO

O treinamento isométrico é caracterizado pela realização de força estática, ademais, pode ser uma ferramenta importante em diferentes contextos clínicos de reabilitação. Isto se deve, por exemplo, pela capacidade deste tipo de treinamento de proporcionar efeito analgésico em tendinopatias específicas, reduzir inibição muscular e gerar ganhos de força tanto nos ângulos em que é realizado, como nos demais. Além disso, a limitação do fluxo sanguíneo muscular que contrações isométricas proporcionam está associada a mecanismos de fadiga neuromuscular, o que mostra o potencial deste tipo de treinamento de potencializar ganhos de força e hipertróficos. Contudo, não está claro na literatura como essa limitação do fluxo sanguíneo gerada por níveis mais altos de contrações isométricas sustentadas podem repercutir na função endotelial (determinada principalmente pelo padrão de fluxo sanguíneo e seus componentes retrógrado e anterógrado) da vasculatura local. Portanto, o objetivo do presente estudo é propor a investigação dos efeitos crônicos do exercício isométrico em diferentes intensidades na função endotelial. Para isto, foi proposto um protocolo que utiliza a técnica de dilatação-fluxo mediada (FMD) com o intuito de avaliar a função endotelial na vasculatura do membro exercitado antes e após uma intervenção de 8 semanas de treinamento isométrico de extensão de joelho em 2 intensidades diferentes.

**Palavras-Chave:** Treinamento Isométrico; Fluxo Sanguíneo; Função Endotelial; Fadiga Neuromuscular.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO:</b> .....	<b>7</b>
<b>2. MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
2.1 Amostra.....	9
2.2 FMD .....	9
2.3 Contração voluntária máxima CVM.....	9
2.4 Protocolo de exercício.....	10
<b>3. RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	<b>11</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>15</b>

## 1. INTRODUÇÃO:

Em contextos clínicos de reabilitação, a perda de massa muscular é um sinal clínico comum, especialmente em casos em que pacientes dependem de imobilização, como verificou Thomas et al. (2016), onde a atrofia muscular foi associada a fraqueza do quadríceps em indivíduos após a realização de cirurgia de reconstrução ligamentar (1). Outrossim, a perda de força, que pode ser atestada por redução na ativação muscular e área de secção transversa de massa muscular livre de gordura, está relacionada à osteoartrite já nos estágios iniciais desta doença, que está associada a redução de função muscular (2,3). Portanto, levando em conta o estudo de Amin et al. (2009), que associa uma maior força muscular à menor dor articular e maior função muscular, estratégias que potencializam ganhos hipertróficos e de força são essenciais para os públicos afetados por osteoartrite, tendinopatia e/ou por outras condições que geram comprometimento de massa muscular (4).

Sabe-se que o treinamento resistido (TR) é ideal para tal proposta (5) e pode ser desempenhado a partir de diferentes métodos. O treinamento resistido isométrico apresenta algumas vantagens em contextos de reabilitação, como as de proporcionar efeito analgésico em tendinopatias específicas, reduzir inibição muscular (6) e gerar ganhos de força tanto no ângulo em que é realizado, como nos demais (7). Portanto, o foco deste estudo será voltado para o treinamento isométrico, que é caracterizado pela realização de força estática.

A isometria é conhecida por proporcionar uma limitação do fluxo sanguíneo no músculo em atividade, desta forma, em 1920, Lindhard foi o primeiro a sugerir tal hipótese (9). O potencial deste tipo de treinamento de limitar o fluxo sanguíneo muscular é atribuído ao aumento da pressão intramuscular e, portanto, à uma ação mecânica (10). O treinamento isométrico pode ser desempenhado de forma sustentada ou intermitente, sendo a segunda delas a partir de uma forma "mais dinâmica" desta contração (11). De acordo com Laaksonen et al. (2002), conclui-se que o fluxo sanguíneo muscular foi maior em contrações dinâmicas do que em contrações isométricas intermitentes (contrações estáticas de apenas 2 segundos), o que mostra que contrações isométricas, mesmo que curtas, já reduzem o fluxo sanguíneo em relação às dinâmicas (11).

É interessante salientar que a redução do fluxo sanguíneo muscular é a principal causa atribuída à fadiga durante contrações sustentadas (12), o que causa

um desequilíbrio metabólico no músculo alvo em função da diminuição do aporte de oxigênio. Em Yamada et al. (2008) e Akima (2016) a redução da saturação de O<sub>2</sub> do quadríceps durante contrações sustentadas mostrou ter relação direta com a fadiga (13, 14). Além disso, ainda em Akima (2016), a contração isométrica é mencionada como possível ferramenta para potencializar intervenções de reabilitação (14).

Vale analisar também que a característica das contrações isométricas de gerar pressão intramuscular e, deste modo, limitar o fluxo sanguíneo no músculo em contração varia de acordo com o grupamento muscular analisado (10). Logo, no quadríceps, grupamento alvo deste estudo, o fluxo sanguíneo é cessado a partir de certos níveis de contração voluntária (64% da contração voluntária máxima no vasto lateral) (10). Contudo, não está claro na literatura como essa limitação do fluxo sanguíneo gerada por níveis mais altos de contrações isométricas sustentadas podem repercutir na função endotelial (determinada principalmente pelo padrão de fluxo sanguíneo e seus componentes retrógrado e anterógrado) da vasculatura local. Desta forma, o objetivo do presente estudo é propor a investigação dos efeitos crônicos do treinamento isométrico de extensão de joelho em diferentes intensidades na função endotelial.

Considerando que a disfunção endotelial está associada a redução na capacidade de vasodilatação, processos pró-inflamatórios e pró-trombóticos (16), é importante que esta função seja preservada. Além disso, uma forma segura e eficiente de avaliá-la é através da técnica de FMD (17). Nossa hipótese é que o treinamento isométrico de extensão de joelho, mesmo que realizado em níveis mais altos de contração voluntária e até a exaustão, promove adaptações vasculares locais caracterizadas por aumentos nos valores de FMD, isto é, melhora das funções do endotélio.



## 2. MÉTODOS

O método de intervenção foi formulado utilizando artigos base retirados da base de dados do *PubMed* a fim de determinar um protocolo de aplicação prática.

### 2.1 Amostra

A amostra deverá ser composta por 20 homens jovens (18 a 39 anos) e saudáveis divididos em 2 grupos (baixa intensidade e alta intensidade). Os critérios de exclusão devem ser: Diagnóstico de doenças cardiovasculares, metabólicas, ortopédicas, neurológicas ou endócrinas que afetem a função endotelial; uso de qualquer medicação que possa interferir com a função cardiovascular; tabagismo; e risco de respostas adversas ao exercício.

### 2.2 FMD

A coleta de dados deve ser referente à FMD da artéria femoral superficial do membro exercitado (membro dominante) antes e depois do período de intervenção a fim de avaliar alterações crônicas na função endotelial local. Sugerimos que o protocolo de FMD seja de acordo com o Thijssen et al. (2007), que utiliza um manguito de 12 cm posicionado a 10 cm distalmente do trocanter maior e avalia a dilatação da artéria femoral superficial através de um ultrassom com Doppler por 4 minutos após oclusão de 5 minutos (18).

### 2.3 Contração voluntária máxima CVM

O protocolo sugerido para a obtenção da contração voluntária máxima (CVM) dos indivíduos se dá da seguinte forma: realização de 3 contrações voluntárias máximas de 5 segundos de duração (1–2 segundos para alcançar a força máxima,  $\geq 2$  segundos para sustentá-la e 1 segundo para relaxamento), com um intervalo de pelo menos 2 minutos entre cada tentativa. O maior valor de torque atingido será usado como a CVM (14).

## 2.4 Protocolo de exercício

O treinamento isométrico será aplicado no membro dominante dos participantes utilizando um dinamômetro isocinético posicionado de forma que seja realizada a extensão de joelho unilateral em 60° (Ângulo utilizado por Sadamoto para obter a isquemia no quadríceps).

Os dois grupos realizarão o exercício de extensão de joelho isométrico, o grupo de baixa intensidade (BI) a 14% da CVM e o grupo de alta intensidade (AI) a 50% da CVM, ambos até à exaustão. Deverão ser realizadas 4 séries de contrações sustentadas até a exaustão (incapacidade de manter a intensidade sugerida, queda maior que 5% da intensidade alvo por 3 segundos), com um descanso de 2 minutos entre cada série. Durante 8 semanas, os participantes irão a 3 sessões de treinamento semanais espaçadas em pelo menos 48 horas. Um teste para mensurar a CVM dos indivíduos deve ser realizado novamente após 4 semanas do início da intervenção e ajustes nos valores de torque, caso necessários, deverão ser considerados para que a intensidade relativa seja mantida.

### 3. RESULTADOS ESPERADOS

Dentre várias funções, o endotélio vascular contribui para a regulação de processos inflamatórios e do tônus e permeabilidade vascular (16). Além disso, a melhora da função endotelial está associada principalmente ao padrão do fluxo sanguíneo e às taxas de cisalhamento (força tangencial causada na parede do vaso pelo fluxo sanguíneo), de forma que o aumento da taxa de cisalhamento anterógrado associa-se à melhora de função e o aumento da taxa de cisalhamento retrógrado à piora de função (19).

Badrov et al. (2016) verificou melhora crônica na função endotelial após uma intervenção de 8 semanas que utilizou o treinamento isométrico de preensão manual com contrações mantidas por 2 minutos a 30% da CVM, e atribuiu essa melhora à possíveis alterações nas taxas de cisalhamento e estresse oxidativo causados por este exercício (20, 21). Portanto, a partir desses achados, nossa hipótese sugere resultados semelhantes em treinamentos isométricos de extensão de joelho.

Vale lembrar que contrações sustentadas acima de 64% da CVM geram restrição total do fluxo sanguíneo no quadríceps (vasto lateral) (10). Desta forma, levando em conta que os possíveis efeitos crônicos desta restrição gerada por isometria não estão claros na literatura, a intensidade da contração sugerida para o grupo AI (50% da CVM) foi selecionada a fim de gerar alterações no fluxo sanguíneo muscular congruentes às obtidas no estudo de Badrov et al. (2016) (limitação do fluxo sanguíneo, porém, sem que haja a restrição do mesmo) (20).

Baross (2012) verificou adaptações vasculares na artéria femoral a partir de treinamento isométrico de extensão de joelho a 14% da CVM, porém apresentou algumas limitações em seu estudo (22). Considerando que as adaptações vasculares atestadas por Baross (2012) eram referentes somente ao diâmetro da artéria femoral em repouso, não há como garantir que alterações nessas medidas foram mediadas por uma melhora da função endotelial. Logo, a intensidade do grupo BI foi selecionada com base no estudo supracitado, contudo, considerando essas limitações.

Sjoogard (1988) avaliou alterações no fluxo sanguíneo muscular durante contrações sustentadas e concluiu que em exercícios isométricos de handgrip e de extensão de joelho houve limitação no fluxo sanguíneo a partir de 10% da CVM (12). Ademais, Baross (2012), autor citado no parágrafo anterior, analisou 2 intensidades, 7% e 14% da CVM e verificou que 7% não gerou nenhuma mudança na vasculatura

local (22), o que sugere que a limitação do fluxo sanguíneo talvez seja um fator determinante para causar adaptações vasculares, apesar das variáveis analisadas por Baross (2012) não garantirem a origem dessas adaptações. Desta forma, tanto os sujeitos do grupo BI quanto os do grupo AI serão submetidos a contrações que geram alterações no fluxo sanguíneo muscular. Vale ressaltar que quanto maior é a intensidade da contração, maior é a pressão intramuscular e, portanto, a limitação no fluxo sanguíneo, o que corrobora com a necessidade da investigação dos efeitos crônicos do treinamento isométrico em diferentes intensidades na função endotelial.

## 4. DISCUSSÃO

Nós propomos que o treinamento isométrico, mesmo que realizado a partir de níveis mais altos de contração voluntária e até a exaustão, promove adaptações vasculares locais caracterizadas por aumentos nos valores de FMD, isto é, melhora da função endotelial. Tendo isso em vista, a utilização da isometria como forma de potencializar ganhos hipertróficos e de força em contextos clínicos de reabilitação propõe alterações no fluxo sanguíneo muscular que otimizam estes ganhos sem prejudicar a função endotelial.

A limitação do fluxo sanguíneo gerada por contrações isométricas depende de características estruturais do músculo em contração. Em Sadamoto, o fluxo sanguíneo muscular foi cessado a partir de 64% da CVM no vasto lateral e entre 50%-53% da CVM nos músculos flexores plantares e de cotovelo (10). Além disso, em McNeil et al. (2015), o cessar do fluxo sanguíneo nos dorsiflexores não foi constatado em nenhuma das intensidades investigadas (30%, 60% e 100% da CVM) (23). Portanto, conclui-se que a capacidade de cada músculo de gerar pressão intramuscular é proporcional à sua capacidade de limitar o fluxo sanguíneo (10). Tendo isso em vista, na tentativa de avaliar o fluxo sanguíneo muscular durante contrações isométricas e relacioná-lo a fadiga neuromuscular, Sjoogard (1988) evidenciou que quanto maior foi a intensidade da contração avaliada, maior foi a limitação do fluxo sanguíneo e menor foi o tempo necessário para se atingir a fadiga (12).

Em um elegante estudo, Yamada et al. (2008) avaliou a atividade eletromiográfica e saturação de oxigênio no quadríceps durante contrações sustentadas a 50% da CVM (13). Como resultado, foi explicitado que quanto maior foi a redução de oxigenação no quadríceps, maior foi a atividade eletromiográfica, o que sugere maior recrutamento de unidades motoras e fadiga neuromuscular. Assim como Yamada et al. (2008), Akima (2016) também verificou a saturação de oxigênio no quadríceps durante uma extensão de joelho isométrica utilizando 50% da CVM, porém, até a exaustão (incapacidade de manter a contração no nível sugerido) e atestou a exaustão em cerca de 80 segundos (14), um tempo de tensão razoável para ser empregue em treinamentos e em intervenções de reabilitação.

Estes resultados mostram que as alterações no fluxo sanguíneo provocadas por contrações isométricas no músculo em exercício são capazes de gerar fadiga neuromuscular em função da diminuição no aporte de oxigênio e aumento do

desequilíbrio metabólico, isto posto, Schott (1995) reforça o papel desses metabólitos nas adaptações musculares. Ao comparar 2 grupos, um deles realizando o treinamento isométrico com contrações intermitentes, e o outro com contrações sustentadas, os ganhos de força e hipertrofia foram maiores no grupo que realizou as contrações sustentadas. Portanto, considerando que a intensidade das contrações (70% da CVM) e o tempo de tensão (120 segundos) foram exatamente iguais para ambos os grupos, o autor conclui que este resultado é justificado pelo maior estresse metabólico causado pelas contrações de longa duração (24).

Portanto, fica evidente a capacidade do treinamento resistido isométrico de promover ganhos de força e hipertrofia a partir de contrações isométricas sustentadas, que promovem um maior acúmulo de metabólitos no músculo em atividade a partir da limitação de fluxo sanguíneo. Ademais, este treinamento parece melhorar a função endotelial.

## 5. REFERÊNCIAS

- 1 Thomas, A. C., Wojtys, E. M., Brandon, C., & Palmieri-Smith, R. M. (2016). Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(1), 7–11.
- 2 Petterson, S. C., Barrance, P., Buchanan, T., Binder-Macleod, S., & Snyder-Mackler, L. (2008). Mechanisms underlying quadriceps weakness in knee osteoarthritis. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(3), 422.
- 3 Palmieri-Smith, R. M., Thomas, A. C., Karvonen-Gutierrez, C., & Sowers, M. F. (2010). Isometric quadriceps strength in women with mild, moderate, and severe knee osteoarthritis. *American journal of physical medicine & rehabilitation/Association of Academic Physiologists*, 89(7), 541.
- 4 Amin, S., Baker, K., Niu, J., Clancy, M., Goggins, J., Guerhazi, A., Grigoryan, M., Hunter, D. J., & Felson, D. T. (2009). Quadriceps strength and the risk of cartilage loss and symptom progression in knee osteoarthritis. *Arthritis and rheumatism*, 60(1), 189–198.
- 5 Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2016). Muscular adaptations in low-versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European journal of sport science*, 16(1), 1-10.
- 6 Rio E, Kidgell D, Purdam C, *et al*. Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy (2015). *British Journal of Sports Medicine* ;49:1277-1283.
- 7 Bandy, W. D., & Hanten, W. P. (1993). Changes in Torque and Electromyographic Activity of the Quadriceps Femoris Muscles Following Isometric Training. *Physical Therapy*, 73(7), 455–465.

- 8** Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R., & Cronin, J. B. (2018). *Isometric training and long-term adaptations; effects of muscle length, intensity and intent: A systematic review. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.*
- 9** Lindhard, J. (1920). Untersuchungen über statische Muskelarbeit, 1. *Skandinavisches Archiv Für Physiologie*, 40(2), 145-195.
- 10** Sadamoto, T., Bonde-Petersen, F., & Suzuki, Y. (1983). Skeletal muscle tension, flow, pressure, and EMG during sustained isometric contractions in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(3), 395–408.
- 11** Laaksonen, M. S. Kalliokoski, K. K., Kyröläinen, H., Kemppainen, J., Teräs, M., Sipilä, H., ... Knuuti, J. (2003). Skeletal muscle blood flow and flow heterogeneity during dynamic and isometric exercise in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 284(3), H979–H986.
- 12** Sjogaard, G., Savard, G., & Juel, C. (1988). Muscle blood flow during isometric activity and its relation to muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(3), 327–335.
- 13** Yamada, E., Kusaka, T., Arima, N., Isobe, K., Yamamoto, T., & Itoh, S. (2008). Relationship between muscle oxygenation and electromyography activity during sustained isometric contraction. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 28(4), 216–221.
- 14** Akima, H., & Ando, R. (2016). Oxygenation and neuromuscular activation of the quadriceps femoris including the vastus intermedius during a fatiguing contraction. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(6), 750–758.
- 15** Credeur, D. P., Hollis, B. C., & Welsch, M. A. (2010). Effects of handgrip training with venous restriction on brachial artery vasodilation. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(7), 1296–1302.



**16** Endemann, D. H., & Schiffrin, E. L. (2004). Endothelial dysfunction. *Journal of the American Society of Nephrology : JASN*, 15(8), 1983–1992.

**17** Corretti, M. C., Anderson, T. J., Benjamin, E. J., Celermajer, D., Charbonneau, F., Creager, M. A., Deanfield, J., Drexler, H., Gerhard-Herman, M., Herrington, D., Vallance, P., Vita, J., Vogel, R., & International Brachial Artery Reactivity Task Force (2002). Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force. *Journal of the American College of Cardiology*, 39(2), 257–265.

**18** Thijssen, D. H. J., de Groot, P. C. E., Smits, P., & Hopman, M. T. E. (2007). Vascular adaptations to 8-week cycling training in older men. *Acta Physiologica*, 190(3), 221–228.

**19** Schreuder, T. H., Green, D. J., Hopman, M. T., & Thijssen, D. H. (2014). Acute impact of retrograde shear rate on brachial and superficial femoral artery flow-mediated dilation in humans. *Physiological reports*, 2(1), e00193.

**20** Badrov, M. B., Freeman, S. R., Zokvic, M. A., Millar, P. J., & McGowan, C. L. (2016). Isometric exercise training lowers resting blood pressure and improves local brachial artery flow-mediated dilation equally in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 116(7), 1289–1296.

**21** Green, D.J., Maiorana, A, O'Driscoll, G. and Taylor, R. (2004), Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. *The Journal of Physiology*, 561: 1-25.

**22** Baross, A. W., Wiles, J. D., & Swaine, I. L. (2012). *Effects of the Intensity of Leg Isometric Training on the Vasculature of Trained and Untrained Limbs and Resting Blood Pressure in Middle-Aged Men. International Journal of Vascular Medicine*, 2012, 1–8.

**23** McNeil, C. J., Allen, M. D., Olympico, E., Shoemaker, J. K., & Rice, C. L. (2015). Blood flow and muscle oxygenation during low, moderate, and maximal sustained isometric contractions. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 309(5), R475–R481.

**24** Schott, J., McCully, K., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(4), 337–341.