

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ERLON LUIZ MIRANDA

**PROTÓTIPO DE SISTEMA INTEGRADO DE CONTROLE DA RESTRIÇÃO DE
FLUXO SANGUÍNEO NO EXERCÍCIO FÍSICO**

CURITIBA

2024

ERLON LUIZ MIRANDA

**PROTÓTIPO DE SISTEMA INTEGRADO DE CONTROLE DA RESTRIÇÃO DE
FLUXO SANGUÍNEO NO EXERCÍCIO FÍSICO**

**PROTOTYPE OF INTEGRATED SYSTEM FOR CONTROLLING BLOOD FLOW
RESTRICTION IN PHYSICAL EXERCISE**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof., Dr. Júlio César Bassan.

Coorientador: Prof., Dr. Fábio Kurt Schneider.

CURITIBA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



ERLON LUIZ MIRANDA

**PROTÓTIPO DE SISTEMA INTEGRADO DE CONTROLE DA RESTRIÇÃO DE FLUXO
SANGUÍNEO NO EXERCÍCIO FÍSICO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado
como requisito para obtenção do título de
Mestre Em Ciências da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área
de concentração: Engenharia Biomédica.

Data de aprovação: 03 de fevereiro de 2025

Dr. Julio Cesar Bassan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcelo Romanovitch Ribas, Doutorado - Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (Undb)

Dr. Sergio Leandro Stebel, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em
17/02/2025.

[https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno01/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?](https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno01/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?p_pesscodnr=259350&p_cadedocpescodnr=370...)
[p_pesscodnr=259350&p_cadedocpescodnr=370...](https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno01/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?p_pesscodnr=259350&p_cadedocpescodnr=370...) 1/1 17/02/2025, 11:04 -

CURITIBA

2024

Dedico este trabalho à minha família, pelas
intermináveis horas de ausência.

AGRADECIMENTOS

"Essas palavras jamais conseguirão abarcar a imensidão de pessoas que foram essenciais nessa fase tão significativa da minha vida. Se por acaso algum nome não estiver presente aqui, peço desculpas. Ainda assim, saibam que cada um de vocês ocupa um lugar especial no meu pensamento e na minha gratidão.

Primeiramente, agradeço ao meu SENHOR e SALVADOR, JESUS CRISTO, pois sem a sua misericórdia, nada seria possível. Quero ainda, expressar meu profundo agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Júlio César Bassan e Prof. Dr. Fábio Kurt Schneider cuja sabedoria e imprescindível orientação foi meu Norte ao longo dessa trajetória. Aos professores que, com firmeza, mas também com amizade, me guiaram até este momento: meu respeito e admiração.

Aos colegas e amigos que encontrei pelo caminho, deixo minha gratidão pelas trocas e pelo companheirismo. Aos amigos da caserna, obrigado por serem meus ouvintes, mesmo quando os assuntos fugiam ao interesse de vocês.

Não posso deixar de reconhecer o apoio da Secretaria do Curso, que sempre esteve disposta a cooperar.

E, acima de tudo, minha família. À minha amada esposa e à minha querida mãe, que me sustentaram com seu apoio incondicional: vocês foram a base sólida que tornou possível a realização desse sonho. Sem vocês, vencer esse desafio teria sido infinitamente mais difícil.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta pesquisa, meu sincero e eterno agradecimento."

“O suor derramado nos treinamentos é o sangue poupado nas batalhas.”

PATTON, George S., 1945.

RESUMO

A restrição de fluxo sanguíneo (RFS) aplicada ao treinamento resistido (TR) apresenta-se como uma alternativa promissora para reabilitação e ganho muscular, especialmente em populações vulneráveis ou com limitações físicas. A literatura recente, vem indicando que o uso do RFS com intensidades de 20-30% de 1RM demonstra potencial para induzir adaptações fisiológicas e hormonais semelhantes às do treinamento de alta intensidade (70-85% de 1RM), como a ativação das vias AKT/mTOR e o aumento da liberação de GH e IGF-1. Este estudo propõe o desenvolvimento de um protótipo de sistema integrado eletrônico-mecânico para a aplicação segura e controlada do método RFS, visando mitigar os riscos associados à sua prática, como trombose venosa profunda, rabdomiólise, neuropatias e desconforto. O dispositivo desenvolvido inclui sensores para monitoramento em tempo real de parâmetros fisiológicos, como frequência cardíaca, saturação de oxigênio e pressão arterial, além de sistemas de controle dos tempos e da pressão de oclusão. A aplicação de pressões uniformes e ajustáveis foi validada por meio de testes laboratoriais, garantindo a segurança e a eficácia do método. O sistema também conta com mecanismos de segurança em casos de emergência, como o desligamento automático e por intervenção do profissional especialista, reduzindo os riscos de eventos adversos. Assim, o dispositivo desenvolvido contribui para a aplicação segura do RFS, sendo uma ferramenta viável e eficaz para programas de reabilitação e condicionamento físico.

Palavras-chave: treinamento resistido; restrição de fluxo sanguíneo; reabilitação; dispositivo eletrônico; segurança do treinamento.

ABSTRACT

The blood flow restriction (BFR) applied to resistance training (RT) presents itself as a promising alternative for rehabilitation and muscle gain, especially in vulnerable populations or with physical limitations. Recent literature has indicated that the use of RFS with intensities of 20-30% of 1RM demonstrates potential to induce physiological and hormonal adaptations similar to those of high-intensity training (70-85% of 1RM), such as the activation of AKT/mTOR pathways and the increase in GH and IGF-1 release. This study proposes the development of an integrated electronic-mechanical system prototype for the safe and controlled application of the RFS method, aiming to mitigate the risks associated with its practice, such as deep vein thrombosis, rhabdomyolysis, neuropathies and discomfort. The developed device includes sensors for real-time monitoring of physiological parameters, such as heart rate, oxygen saturation and blood pressure, as well as systems for controlling occlusion times and pressure. The application of uniform and adjustable pressures was validated through laboratory tests, ensuring the safety and effectiveness of the method. The system also has safety mechanisms in cases of emergency, such as automatic shutdown and intervention by a specialist professional, reducing the risks of adverse events. Thus, the developed device contributes to the safe application of RFS, being a viable and effective tool for rehabilitation and fitness programs.

Key Words: resistance training; blood flow restriction; rehabilitation; electronic device; training safety.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

Abreviaturas:

DP	Duplo Produto
RM	Repetição Máxima
PA	Pressão Arterial
PAS	Pressão Arterial Sistólica
FC	Frequência Cardíaca
FCR	Frequência Cardíaca de Repouso
FCM	Frequência Cardíaca Máxima
FCRes	Frequência Cardíaca de Reserva
SpO2	Saturação de Oxigênio
POT	Pressão de Oclusão Total
PMS	Pressão em Membros Superiores
POTMS	Pressão de Oclusão total em Membros Superiores

Siglas:

SUS	Sistema Único de Saúde
PIB	Produto Interno Bruto
TR	Treinamento Resistido
RFS	Restrição de Fluxo Sanguíneo
ACSM	American College of Sports Medicine
TAI	Treinamento de Alta Intensidade
TBI	Treinamento de Baixa Intensidade
TVP	Trombose Venosa Profunda
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
DATASUS	Departamento de Informática do SUS

Acrônimos:

Akt/Mtor	Proteína Alvo Da Rapamicina Em Mamíferos
Gh	Hormônio Do Crescimento
Igf1	Fator De Crescimento Semelhante A Insulina 1
Pf&S	Physical Frailty & Sarcopenia (Síndrome De Fragilidade Física E Sarcopenia)
Chf	Congestive Heart Failure (Insuficiência Cardíaca Congestiva)
Copd Tbi	Chronic Obstructive Pulmonary Disease (Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica)
Pad	Peripheral Arterial Disease (Doença Arterial Periférica)
Ast	Área Da Secção Transversa
Myhc	Myosin Heavy Chain (Cadeias Pesadas De Miosina)
Json	Java Script Notation
Esp32	Modelo De Microcontrolador Esp32
Par-Q	Questionário De Prontidão Para Atividade Física
Pet	Polietileno Tereftalato

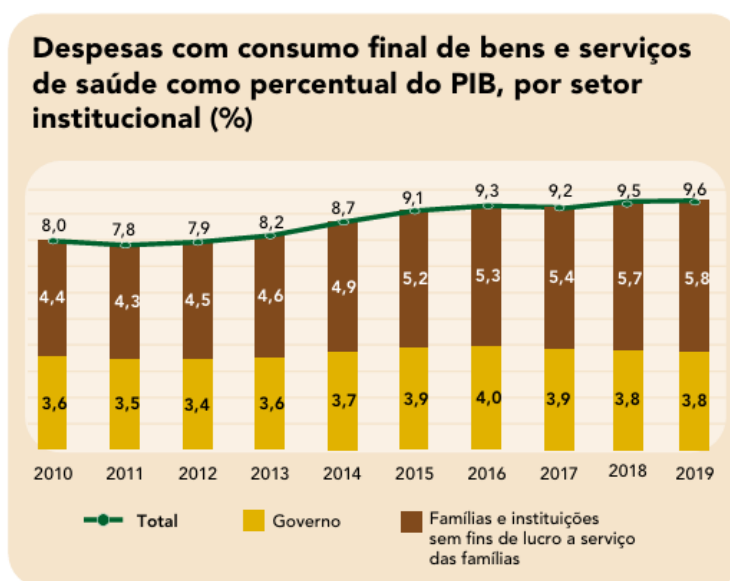
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Justificativa do estudo.....	16
1.2	Objetivo geral.....	17
1.3	Objetivos específicos.....	17
1.4	Hipótese.....	19
2	DISCUSSÃO.....	21
2.1	Protocolos.....	25
2.2	Eficácia do método.....	27
2.3.1	Notas:.....	28
2.3	Os riscos:.....	31
2.4	Segurança.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	O Hardware do dispositivo.....	35
3.2	Mecanismos de controle da pressão de oclusão (PO).....	36
3.3	Mecanismo de segurança do protótipo.....	38
3.4	A transmissão dos dados por tecnologia sem fio.....	39
3.5	Montagem do dispositivo.....	40
3.6	Conectividade e aplicativo.....	41
3.7	Resultados do hardware.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Procedimentos e fundamentação teórica.....	45
4.2	Coleta de dados fisiológicos.....	45
4.3	Critérios de inclusão e exclusão.....	46
4.4	Zonas de intensidade.....	47
4.5	Calculando a intensidade.....	48
4.6	Duplo produto e sua aplicação no TRRFS.....	49
4.7	Importância do DP na RFS.....	50
4.10	Prevenção de hipóxia excessiva.....	51
4.11	Segurança do exercício.....	52
4.12	Determinação da intensidade (carga) do exercício.....	52
4.13	Entrada manual de dados de treinamento.....	53
4.14	Cálculos e estimativas.....	54
4.15	Carga resistida de trabalho.....	54
4.16	O <i>software</i> controlador do dispositivo.....	55
4.17	<i>Interface</i> de entrada de dados.....	56
4.18	Paciente bradicárdico.....	61
4.19	Paciente taquicárdico.....	62
4.20	Paciente hipotenso.....	63
4.21	Paciente hipertenso.....	64
4.22	Risco tromboembolístico.....	64
4.23	Paciente indicado ou contra indicado.....	66
4.24	Antropometria e cálculo da pressão.....	67
4.25	O controle do dispositivo de restrição.....	69
5	LIMITAÇÕES E CONSIDERAÇÕES.....	71
5.1	Vantagens do sistema proposto.....	72
6	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	76

1 INTRODUÇÃO

A inatividade e o afastamento laboral devido a problemas de saúde dos trabalhadores representam um ônus significativo, em termos de custos diretos e indiretos, para o Estado, funcionários, empregadores e a sociedade como um todo, Bryan, M. L.; Bryce, A.M.; Roberts, J., (2021). É perceptível que o aumento do número de trabalhadores afastados por motivos de saúde contribui para a sobrecarga do SUS, (Sistema Único de Saúde). Aproximadamente 20% das consultas médicas realizadas no SUS são relacionadas a doenças ocupacionais e um custo anual com saúde no Brasil de R\$ 711,4 bilhões. Isso equivale a 9,6% do PIB (Produto Interno Bruto) do país no ano de 2019, IBGE (2019), como podemos observar no quadro adaptado, representado pela figura 1.

Figura 1 – Quadro ilustrativo de consumo de bens e serviços de saúde como percentual do PIB por setor institucional.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Contas Nacionais. Conta Satélite de 2019

Em um estudo apresentado por Dutra *et al.*, (2016), em uma amostra de 111 trabalhadores, com média de idade de 36 anos, 77 estavam ativos no mercado de trabalho enquanto 34 estavam afastados. O tempo médio de afastamento laboral foi de 2,8 meses

1.1 Justificativa do estudo

Na esteira dessas informações, a implementação de estratégias que resultem na abreviação dos períodos de afastamento é de grande importância e nesse sentido a utilização do TR como método de reabilitação pós período fisioterapêutico é fundamental para viabilizar o retorno às atividades profissionais e rotineiras, Centener, (2019).

O TR, é uma prática amplamente reconhecida e utilizada na área da saúde e do condicionamento físico e consiste em atividades que envolvem o uso de resistência externa, como pesos, máquinas de musculação, elásticos ou o próprio peso corporal, com o objetivo de desenvolver força, resistência e massa muscular ACSM, (2018).

O ACSM (Colégio Americano de Medicina do Esporte, 2018) considera que o TR com intensidade acima dos 50% de uma repetição máxima (1RM), é eficiente para promover hipertrofia muscular e o fortalecimento dos tendões.

Esses efeitos são alcançados por estímulos mecânicos e tensionais que otimizam a resistência dos tendões e a força muscular, essenciais para a recuperação funcional. Porém, o uso de altas cargas ($\geq 70\%$ 1RM) pode ocasionar sobrecarga articular, aumentando o risco de lesões em pacientes com limitações estruturais, ACSM (2018). Dessa forma a utilização de estratégias de baixo impacto articular e baixa intensidade, (cargas inferiores à 50% de 1 RM), são essenciais para a promoção da reabilitação nesses casos, Lopez *et al.*, (2021).

Uma estratégia que vem demonstrando eficácia principalmente no contexto da reabilitação, é o método de restrição de fluxo sanguíneo (RFS) pois, tem como parte do protocolo a sua aplicação diante de baixas intensidades (20% a 30% de 1RM), que além de reduzir o impacto mecânico sobre articulações e tecidos, proporciona por meio da restrição de fluxo sanguíneo, o estímulo de importantes vias de sinalização da hipertrofia como a AKT/mTor, (Proteína Alvo da Rapamicina em Mamíferos) e de mecanismos fisiológicos, como o aumento da secreção de hormônios como o GH (Hormônio do Crescimento) e o IGF1 (Fator de Crescimento Semelhante à Insulina 1), favorecendo a lipólise, a síntese proteica muscular e o recrutamento de fibras do tipo II, de forma semelhante ao treinamento tradicional com cargas elevadas (70%-85% de 1RM) Loenneke *et al.*, 2012; Chang *et al.*, (2024).

1.2 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo principal o desenvolvimento e validação de um sistema eletrônico mecânico integrado para a aplicação segura e precisa do treinamento resistido com restrição de fluxo sanguíneo (RFS). A proposta visa mitigar os riscos associados à variabilidade na pressão de oclusão quando o método é aplicado sem monitoramento rigoroso, garantindo um controle preciso das variáveis fisiológicas do usuário.

A relevância do estudo fundamenta-se no fato de que a utilização do RFS em treinamentos de baixa intensidade (20%-30% de 1RM) permite ganhos significativos de hipertrofia muscular e força, reduzindo o impacto articular e favorecendo a reabilitação de indivíduos com limitações estruturais Loenneke *et al.*, (2012); Chang *et al.*, (2024).

A necessidade de um sistema automatizado para a aplicação do RFS se justifica pelas limitações dos dispositivos tradicionais, que frequentemente exigem ajustes manuais, aumentando a possibilidade de erro humano e variações na pressão aplicada. Dispositivos eletrônicos mais avançados, capazes de fornecer feedback em tempo real sobre a pressão de oclusão e a resposta cardiovascular do usuário, têm sido indicados como ferramentas essenciais para garantir a segurança e eficácia do método Kacin *et al.*, (2011).

O estudo propõe a criação de um sistema que integra sensores fisiológicos para aferição de pressão arterial, frequência cardíaca e saturação de oxigênio, permitindo a calibração dinâmica do protocolo de oclusão. Além disso, busca-se desenvolver um mecanismo que minimize a intervenção manual do profissional responsável, proporcionando maior padronização e reprodutibilidade dos protocolos de RFS. Dessa forma, espera-se que o dispositivo contribua para a ampliação da aplicação clínica e esportiva do método, possibilitando a reabilitação e o treinamento de indivíduos que não podem ser submetidos a cargas elevadas.

1.3 Objetivos específicos

Para que seja possível atender ao objetivo geral, faz-se necessário delinear os seguintes objetivos específicos:

1. Desenvolver um protótipo funcional de dispositivo eletrônico mecânico para aplicação do treinamento resistido com restrição de fluxo sanguíneo, considerando aspectos de segurança, ergonomia e precisão na regulação da pressão de oclusão. O hardware deve ser projetado para garantir a estabilidade da pressão ao longo do exercício, evitando picos ou quedas súbitas que possam comprometer a eficácia do treinamento;
2. Implementar um sistema de sensores para coleta de dados fisiológicos, incluindo pressão arterial, frequência cardíaca e saturação de oxigênio, de forma a permitir o ajuste automático e individualizado dos níveis de oclusão. A adaptação da pressão de oclusão deve seguir parâmetros fisiológicos previamente estabelecidos, garantindo que o método seja aplicado dentro de limites seguros;
3. Desenvolver um software integrado ao dispositivo para controle e monitoramento dos protocolos de RFS, permitindo a configuração personalizada de variáveis como tempo de oclusão, tempo de reperusão e intensidade da restrição. O sistema deverá ser acessível via interface móvel, possibilitando o acompanhamento remoto por profissionais da área da saúde e do treinamento físico;
4. Validar a eficácia e segurança do dispositivo por meio de testes experimentais, comparando os efeitos do uso do sistema automatizado em relação a dispositivos convencionais. Os parâmetros analisados incluirão a estabilidade da pressão de oclusão, a resposta cardiovascular dos usuários e a percepção de desconforto durante a aplicação do método;
5. Avaliar a aplicabilidade do dispositivo em diferentes populações-alvo, incluindo indivíduos em reabilitação física, atletas e idosos, considerando as particularidades fisiológicas de cada grupo. Essa etapa permitirá verificar a versatilidade do sistema e sua capacidade de adaptação a distintos contextos clínicos e esportivos;

Por meio do cumprimento desses objetivos, espera-se que o estudo contribua para o avanço da tecnologia aplicada ao treinamento resistido com restrição de fluxo sanguíneo, promovendo maior segurança, precisão e eficácia na aplicação do método.

1.4 Hipótese

A aplicação do treinamento resistido com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) por meio de um sistema eletrônico mecânico integrado permitirá um controle mais preciso da pressão de oclusão e dos parâmetros fisiológicos do usuário, resultando em maior segurança e eficácia na execução do método, quando comparado a dispositivos convencionais.

Especificamente, hipotetiza-se que a utilização do protótipo de sistema ora proposto possibilitará:

- Estabilidade da pressão de oclusão ao longo das sessões de treinamento, minimizando flutuações que possam comprometer a eficácia do método ou gerar riscos à saúde do usuário Nakajima *et al.*, (2006); Loenneke *et al.*, (2013);
- Redução da ocorrência de eventos adversos associados ao RFS, como desconforto excessivo, isquemia prolongada, neuropatias e trombose venosa profunda, devido à individualização da pressão aplicada e ao monitoramento contínuo dos parâmetros cardiovasculares Wilson *et al.*, (2013); Patterson *et al.*, (2019).
- Geração de respostas fisiológicas comparáveis às do treinamento resistido tradicional de alta intensidade ($\geq 70\%$ 1RM), como o aumento na ativação da via AKT/mTOR e a elevação dos níveis de GH e IGF-1, sem a necessidade de cargas elevadas e sem sobrecarga articular significativa Ellefsen *et al.*, (2015); Hughes *et al.*, (2017);
- Maior reprodutibilidade e confiabilidade nos protocolos de RFS, uma vez que o sistema automatizado reduzirá a variabilidade interpessoal no ajuste das pressões de oclusão e tempos de restrição, favorecendo a padronização do método em diferentes populações-alvo, incluindo indivíduos em reabilitação, idosos e atletas Kacin *et al.*, (2011); Chang *et al.*, (2024);
- Democratização do acesso à tecnologia de RFS, por meio do desenvolvimento de um sistema de custo reduzido e acessível a profissionais da saúde e usuários com menor poder aquisitivo. A redução

de custos, aliada à simplificação do uso, permitirá que o método seja amplamente adotado em centros de reabilitação, academias populares e clínicas fisioterapêuticas com menos recursos, viabilizando sua aplicação em contextos antes restritos a equipamentos de alto custo Bryan *et al.*, (2021); IBGE, (2019);

Dessa forma, espera-se que a tecnologia desenvolvida neste estudo amplie a aplicabilidade do treinamento resistido com RFS, proporcionando maior segurança, precisão e eficácia, ao mesmo tempo em que contribui para sua popularização e democratização, tornando-se uma ferramenta viável para contextos clínicos, de reabilitação e de desempenho esportivo, sem restrições financeiras que limitem seu acesso.

2 DISCUSSÃO

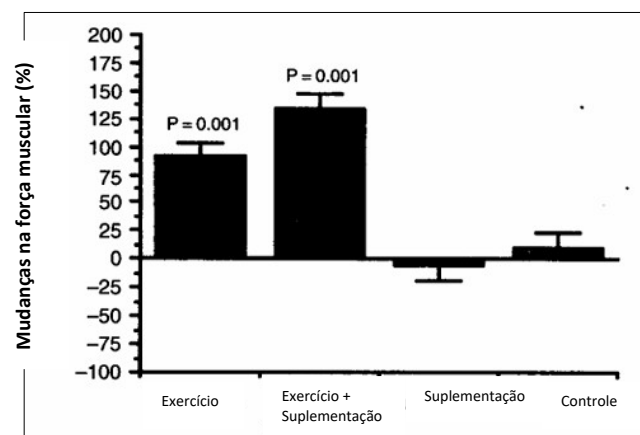
O TR, Treinamento Resistido) é reconhecidamente eficaz para a promoção de força e ganhos em hipertrofia, utilizando cargas resistivas. Os ganhos em força e massa muscular resultantes da prática consistente do (TR) têm um impacto profundo na saúde geral e no funcionamento do corpo e está associada a uma série de benefícios para a saúde, incluindo aumento da densidade mineral óssea, redução da gordura corporal, controle da glicemia e melhorias na saúde cardiovascular Kraemer, (2017).

Fiatarone *et al.*, (1994) conduziram um estudo randomizado, controlado por placebo, com o objetivo de avaliar a eficácia do TR com intensidade progressiva e da suplementação multinutriente na reversão da fragilidade em idosos residentes de asilos. Participaram 100 indivíduos com idade média de $87,1 \pm 0,6$ anos, sendo 63 mulheres e 37 homens, ao longo de 10 semanas. Os participantes foram divididos em quatro grupos: treinamento resistido, suplementação nutricional, combinação de ambas as intervenções e grupo controle.

Os resultados mostraram que o treinamento físico aumentou significativamente a força muscular ($113 \pm 8\%$ contra $3 \pm 9\%$; $P < 0,001$), a velocidade da marcha ($11,8 \pm 3,8\%$ contra $-1,0 \pm 3,8\%$; $P = 0,02$) e a potência de subir escadas ($28,4 \pm 6,6\%$ contra $3,6 \pm 6,7\%$; $P = 0,01$), além de promover maior nível de atividade física espontânea.

O aumento da área muscular da coxa foi observado apenas nos indivíduos que se exercitaram ($2,7 \pm 1,8\%$ contra $-1,8 \pm 2,0\%$; $P = 0,11$), mas sem significância estatística, conforme observado na figura 2.

Figura 2 – Gráfico adaptado de mudanças na força muscular (%)



Fonte: Fiatarone et al., (1994)

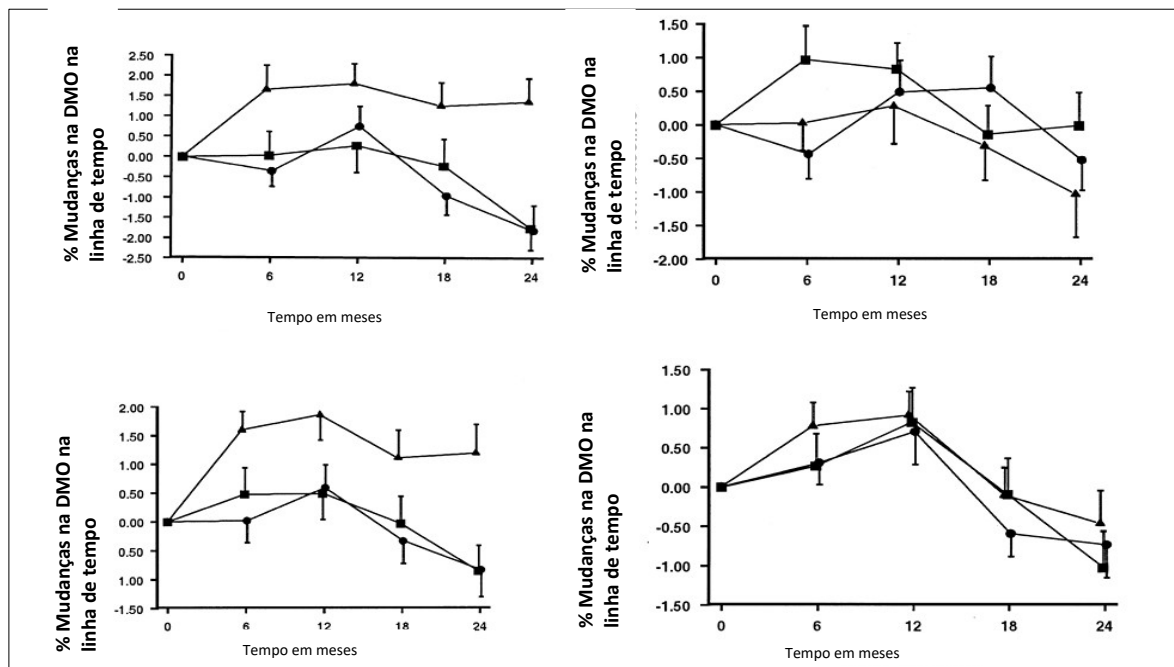
Por outro lado, a suplementação multinutriente isolada não apresentou efeito relevante em nenhuma das medidas avaliadas. Entretanto, foi notado aumento significativo da força muscular total nos indivíduos que combinaram exercícios e suplementação.

Os autores concluíram que o TR de alta intensidade é eficaz e viável para mitigar a fraqueza muscular e a fragilidade física em idosos longevos. Em contrapartida, a suplementação nutricional isolada não foi suficiente para alcançar tais benefícios.

Desta forma, o estudo destaca a importância do TR como uma intervenção essencial para a condição funcional dessa população.

Kerr *et al.*, (2001) em um estudo longitudinal, investigaram a relação entre exercício físico, suplementação de cálcio e densidade mineral óssea (DMO) em 126 mulheres pós-menopáusicas (idade média de 60 ± 5 anos). O estudo randomizado em blocos dividiu as participantes em três grupos: força (S), condicionamento físico (F) e controle (C), durante 2 anos.

Figura 3 – Gráfico adaptado de mudanças na densidade mineral óssea durante o treinamento resistido.



Fonte: Kerr et al., (2001)

Os grupos de exercício realizaram nove exercícios três vezes por semana, com o grupo S aumentando a carga progressivamente, enquanto o grupo F incluiu ciclismo estacionário com cargas mínimas. A adesão ao programa foi semelhante entre os grupos S e F ($74 \pm 13\%$ e $77 \pm 14\%$, respectivamente). A DMO foi avaliada a cada seis meses em regiões específicas (quadril, coluna lombar, antebraço e corpo inteiro) utilizando densitometria óssea. Na figura 3, abaixo, são demonstradas as alterações na DMO ao longo dos meses em que o estudo foi aplicado.

Os resultados mostraram que o programa de força foi eficaz em aumentar a DMO no quadril total ($0,9 \pm 2,6\%$; $p < 0,05$) e na região Intertrocantérica ($1,1 \pm 3,0\%$; $p < 0,01$), com interação significativa entre tempo e grupo no local Intertrocantérico ($p < 0,05$). Não foram observadas diferenças nos outros locais analisados. Os autores concluíram que o treinamento de força progressivo é uma abordagem eficaz para melhorar a DMO em locais clinicamente relevantes e pode ser recomendado como estratégia complementar no tratamento da osteoporose, em conjunto com outras terapias.

A alteração percentual desde a linha de base ao longo dos 2 anos do estudo. (A) O local do quadril Intertrocânter, o grupo S, foi significativamente diferente ($p, 0,01$) dos grupos F e C; (B) a localização total do quadril, o grupo S foi significativamente diferente ($p, 0,05$) dos grupos F e C; (C) a coluna lombar; e (D) corpo inteiro, sem diferença significativa entre os grupos. Todos os valores de p foram calculados a partir de medidas repetidas (Grupo S ▲, Grupo F ■, Grupo C ●)

Figura 4 – Quadro adaptado da representação comparativa da Síndrome da Fragilidade Física e Sarcopenia e outras condições geriátricas.

Condição	Substrato Biológico Mensurável	Manifestações Clínicas Mensuráveis	Função Mensurável
ICC (Insuficiência Cardíaca Congestiva)	Disfunção miocárdica (ecocardiografia)	- Falta de ar - Fadiga	Teste de caminhada de 6 min
DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica)	Alterações destrutivas das vias aéreas (espirometria)	- Dispneia - Tosse - Escarro	Teste de caminhada de 6 min
DAP (Doença Arterial Periférica)	Estenose arterial (ecocardiografia Doppler)	- Claudicação intermitente - Dormência - Úlceras	Distância na esteira
PF&S (Fraqueza e Síndrome de Fragilidade)	Massa muscular reduzida (DXA)	- Velocidade de caminhada reduzida - Mau equilíbrio - Fraqueza	SPPB (Short Physical Performance Battery)

Notas:

- **ICC:** Insuficiência Cardíaca Congestiva.
- **DPOC:** Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica.
- **DAP:** Doença Arterial Periférica.
- **PF&S:** Fraqueza e Síndrome de Fragilidade.
- **DXA:** Absorciometria por dupla emissão de raios-X.
- **SPPB:** Avaliação de Desempenho Físico Reduzido.

Fonte: Landi et al., (2015)

Landi *et al.*, (2015) discutem a sarcopenia, caracterizada pela perda de massa e força muscular, como um fator chave no desenvolvimento da fragilidade física e que está associada a resultados adversos de saúde, como quedas, incapacidade e mortalidade. Apesar de sua importância, não há consenso operacional para a definição ou tratamento específico dessa condição.

O estudo enfatiza que a sarcopenia deve ser vista como uma falência muscular que contribui diretamente para a evolução da fragilidade física, facilitando a identificação de intervenções preventivas e terapêuticas.

Os autores propõem um modelo conceitual que considera a sarcopenia o elemento central da síndrome de fragilidade física. Esse modelo permite intervenções baseadas na melhoria da função muscular, como atividade física e estratégias nutricionais, que mostram potencial em retardar ou reverter os efeitos dessa condição. A implementação de intervenções multicomponentes, que abordem os aspectos físicos e nutricionais simultaneamente, é sugerida como uma abordagem eficaz para prevenir a progressão da fragilidade e suas consequências negativas, promovendo melhorias na qualidade de vida dos idosos.

A ilustração acima, apresenta um modelo conceitual que compara a síndrome de fragilidade física e sarcopenia (PF&S) a outras condições geriátricas comuns, como insuficiência cardíaca congestiva (CHF), doença pulmonar obstrutiva crônica (COPD) e doença arterial periférica (PAD). O objetivo é evidenciar a semelhança dessas condições em termos de elementos biológicos, manifestações clínicas e medidas funcionais, propondo um *framework* prático para compreender e diagnosticar a fragilidade física e a sarcopenia.

Dessa forma, intervenções que promovam adaptações fisiológicas semelhantes às induzidas pelo treinamento físico de média ou alta intensidade, mas sem os riscos frequentemente associados a essas práticas, representam uma estratégia promissora na mitigação da sarcopenia e na reabilitação de pacientes em condições específicas.

Essa abordagem pode ser particularmente relevante em cenários onde não seja viável ou seguro expor os indivíduos a intensidades elevadas, como em casos de recuperação de traumas, estados convalescentes ou condições clínicas que limitem a tolerância às cargas intensas Cesari *et al.*, (2013); Cruz-Jentoft *et al.*, (2010).

Alternativas como o método de restrição de fluxo sanguíneo (RFS) aplicada ao TR ou programas adaptados de exercícios resistidos de baixa intensidade demonstram potencial em gerar benefícios comparáveis aos de intensidades mais altas, minimizando o impacto articular e os riscos cardiovasculares. Esses métodos têm sido destacados na literatura como ferramentas viáveis e eficazes para preservar ou melhorar a função muscular em populações vulneráveis, promovendo segurança e eficácia terapêutica Hughes *et al.*, (2017); Landi *et al.*, (2015).

O treinamento resistido (TR) de alta intensidade promove adaptações fisiológicas por meio de mecanismos de dano mecânico e acúmulo de metabólitos, resultando na ruptura do sarcolema e na liberação de marcadores como lactato, creatina quinase e lactato desidrogenase. Esses processos estimulam vias anabólicas, como a sinalização AKT/mTOR, além de aumentar a produção de hormônios anabólicos, como o hormônio do crescimento (GH) e testosterona favorecendo a síntese proteica e a hipertrofia muscular ACSM, (2018).

Por outro lado, o treinamento sob restrição de fluxo sanguíneo (RFS) atua pela compressão mecânica que reduz o fluxo sanguíneo local, gerando hipóxia muscular e acúmulo de metabólitos, os quais ativam vias semelhantes às do TR tradicional, como AKT/mTOR, além de aumentar a liberação de IGF-1 e GH, sem ativar o mecanismo de dano mecânico. Mesmo com cargas reduzidas (20–30% de 1RM), o RFS pode induzir hipertrofia comparável à do TR de alta intensidade, oferecendo uma alternativa segura para populações com limitações físicas ou clínicas Loenneke *et al.*, (2012)

2.1 Protocolos

O estudo de Patterson *et al.*, (2019), aborda o exercício sob restrição do fluxo sanguíneo (RFS), utilizando a compressão proximal do músculo para limitar o fluxo sanguíneo durante exercícios resistidos e aeróbios. A revisão buscou consolidar informações sobre metodologia, aplicação prática e segurança do RFS, destacando suas aplicações para aumento de força, hipertrofia e prevenção de atrofia muscular.

Figura 5 – Quadro adaptado, onde detalha-se um protocolo de aplicação do método RFS ao exercício resistido.

Tabela 1: Modelo para BFR-RE (Exercício Resistido com Restrição de Fluxo Sanguíneo):
○ Frequência: 2-3 vezes por semana (>3 semanas) ou 1-2 vezes por dia (1-3 semanas).
○ Carga: 20-40% de 1RM, com 2-4 séries e 75 repetições no total (30+15+15+15).
○ Tempo de restrição: 5-10 minutos por exercício, com reperusão entre os exercícios.
○ Grupos musculares: Inclui pequenos e grandes músculos.
○ Descanso entre séries: 30-60 segundos.
○ Forma de restrição: Contínua ou intermitente.

Fonte: Patterson et al., (2019)

Como metodologia, utilizou-se de uma revisão sistemática que explorou a literatura científica relacionada ao RFS, analisando protocolos utilizados nesses estudos. Os protocolos analisados incluem exercícios resistidos (BFR-RE), aeróbicos (BFR-AE) e passivos (P-BFR), detalhando frequência, intensidade, pressão do manguito e adaptações musculares e cardiovasculares.

Figura 6 – Quadro adaptado, onde se detalha um protocolo de aplicação do método RFS para exercício aeróbio

Tabela 2: Modelo para BFR-AE (Exercício Aeróbico com Restrição de Fluxo Sanguíneo):
○ Frequência: 2-3 vezes por semana (>3 semanas) ou 1-2 vezes por dia (1-3 semanas).
○ Intensidade: Inferior a 50% do VO ₂ máx ou HRR.
○ Modo de exercício: Caminhada ou ciclismo, geralmente aplicados por 5-20 minutos.
○ Pressão: 40-80% da pressão de oclusão arterial (AOP).

Fonte: Patterson et al., (2019)

Figura 7 – Quadro adaptado, onde se detalha um protocolo de aplicação do método RFS aplicado a populações acamadas ou com incapacidades temporárias.

Tabela 3: Modelo para P-BFR (Restrição Passiva de Fluxo Sanguíneo):
○ Frequência: 1-2 vezes por dia durante períodos de imobilização.
○ Tempo de restrição: 5 minutos por intervalo, seguidos de 3-5 minutos de descanso.
○ Pressão: 70-100% da AOP.
○ Grupos musculares: Grandes e pequenos músculos dos membros.

Fonte: Patterson et al., (2019)

O método RFS demonstrou ser eficiente para melhorar força e hipertrofia com cargas reduzidas, permitindo aplicações seguras em reabilitação e populações com limitações físicas, como idosos e pacientes pós-operatórios. Em exercícios aeróbicos, também mostrou benefícios em capacidade funcional e massa muscular. Contudo, a falta de padronização em protocolos de pressão e variabilidade dos equipamentos utilizados são limitações importantes.

Assim, o estudo contemplou que o RFS pode ser uma ferramenta eficiente e segura para populações saudáveis e clínicas, desde que protocolos sejam ajustados individualmente. Estudos futuros devem focar na padronização de metodologias e na avaliação da segurança em longo prazo.

2.2 Eficácia do método

O estudo de Ellefsen *et al.* (2015) comparou os efeitos do treinamento resistido de alta intensidade (TAI) e do treinamento resistido de baixa intensidade (TBI) associado à restrição de fluxo sanguíneo (RFS) em mulheres não treinadas. Ambos os protocolos, realizados por 12 semanas, resultaram em aumentos similares na força máxima (1RM) e na área de secção transversal (AST) de músculos extensores do joelho.

Entretanto, o TAI apresentou maior hipertrofia na porção proximal do quadríceps, enquanto os ganhos foram semelhantes nas porções distais dos músculos. Esses resultados sugerem que a pressão exercida pelo torniquete utilizado no RFS pode impactar negativamente a hipertrofia na região proximal.

Figura 8 – Quadro adaptado para Comparação entre o RFS e o TR de alta intensidade ao longo de 12 semanas.

BFR (Treinamento com Restrição de Fluxo Sanguíneo)	Semana 1	Semana 6	Semana 12	HST (Treinamento de Força com Carga Elevada)	Semana 1	Semana 6	Semana 12
Intensidade relativa, % 1RM	30 ± 0	30 ± 0	30 ± 0	3 × 10 RM	74 ± 9	85 ± 8	81 ± 5
				3 × 6 RM	78 ± 6	88 ± 4	92 ± 4
Número de repetições por sessão	76 ± 19	103 ± 26	106 ± 25	3 × 10 RM	30 ± 0	30 ± 0	30 ± 0
				3 × 6 RM	18 ± 0	18 ± 0	18 ± 0
Séries por sessão	5	5	5	3 × 10 RM	3	3	3
				3 × 6 RM	3	3	3
Volume de treino por sessão, kg	934 ± 275	1215 ± 372*	1324 ± 395*	3 × 10 RM	803 ± 194	911 ± 164*	1004 ± 194*
				3 × 6 RM	553 ± 113	617 ± 108*	681 ± 136*

Fonte: Ellefsen et al., (2015)

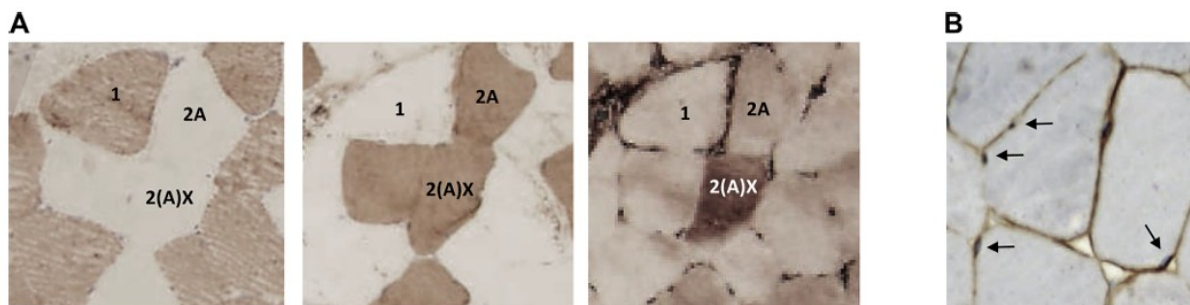
2.2.1 Notas:

- Os valores são expressos como média ± DP (Desvio Padrão).
- BFR: Treinamento com Restrição de Fluxo Sanguíneo.
- HST: Treinamento de Força com Carga Elevada.
- RM: Repetição Máxima.
- Mudanças significativas no volume de treino em relação à semana 1 ($P < 0,05$).

A tabela anterior, detalha a intensidade relativa (%1RM), o número de repetições por sessão, o número de séries e o volume total de treinamento em diferentes estágios do programa (semanas 1, 6 e 12). Os dados indicam que o protocolo RFS utilizou cargas significativamente mais baixas (30% de 1RM) em comparação ao TAI (74–92% de 1RM), porém com maior número de repetições e volume total de treinamento, destacando as diferenças fundamentais entre os métodos.

Em nível celular, ambos os métodos promoveram adaptações semelhantes na composição das fibras musculares, com aumento das fibras tipo 2A e redução das tipo 2X, sem impacto nas fibras tipo 1, como podemos observar na ilustração figura 9, adaptada de Ellefsen *et al.*, (2015). Além disso, os protocolos induziram alterações comparáveis na expressão de 29 genes relacionados à função e plasticidade muscular, incluindo um aumento robusto na expressão do gene *Syndecan-4*, associado à regeneração muscular.

Figura 9 -Ilustração adaptada, Representação das análises imuno-histoquímicas e morfológicas realizadas em fibras musculares esqueléticas após 12 semanas de treinamento resistido



Fonte: Ellefsen, (2015)

Em termos hormonais, elevações agudas nos níveis de GH foram observadas em ambos os métodos. O estudo conclui que o RFS é uma alternativa viável ao TAI, especialmente para populações que não podem realizar exercícios de alta intensidade devido às limitações físicas ou clínicas Ellefsen *et al.*, (2015).

A figura 6 exibe imagens representativas das fibras musculares, com coloração para cadeias pesadas de miosina (MyHC) específicas, demonstrando as proporções de fibras tipo 1, 2A e 2X em seções transversais. Os resultados revelam mudanças consistentes na composição de fibras, com aumentos nas proporções de fibras tipo 2A e reduções nas de tipo 2X, em ambos os protocolos (RFS e TAI), destacando a eficiência de ambos os métodos em induzir adaptações celulares no músculo vasto lateral.

O estudo de Hughes *et al.*, (2017) realizou uma revisão sistemática e meta-análise para avaliar a eficácia do treinamento com restrição de fluxo sanguíneo (BFR) em cargas leves no contexto de reabilitação musculoesquelética (MSK). A motivação surge da

necessidade de estratégias que sejam eficazes para aumentar a força muscular em populações clínicas, especialmente aquelas incapazes de tolerar cargas elevadas.

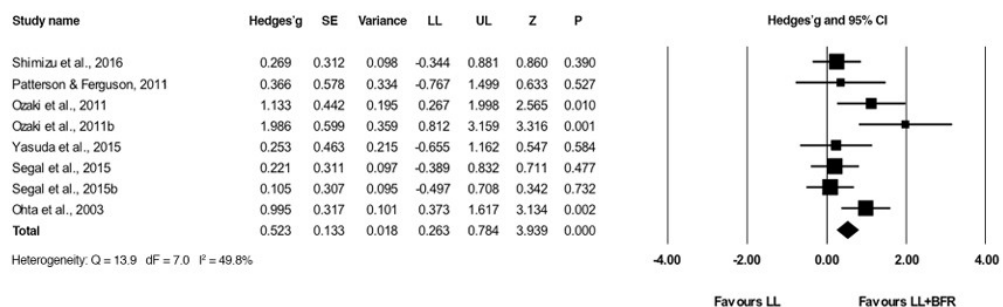
Foram analisados estudos publicados entre 1990 e 2016 nas bases SPORTDiscus, PubMed e *ScienceDirect*, utilizando critérios como inclusão de treinamento com RFS em contextos clínicos e comparação com treinamento de cargas leves ou cargas pesadas sem RFS. A qualidade metodológica foi avaliada pela ferramenta TESTEX. A meta-análise teve como foco principal os efeitos sobre a força muscular e utilizou o software “*Comprehensive Meta-Analysis*” para calcular os tamanhos de efeito (Hedges' g).

A meta-análise incluiu 13 estudos. Como demonstrado na figura 10, logo abaixo, o treinamento com BFR demonstrou um efeito moderado na força muscular em comparação ao treinamento de baixa carga sem BFR (Hedges' g = 0,523; IC 95% 0,263–0,784; $p < 0,001$). Comparado ao treinamento de alta carga, o BFR foi menos eficaz (Hedges' g = 0,674; IC 95% 0,296–1,052; $p < 0,001$). A heterogeneidade foi moderada no primeiro caso ($I^2 = 49,8\%$) e mínima no segundo ($I^2 = 0\%$).

Os resultados indicam que o BFR é mais eficaz do que cargas leves isoladas e pode servir como alternativa quando cargas elevadas não são viáveis. No entanto, a falta de individualização da pressão de oclusão e de progressão dos protocolos de treinamento limita a generalização dos achados.

Os principais pontos fracos incluem a variabilidade nos protocolos de pressão, a ausência de padronização na progressão do treinamento e a insuficiência de dados sobre medidas de segurança e eventos adversos.

Figura 10 - A figura mostra um gráfico de floresta comparando o treinamento de baixa carga com e sem RFS.



Fonte: Hughes et al., (2017)

O treinamento com RFS mostrou-se promissor para reabilitação musculoesquelética, oferecendo ganhos moderados de força com menor carga articular. Estudos futuros devem abordar a individualização e padronização para otimizar segurança e eficácia.

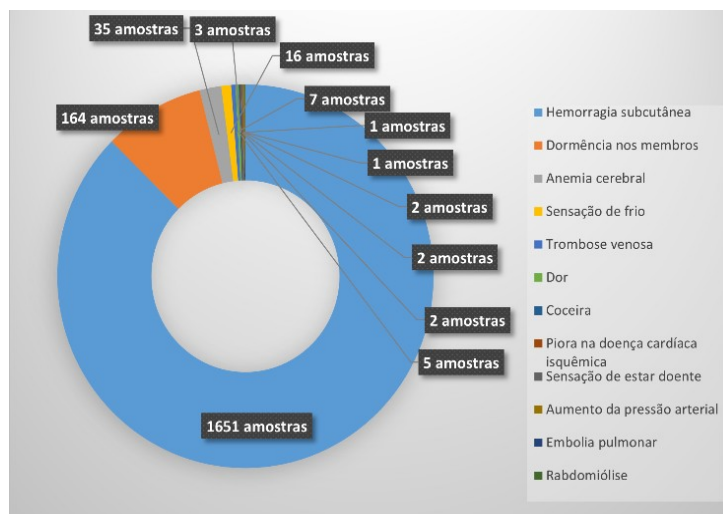
2.3 Os riscos

A aplicação do método de restrição de fluxo sanguíneo (RFS), embora tenha se mostrado eficaz para promover adaptações musculares e melhorar a performance, apresenta riscos consideráveis quando não realizada sob controle adequado. O primeiro registro documentado de complicações remonta ao próprio desenvolvedor do método KAATSU, Dr. Yoshiaki Sato, que em 1966 sofreu uma embolia pulmonar devido à aplicação incorreta de RFS, este é um exemplo claro das consequências de uma aplicação não controlada.

Em sua experiência inicial, Sato utilizou o RFS controlando de forma subjetiva (a partir da percepção de dor e esforço), resultando em uma embolia pulmonar, complicação que poderia ter sido evitada Iida *et al.*, (2005); Fujita *et al.*, (2007).

A falta de monitoramento das pressões, tempos e cargas pode levar a sérias consequências, incluindo trombose venosa profunda (TVP), dor muscular extrema inclusive danos nos nervos e tecidos. A pressão excessiva aplicada durante o treinamento pode comprometer a vascularização, levando a uma isquemia muscular que, se mantida por tempo inadequado, pode resultar em necrose muscular Loenneke *et al.*, (2012).

Figura 11 – Quadro adaptado mostra reações adversas RFS e seu volume de ocorrência .



Fonte: Adaptado de Nakajima et al., (200)6

De acordo com o estudo epidemiológico mais abrangente sobre o método KAATSU, realizado por Nakajima *et al.* (2006), em uma amostra de 12.642 participantes submetidos ao treinamento em instalações credenciadas no Japão, a incidência de eventos adversos graves foi relativamente baixa, conforme podemos ver no gráfico representado pela figura 11.

No estudo de Wilson *et al.*, (2013), apesar de realizarem os testes de pressão com bandas elásticas e uma tabela de percepção subjetiva de esforço e dor, as pressões foram confirmadas por ultrassom. Os autores ainda destacam que 91% das complicações registradas ocorreram em sessões sem supervisão profissional adequada, ressaltando a importância do acompanhamento especializado.

2.4 Segurança

Baseado nesses eventos adversos, fica latente a necessidade de controle das pressões, tempos e coleta, armazenamento, processamento e acompanhamento em tempo real dos parâmetros fisiológicos do paciente/ usuário, bem como de aplicar avaliações específicas por meio de sistemas, mecanismos ou dispositivos a fim de minimizar eventos adversos.

Figura 12 – Quadro adaptado de Eventos adversos na aplicação do RFS

Título	Ano	Resumo	Conclusões	Referência Bibliográfica
Desconforto/Dor	2019	O artigo discute o efeito adverso de desconforto/dor, com uma ocorrência de 20-40%. Os autores apontam que a pressão de oclusão elevada, inexperience do praticante são fatores contribuintes.	A pressão de oclusão elevada e a inexperience do praticante são fatores chave que contribuem para o desconforto/dor durante o uso deste dispositivo.	PATTERSON, Stephen D. et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. <i>Frontiers in physiology</i> , v. 10, p. 533, 2019.
Equimose (hematomas)	2019	O artigo relata a ocorrência de equimose (hematomas) em 10-20% dos casos. Os autores apontam que a fragilidade capilar e a pressão de oclusão inadequada são fatores contribuintes.	A fragilidade capilar e a pressão de oclusão inadequada são fatores que levam à formação de equimose (hematomas) durante o uso deste dispositivo.	Patterson et al. (2019). The influence of blood flow restriction training on arterial occlusion pressure: a systematic review and meta-analysis. <i>Sports Medicine</i>
Trombose Venosa Profunda (TVP)	2017	O artigo menciona que a ocorrência de trombose venosa profunda é inferior a 1%. Os autores atribuem isso a um histórico de distúrbios de coagulação prolongada.	O risco de trombose venosa profunda é baixo, provavelmente devido ao histórico de distúrbios de coagulação prolongada observados nestes pacientes.	Hughes et al. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. <i>British Journal of Sports Medicine</i>
Edema	2019	O artigo relata que o edema ocorre em 5-15% dos casos. Os autores associam isso a uma oclusão excessiva e duração prolongada do exercício.	O edema está associado a uma oclusão excessiva e exercícios prolongados, sendo observado em 5-15% dos casos.	Patterson et al. (2019). The influence of blood flow restriction training on arterial occlusion pressure: a systematic review and meta-analysis. <i>Sports Medicine</i>
Neuropatia periférica	2011	O artigo menciona que a neuropatia periférica ocorre em menos de 1% dos casos. Isso é atribuído ao uso inadequado da faixa de oclusão e compressão nervosa.	O risco de neuropatia periférica é baixo, mas pode ocorrer devido ao uso inadequado da faixa de oclusão e compressão nervosa.	Loenneke & Pujol (2011). Blood flow restriction exercise: Consideration of methodology
Rabdomiólise	2017	O artigo relata que a rabdomiólise ocorre em menos de 1% dos casos. Isso é atribuído a um excesso de volume e intensidade de treinamento.	A rabdomiólise é um efeito adverso raro, ocorrendo em menos de 1% dos casos, e está relacionada a um excesso de volume e intensidade de treinamento.	Hughes et al. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. <i>British Journal of Sports Medicine</i>
Isquemia Tecidual	2019	O artigo menciona que a isquemia tecidual ocorre em menos de 1% dos casos. Isso é atribuído a uma oclusão prolongada e pressão excessiva.	A isquemia tecidual é um efeito adverso raro, ocorrendo em menos de 1% dos casos, e está relacionada a uma oclusão prolongada e pressão excessiva.	Patterson et al. (2019). The influence of blood flow restriction training on arterial occlusion pressure: a systematic review and meta-analysis. <i>Sports Medicine</i>
Hipotensão pós-exercício	2011	O artigo relata que a hipotensão pós-exercício ocorre em 5-10% dos casos. Isso é associado a um descondicionamento cardiovascular e volume de treino elevado.	A hipotensão pós-exercício é observada em 5-10% dos casos e está relacionada a um descondicionamento cardiovascular e volume de treino elevado.	Loenneke & Pujol (2011). Blood flow restriction exercise: Consideration of methodology
Náusea/Vômito	2017	O artigo menciona que náusea e vômito ocorrem em 5-10% dos casos. Isso é atribuído a uma intensidade elevada e falta de preparo físico.	Náusea e vômito são observados em 5-10% dos casos, sendo associados a uma intensidade elevada e falta de preparo físico.	Hughes et al. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. <i>British Journal of Sports Medicine</i>
Ansiedade/Pânico	2019	O artigo relata que ansiedade e pânico ocorrem em 2-5% dos casos. Isso é relacionado a uma sensação de claustrofobia e desconexão da técnica.	Ansiedade e pânico são efeitos adversos menos comuns, ocorrendo em 2-5% dos casos, e estão associados a uma sensação de claustrofobia e desconexão da técnica.	Patterson et al. (2019). The influence of blood flow restriction training on arterial occlusion pressure: a systematic review and meta-analysis. <i>Sports Medicine</i>
Retenção de líquido	2011	O artigo menciona que a retenção de líquido ocorre em 5-10% dos casos. Isso é atribuído a uma resposta inflamatória e desequilíbrio hídrico-eletrólito.	A retenção de líquido é observada em 5-10% dos casos e está relacionada a uma resposta inflamatória e desequilíbrio hídrico-eletrólito.	Loenneke & Pujol (2011). Blood flow restriction exercise: Consideration of methodology

Fonte: Petterson et al., (2019), Hughes et al., (2017), Loenneke & Pupi, (2014)

Assim, o presente estudo propõe o desenvolvimento de um protótipo de um sistema integrado a um dispositivo eletrônico mecânico, que tem por função principal, controlar os protocolos de aplicação do método RFS, fornecer *feedback* em tempo real sobre os parâmetros fisiológicos do paciente, proporcionar acompanhamento da evolução do paciente ao longo das sessões, limitar a intervenção do profissional especialista e proporcionar maior segurança na execução do método, reduzindo significativamente eventos adversos oriundos de erro humano.

Este sistema deve ser capaz de coletar dados iniciais sobre a saúde do paciente para eventual indicação ou contraindicação da aplicação do RFS, estabelecer as referências fisiológicas basais, determinar os protocolos de aplicação (número e frequência das sessões,

dividir em ciclos de periodização, tempos de execução e intervalos, pressões, séries, número e tipos de exercícios).

Ainda, possibilitar a coleta dos dados fisiológicos (frequência cardíaca em repouso e durante a atividade, saturação de O₂, pressão arterial antes, durante e pós-aplicação do método, transmissão dos dados por tecnologia sem fio para um dispositivo móvel capaz de processar os dados recebidos e gerar planilhas e relatórios gráficos com a finalidade de acompanhar a evolução do paciente o longo da aplicação dos protocolos.

O desenvolvimento do dispositivo eletrônico mecânico deve considerar ainda, diversos fatores técnicos e de design. Inicialmente, a precisão na medição e controle da pressão de oclusão é essencial. O dispositivo deve ser capaz de aplicar pressão de maneira uniforme e consistente, evitando áreas de hiper ou hipo-oclusão que poderiam comprometer a eficácia do treino ou aumentar o risco de lesão.

Neste aspecto, a experiência de um profissional de saúde especializado é de fundamental importância, visto a necessidade de se conhecer de forma ampla e inequívoca a anatomia, a biomecânica e a fisiologia envolvidas, já que este será o responsável pelo posicionamento dos manguitos e também pela determinação dos protocolos adequados ao caso, Laurentino *et al.*, (2012).

Por fim, a segurança é o aspecto crucial. O dispositivo deve detectar e responder a sinais de alerta, como mudanças súbitas nos parâmetros fisiológicos, na frequência cardíaca ou sinais de comprometimento vascular. Nakajima *et al.* (2006) sugerem que FC fora de faixas normais durante oclusão pode refletir comprometimento vascular ou sobrecarga autonômica, por exemplo. A implementação de mecanismos de desligamento automático e manual, em caso de emergência pode prevenir complicações graves.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo Trata-se de uma pesquisa aplicada, de natureza experimental e quantitativa, voltada para o desenvolvimento e validação de um sistema eletrônico-mecânico destinado à aplicação do treinamento resistido sob restrição de fluxo sanguíneo (RFS).

Embora o RFS tenha demonstrado ser eficaz ao longo dos anos, a implementação segura do método depende de uma precisa calibração da pressão de oclusão entre outros detalhes. Estudos como o de Loenneke *et al.*, (2011) têm mostrado que a variação na pressão de oclusão pode influenciar significativamente a percepção de dor, o desconforto e o risco de complicações como a trombose venosa profunda (TVP), danos ao tecido epitelial (ativação dos processos hemostáticos) e danos aos nervos, Loenneke *et al.* (2014). Nesse contexto, a necessidade de desenvolver dispositivos eletrônico-mecânicos que permitam o controle preciso dos níveis de pressão durante a aplicação do método se torna evidente.

Dispositivos avançados podem fornecer *feedback* em tempo real sobre a pressão aplicada, ajustando-a automaticamente para manter níveis seguros e eficazes de oclusão. Além disso, é importante incorporar sensores que monitorem os parâmetros fisiológicos do usuário, como a saturação de oxigênio no músculo e a resposta cardiovascular, permitindo um ajuste dinâmico e individualizado da pressão de oclusão Kacin *et al.*, (2011).

Sempre visando à segurança do paciente e do técnico especialista propõe-se o desenvolvimento deste sistema, cujo objetivo principal é mitigar os efeitos adversos associados às práticas realizadas sem controle adequado. Trata-se de um sistema integrado que busca controlar, de forma autônoma, a aplicação do método, minimizando a intervenção do profissional de saúde e, consequentemente, reduzindo as chances de erro humano.

3.1 O Hardware do dispositivo

Inicialmente, para o estudo, foi desenvolvido um protótipo munido de um manômetro aneroide analógico e um protótipo munido de sensores eletrônicos, ambos acoplados às abraçadeiras em material sintético semelhante ao Nylon, impermeável, lavável, em formato de envelope com as dimensões de 70 mm de largura por 650 mm de comprimento, ajustáveis por uma faixa de tecido sintético com fechos em velcro, nas

dimensões de 50 mm de largura por 700 mm de comprimento e reguladores em polímero plástico com 50 mm de comprimento por 30 mm. de largura

Figura 13 – Abraçadeira, pera de insuflação e manômetro aneróide.



Fonte: O autor, (2024)

Cada abraçadeira analógica contém ainda, um manômetro aneróide da marca P.A. Med., lote nº 156307, com verificação inicial no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) sob o nº 25.938.065-9 e aferido por coluna de mercúrio em data de 12/04/2024 e um manômetro aneróide da marca P.A. Med. Lote nº 230905, com verificação inicial no INMETRO nº 26.095.475-5 e aferido por coluna de mercúrio em data de 12/04/2024, uma pera de insuflação em silicone, padrão com registro de passagem de ar metálico e válvula de “escape” também metálica e um manguito em silicone para pressão arterial com duas vias, tamanho adulto. Estas, desenvolvidas exclusivamente em caráter comparativo para o protótipo eletrônico/mecânico.

As abraçadeiras foram identificadas arbitrariamente pela cor azul para a aplicação em membros superiores. O desenvolvimento do sistema integrado eletrônico mecânico para a aplicação do método considerou diversos fatores técnicos e de design.

3.2 Mecanismos de controle da pressão de oclusão (PO)

Durante os testes de pressão, o dispositivo mostrou-se capaz de aplicar pressão de maneira uniforme e consistente, por meio de braçadeira específica, a um recipiente cilíndrico de composição em polietileno tereftalato (PET), com capacidade nominal de 2 litros, preenchido completamente com água em temperatura ambiente, para atuar como um simulador de volume deformável durante os testes.

O recipiente foi posicionado sob o manguito pneumático do dispositivo de restrição de fluxo sanguíneo (RFS), permitindo a avaliação da pressão exercida pelo manguito sobre uma superfície lisa com propriedades físicas consistentes.

A escolha da água como fluido preencheu os critérios de densidade uniforme e compressibilidade desprezível, proporcionando um meio estável e repetível para a calibração e validação do sistema de pressão aplicado pelo dispositivo, sendo inflado por uma pera de insuflação manual e por bomba mecânica de insuflação repetidamente, confrontado em ambos os momentos por manômetro analógico aferido por coluna de mercúrio e sensor barométrico eletrônico, apresentando valores semelhantes entre si e se comparados aos valores obtidos pelo sensor barométrico, em mmHg, durante todas as tentativas.

Adicionalmente, o conforto do usuário foi uma consideração chave. o dispositivo deve ser ergonômico e ajustável para diferentes tamanhos de membros e a escolha de um tecido lavável para a composição do dispositivo assegura uma higienização mais eficaz, reduzindo o risco de contaminação por uso repetido.

Figura 14 - Protótipo analógico montado, sem o protótipo eletrônico.



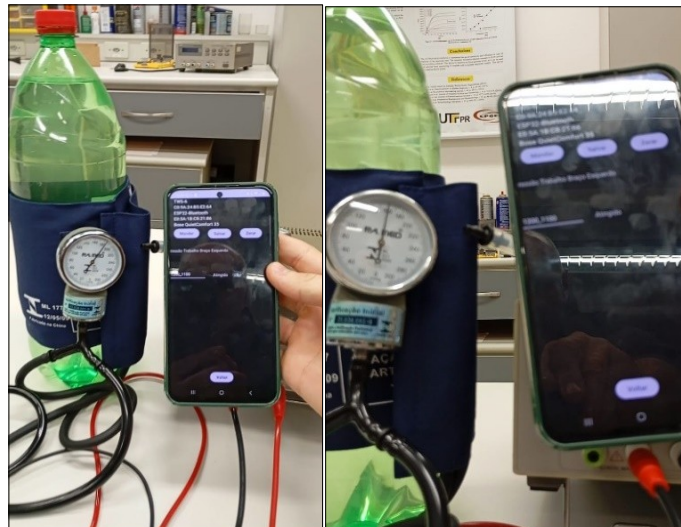
Fonte: O autor, (2024)

Além disso, a durabilidade do material permite sua reutilização frequente sem comprometimento das propriedades físicas, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência do equipamento em aplicações prolongadas. O uso de abraçadeiras reguláveis para diversas circunferências de membros, torna a aplicação do método mais confortável. Abraçadeiras de tecido não elástico, proporciona o uso de menores cargas pressóricas. Loenneke *et al.*, (2014).

3.3 Mecanismo de segurança do protótipo

No aspecto da segurança, como demonstrado na figura 15, o dispositivo detecta e responde a sinais de alerta, como mudanças súbitas na pressão arterial ou sinais de comprometimento vascular (mudanças na frequência cardíaca e saturação de O₂).

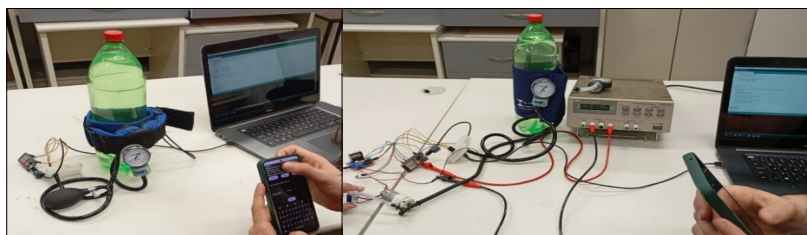
Figura 15 - Teste do protótipo eletrônico inflado por pera de silicone e pela bomba de insuflação mecânica, confrontados com os valores obtidos pelo sensor barométrico.



Laboratório de Engenharia Elétrica da UTFPR. Fonte: o autor, (2024).

Em um teste realizado no laboratório da UTFPR, o dispositivo foi submetido repetidamente a cargas pressóricas extremas (acima dos 300mmHg), cumprindo sempre com a função de desinflar até o padrão previamente estabelecido automaticamente, sempre que atingia o nível de 300 mmHg (para o caso), e criando alertas sonoros sempre que atingia um nível crítico de pressão garantindo a segurança da aplicação. O dispositivo, conta ainda com uma tecla de interrupção manual (sistema de *backup*) para os casos em que eventuais panes eletrônicas possam ocorrer.

Figura 16 - Teste de segurança de insuflação, onde a braçadeira é submetida à pressão 170 mmHg, determinada como pressão limítrofe, devendo retornar à pressão de trabalho automaticamente.



Laboratório de Engenharia Elétrica da UTFPR. Fonte: O autor, (2024)

A implementação de mecanismos de desligamento automático e retorno aos padrões estabelecidos pelo protocolo escolhido, representado pela figura 16, em caso de emergência pode prevenir complicações graves Nakajima *et al.*, (2011).

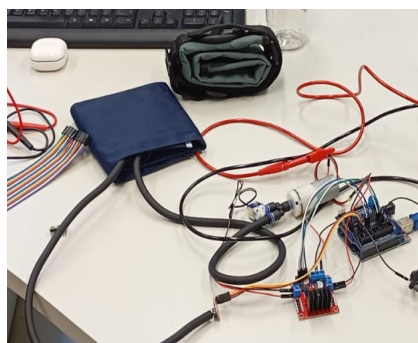
O sistema dispõe de sensores integrados por meio de tecnologia *Bluetooth*, posicionados estrategicamente para aferir a, frequência cardíaca e saturação de O₂ em tempo real, proporcionando maior acurácia no controle dos parâmetros fisiológicos relevantes e garantindo ao técnico especialista, maior controle sobre a segurança da aplicação do método.

3.4 A transmissão dos dados por tecnologia sem fio

Para o envio das informações coletadas, é utilizada tecnologia sem fio, tipo *Bluetooth*, que as transmite para um dispositivo mobile de controle e processamento, onde são processadas e efetivadas, gerando relatórios e gráficos estatísticos. O dispositivo, por meio do *software* embarcado, coleta os dados que são processados por uma unidade central de processamento e enviados a uma unidade de armazenamento de dados e por fim, gera os relatórios de acompanhamento dos pacientes/usuários.

O desenvolvimento do *hardware* para vasoconstrição inicia-se com uma etapa de projeto e construção, priorizando a concepção de um sistema compacto, funcional e seguro. A seleção dos componentes, incluindo microcontroladores, sensores de pressão, bombas de ar e válvulas de corrente contínua (DC), constitui uma etapa crítica, uma vez que influencia diretamente a precisão no controle da pressão aplicada aos vasos sanguíneos. Na figura 17, podemos observar o hardware sendo testado quanto à sua capacidade de insuflação e desinsuflação. Esse controle deve assegurar a eficácia da vasoconstrição sem comprometer a segurança do usuário.

Figura 17 –Protótipo sendo testado quanto a capacidade de insuflação no Laboratório de Engenharia Elétrica da UTFPR



Fonte: O autor, (2024)

3.5 Montagem do dispositivo

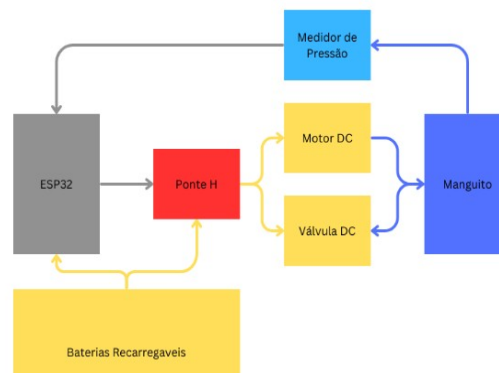
A montagem do sistema envolve a integração cuidadosa desses elementos, resultando em um equipamento coeso, capaz de responder dinamicamente a variações de pressão e parâmetros fisiológicos, garantindo desempenho consistente.

A calibração dos sensores de pressão é conduzida com alta precisão para assegurar que os níveis de aplicados permaneçam dentro de limites de segurança e previstos pelo protocolo, minimizando os riscos ao sistema circulatório.

Os testes em ambiente controlado, foram realizados inicialmente para validar a funcionalidade e estabilidade do sistema, avaliando a capacidade do dispositivo de ajustar a pressão automaticamente e preservar a integridade dos componentes durante uso prolongado.

Com base nos resultados, ajustes adicionais foram implementados para otimizar o desempenho do equipamento. Abaixo, na figura 18, vemos um esquemático de funcionamento do dispositivo.

Figura 18 – Quadro demonstrativo do Esquemático do dispositivo



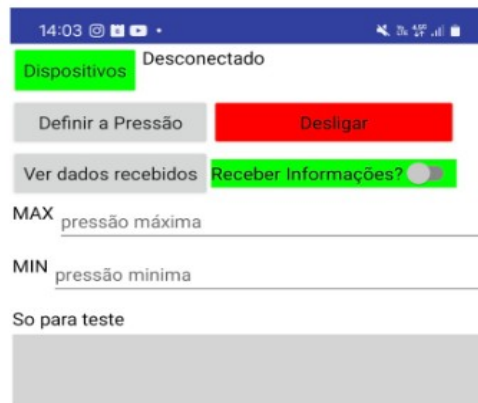
Fonte: O autor, (2024)

3.6 Conectividade e aplicativo

A integração da tecnologia *Bluetooth* é um aspecto essencial, que permite o controle remoto do dispositivo por meio de um aplicativo *Android*. Essa conectividade oferece ao técnico especialista a possibilidade de ajustar parâmetros de pressão e tempos e monitorar

resultados diretamente em *smartphones* ou *tablets* munidos de sistema *Android*, eliminando a necessidade de ajustes manuais. Na figura 19, vemos uma primeira tela de teste de conexão do hardware com um dispositivo móvel, por meio de tecnologia *Bluetooth*.

Figura 19 - Tela de conectividade do dispositivo



Fonte: O autor, (2024)

A implementação dessa funcionalidade exige o desenvolvimento de uma interface robusta e eficiente entre o dispositivo e o aplicativo, garantindo comunicação estável e contínua.

Em ambientes clínicos ou domiciliares, essa tecnologia possibilitará que profissionais de saúde controlem remotamente o dispositivo, otimizando sua aplicabilidade.

Outro aspecto relevante é a incorporação de sistemas de *feedback* em tempo real, que permitem ao dispositivo ajustar automaticamente a pressão com base nos parâmetros fisiológicos do usuário.

Essa funcionalidade aprimora a segurança do método, reduzindo o risco de complicações. Sistemas de segurança redundantes complementam a integração, assegurando a operação dentro de limites preestabelecidos e transmitindo maior confiança tanto para os técnicos especialistas, quanto para os pacientes envolvidos.

3.7 Resultados do hardware

O desenvolvimento do hardware enfrentou desafios significativos, especialmente na escolha dos componentes. Sensores, válvulas e bombas de ar precisaram atender a critérios técnicos rigorosos, como precisão e durabilidade, frequentemente gerando conflitos entre compatibilidade e funcionalidade. Isso resultou em ajustes frequentes no projeto inicial e em uma série de testes destinados a garantir confiabilidade sem comprometer o desempenho.

Durante a montagem mecânica, um dos principais desafios foi a ocorrência de vazamentos de ar nas conexões dos componentes, causados por diferenças dimensionais entre as *interfaces* disponíveis. A figura 20, ilustra o momento em que foi encontrado vazamento de pressão no sistema. Para solucionar a questão, foram utilizados conectores e adaptadores, embora essas adaptações tenham introduzido novas dificuldades. Refinamentos nas conexões foram necessários para prevenir perdas de pressão.

Figura 20 –Solucionando vazamento encontrado na conexão principal da bomba, Laboratório de Engenharia Elétrica da UTFPR -



Fonte: O autor, (2024)

Paralelamente, a integração do protocolo de comunicação *Bluetooth* revelou-se complexa, exigindo um equilíbrio entre eficiência, confiabilidade e segurança na troca de dados. A implementação de comunicação bidirecional entre dispositivos demandou protocolos avançados que assegurassem a estabilidade sem sobrecarregar o sistema.

Esses desafios evidenciam a complexidade do desenvolvimento de dispositivos médicos de alta precisão, destacando a importância de uma abordagem interativa e multidisciplinar para superar limitações técnicas e alcançar resultados confiáveis e seguros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

dispositivo tem por função inicial restringir o fluxo sanguíneo arterial em um percentual predefinido, visando aumentar a concentração de metabólitos na área alvo. Este efeito cria condições ideais para maximizar a síntese proteica e promover o fortalecimento muscular e a hipertrofia, mesmo com a utilização de cargas resistivas baixas. Ao controlar com alta precisão a pressão de oclusão, o dispositivo proporciona segurança e eficácia na aplicação do método RFS.

Além dessas, outras funcionalidades do sistema podem ser observadas:

- a) Coletar e armazenar dados de anamnese inicial do paciente, incluindo nome, idade (baseada na data de nascimento em relação à data da sessão de treinamento), sexo, massa, estatura, dados de perímetria, bem como os resultados anteriores nos testes de PAR-Q, Thomas *et al.*, (1992), tabela de risco de aplicação de RFS de Madarame, Nakajima, Morita e Sato, (2010) e tabela de risco tromboembólico de Caprini, (2010);
- b) Utilizar os protocolos antropométricos para estimativa de composição corporal, com opções de escolha pelo técnico especialista, conforme a diversidade étnica e bioimpedância tetrapolar, baseado nos dados fornecidos;
- c) Definir a periodização do método, com datas específicas, duração e controle das sessões, número de microciclos, duração do mesociclo e duração total do macrociclo;
- d) Coletar dados fisiológicos em tempo real, como pressão arterial em repouso, pressão de oclusão total, frequência cardíaca em repouso e a cada 30 segundos, pressão arterial antes do início de cada sessão e por fim, a saturação de O₂ antes, durante e ao final da sessão;
- e) Determinar a pressão de trabalho com base na pressão de oclusão total, e na pressão arterial sistólica braquial, em repouso e de forma autonômica;
- f) Registrar e ajustar os parâmetros de treinamento de acordo com os dados obtidos na coleta de dados fisiológicos do paciente e número de exercícios, tipos de exercícios, tempos de compressão, número de séries, tempos de intervalo e tempos de reperfusão;

- g) Gerar relatórios comparativos de progresso e transmitir os dados para um dispositivo móvel, para processamento e geração de relatórios em PDF e *dashboards* de acompanhamento;

4.1 Procedimentos e fundamentação teórica

1. Anamnese Inicial: Os dados iniciais do paciente serão coletados manualmente, por questionário aplicado e autorrelato e inseridos no dispositivo, por meio de teclado virtual exibido na interface do aplicativo;
2. Dados Pessoais: Data da sessão, nome, data de nascimento, idade, sexo, massa, estatura, frequência cardíaca em repouso e o cálculo da frequência cardíaca máxima, frequência cardíaca de reserva, pressão arterial em repouso e saturação (Spo2);
3. Dados Antropométricos: Escolha do protocolo de estimativa de composição corporal adequado à etnia e compleição física do paciente e subsequente tomada dos dados de perimetria e dobras cutâneas;
4. Estado de saúde: Preenchimento dos questionários validados, baseado em autorrelato como o PAR-Q Thompson, W. R., Haskell, W. L., Vranjes, S., & Bouchard, C. (1992), Tabela de Madarambe, Nakajima, Morita e Sato, (2010), Tabela de Caprini, (2010) para risco tromboembólico, equação de Brzycki, (1993) para determinação de carga máxima, esta última apenas para o caso de pacientes com indicação médica para serem submetidos a teste de força por repetições máximas, sendo contraindicado nos demais casos.

4.2 Coleta de dados fisiológicos

Os sensores integrados ao sistema, bem como as abraçadeiras pneumáticas por meio do sensor barométrico, são responsáveis por coletar em tempo real os dados referentes à:

- a) Pressão Arterial em Repouso: medida antes do início de cada sessão;
- b) Pressão de Oclusão Total: determinada pela relação entre a compressão pneumática gradual do membro e a aferição simultânea da frequência cardíaca até que se torne imperceptível, sendo registrada neste momento a pressão em mmHg;

- c) Monitoramento da Frequência Cardíaca Pré e Durante o Exercício: A frequência cardíaca será monitorada em repouso e a cada 30 segundos durante a sessão;

Durante uma sessão de exercícios, a FC é monitorada continuamente ou em intervalos regulares, frequentemente a cada 30 segundos. Este monitoramento regular é essencial para:

- Avaliar a Resposta ao Exercício: Observando como a FC varia durante o exercício, é possível determinar a intensidade do esforço e como o corpo está respondendo a ele D'assunção *et al.*, (2007);
- Ajustar a Intensidade do Treino: Com base nos dados de FC, a intensidade do exercício pode ser ajustada em tempo real para garantir que o treinamento permaneça na zona desejada Jockner *et al.*, (2019);

4.3 Critérios de inclusão e exclusão

São critérios para inclusão do paciente/usuário à aplicação do método RFS, não atingir valores somatórios nos questionários aplicados compatíveis com contraindicação, conforme as diretrizes obtidas pelo consenso da ACSM (2018), encontradas nos questionários validados PAR-Q e Tabela de Caprini, (2010) para risco tromboembólico e tabela de Madarame, Nakajima, Morita E Sato, (2011).

São considerados indicados à aplicação do método, pacientes que responderam aos questionários aplicados e não obtiveram pontuação suficiente para sua contraindicação, estejam em condições de pressão arterial normotensa ou nas condições previstas pelo consenso da ACSM (2018) e esteja classificado como baixo a moderado risco tromboembólico.

Ao obter êxito nas avaliações das condições de segurança para aplicabilidade do método, serão aferidas as P.A. sistólica e diastólica. em repouso, bem como a frequência cardíaca, sendo esta última, utilizada para estimar a frequência cardíaca máxima por meio da equação de Tanaka *et al.* (2001) representada por $(208 - (0,7 \times \text{idade}))$ e frequência cardíaca de reserva.

4.4 Zonas de intensidade

A partir destes dados, são definidas as zonas de treinamento obtidas no trabalho de Karvonen, Kentala E Mustala, (1957), que estabeleceram as zonas de treinamento com base na frequência cardíaca de reserva.

A frequência cardíaca de reserva (FCRes.) é uma medida utilizada na avaliação e prescrição de exercícios físicos, especialmente em programas de treinamento cardiovascular. Ela é calculada subtraindo-se a frequência cardíaca de repouso (FCR) da frequência cardíaca máxima (FCM). A FCRes. representa a capacidade do coração de aumentar sua frequência durante o exercício em relação ao estado de repouso. Também desempenha um papel crucial na determinação da intensidade do exercício recomendada para indivíduos em diferentes níveis de condicionamento físico e objetivos de treinamento.

Um estudo realizado por Cunha *et al.*, (2010), destacou a importância da FCRes. na prescrição de exercícios para otimizar os benefícios cardiovasculares e a segurança durante o treinamento. A utilização da FCRes. permite uma prescrição mais personalizada e precisa, levando em consideração as características individuais de cada pessoa, como idade, nível de condicionamento físico e saúde cardiovascular.

Figura 21 – Quadro adaptado de intensidade do treinamento

• Zona de Recuperação (50-60% da FCM)
• Zona de Condicionamento Físico Básico (60-70% da FCM)
• Zona de Melhoria da Resistência Aeróbica (70-80% da FCM)
• Zona de Desenvolvimento da Capacidade Aeróbica (80-90% da FCM)
• Zona de Treinamento de Potência Anaeróbica (acima de 90% da FCM)

Fonte: Karvonen, (1957)

Isso é fundamental para garantir que o exercício seja desafiador o suficiente para promover adaptações benéficas, sem causar sobrecarga excessiva ou riscos à saúde. Além disso, pode também ser utilizada para monitorar a intensidade do exercício durante a sessão de treinamento.

Um estudo conduzido por Karvonen *et al.*, (1957) demonstrou que manter a frequência cardíaca dentro de uma faixa específica da FCRes. durante o exercício pode

proporcionar benefícios adicionais para a saúde cardiovascular. Eles estabeleceram as zonas de intensidade, conforme demonstrada na Quadro adaptado da figura 21:

4.5 Calculando a intensidade

$FC_{Res.} = FCR + (FC_{máx} - FCR) \times I$, onde:

$FC_{Res.}$ é a frequência cardíaca obtida pela diferença entre a FCR e a $FC_{Máx}$. FCR é a frequência cardíaca em repouso

$FC_{máx}$ é a frequência cardíaca máxima

I é a faixa de intensidade desejada para o objetivo definida em percentual.

Equações Mais Recentes:

Pesquisas posteriores desenvolveram modelos alternativos para estimar a frequência cardíaca máxima, com maior precisão em populações específicas. Destacam-se as seguintes:

a. Tanaka *et al.* (2001);

$$FC_{max} = 208 - (0,7 \times Idade)$$

- Estudo: Baseado em metanálises de dados mais amplos e demograficamente diversos;
- Vantagem: Reduz o erro associado à equação tradicional (220 - Idade);
- População-alvo: Adultos de diferentes níveis de condicionamento físico;

b. Gellish *et al.* (2007);

$$FC_{max} = 207 - (0,7 \times Idade)$$

- Estudo: Dados obtidos em um espectro mais amplo de faixas etárias e atletas;
- Diferencial: Maior aplicabilidade em atletas;

Machado e Denadai, (2011), ratificaram o trabalho de verificando que A equação "208 - (0,7 x idade)" se mostrou válida apresentando resultados bastante próximos da FC_{máx}. aferindo o monitoramento contínuo da FC durante o exercício fornece informações importantes sobre a condição física e o progresso do indivíduo e auxilia na:

- Prevenção de Sobrecarga: Evitar que o indivíduo ultrapasse os limites seguros de esforço, prevenindo riscos como exaustão ou problemas cardíacos, Tanaka *et al* (2001);
- Personalização do Treinamento: Adaptar os programas de treino às necessidades e capacidades individuais, otimizando o desempenho e os resultados, Cunha *et al.*, (2010);
- Acompanhamento da Recuperação: Monitorar a FC em repouso e após o exercício para avaliar a recuperação e ajustar os períodos de descanso (CUNHA *et al.*, 2010);

4.6 Duplo produto e sua aplicação no TRRFS

O duplo produto (DP), também conhecido como produto frequência-pressórico (PFP), é uma variável fisiológica amplamente utilizada para estimar a demanda miocárdica de oxigênio durante o exercício físico. Gobel *et al.*, 1978; Mcardle *et al.*, (2014). É calculado pela equação:

$$DP = FC \times PAS$$

Onde:

FC = Frequência Cardíaca (bpm)

PAS = Pressão Arterial Sistólica (mmHg)

O DP reflete o trabalho cardíaco e a sobrecarga imposta ao miocárdio durante a atividade física, sendo um indicador relevante para avaliar a segurança de protocolos de exercício, especialmente em populações com risco cardiovascular elevado Mcardle *et al.*, (2014).

4.7 Importância do DP na RFS

A restrição de fluxo sanguíneo (RFS) aplicada ao treinamento resistido consiste na oclusão parcial do fluxo arterial e venoso dos membros por meio de um dispositivo compressivo, permitindo a realização de exercícios com baixas cargas (20-30% de 1RM), mas induzindo respostas fisiológicas similares às do treinamento de alta intensidade ($\geq 70\%$ de 1RM), Loenneke *et al.*, (2012); Patterson *et al.*, (2019). Embora a RFS seja eficaz para hipertrofia e reabilitação muscular, a segurança cardiovascular é um fator crítico, especialmente em indivíduos com hipertensão arterial, doença arterial coronariana ou outras condições cardiovasculares.

Estudos como o de Nakajima *et al.*, (2006) indicam que o DP durante o treinamento com RFS é menor em comparação ao treinamento tradicional de alta intensidade, devido às menores cargas utilizadas e à consequente redução da resposta pressórica associada ao esforço. Entretanto, a compressão dos vasos pode gerar resistência vascular periférica aumentada, elevando a pressão arterial sistólica (PAS) e, consequentemente, o DP.

4.7.1 Principais achados sobre DP na RFS:

- Carga Reduzida → Menor estímulo adrenérgico → Menor elevação da FC;
- Oclusão Vascular → Aumento da resistência periférica → Possível elevação da PAS;
- Resposta Cardiovascular Variável → Dependente da pressão de oclusão, tempo de restrição e nível de treinamento do indivíduo;

Figura 22 - Quadro de diretrizes de utilização do DP.

Critério	Recomendação para Segurança na RFS
Pressão de Oclusão	Utilizar 40-50% da pressão de oclusão total (POT) para hipertensos e idosos (Counts <i>et al.</i> , 2016).
Tempo de Restrição	Limitar o tempo de oclusão a 5-10 min por exercício , respeitando intervalos de reperfusão.
Monitoramento do DP	Evitar valores superiores a 25.000 mmHg.bpm durante o treinamento, principalmente em indivíduos hipertensos (McArdle <i>et al.</i> , 2014).
Intensidade do Exercício	Manter cargas $\leq$ 30% de 1RM , evitando aumentos excessivos na FC e PAS.
Evitar Exercícios Isométricos	Exercícios isométricos prolongados podem causar respostas pressóricas excessivas (Fahs <i>et al.</i> , 2012).

Fonte, O autor, 2024

Dessa forma, a prescrição do método RFS deve considerar o monitoramento do DP, garantindo que o estímulo cardiovascular permaneça dentro de limites seguros, principalmente em indivíduos com fatores de risco cardiovasculares Nakajima *et al.*, (2006); Hughes *et al.*, (2017).

O monitoramento da SpO₂ ajuda a entender como o oxigênio está sendo distribuído e utilizado pelo músculo durante o exercício com RFS. A restrição do fluxo sanguíneo pode limitar a quantidade de oxigênio que chega ao músculo, e medir a SpO₂ pode permitir avaliar a eficácia dessa distribuição, Patterson *et al.*, (2019).

4.10 Prevenção de hipóxia excessiva

Exercícios com RFS intencionalmente reduzem o fluxo sanguíneo e oxigenação para criar um ambiente de hipóxia muscular. No entanto, é crucial evitar níveis excessivos de hipóxia que poderiam causar danos ao tecido muscular ou outras complicações fisiológicas. Monitorar a SpO₂ ajuda a assegurar que os níveis de oxigênio não caiam a um nível perigoso, Held, Beringher e Donath, (2019).

A mensuração da SpO₂ pode ajudar a ajustar a intensidade do exercício e a pressão do manguito durante o RFS. Se a SpO₂ cair demasiadamente, pode ser necessário reduzir a pressão do manguito ou ajustar a intensidade do exercício para garantir que os níveis de oxigênio permaneçam em uma faixa segura, Wernborn *et al.*, (2019).

A resposta da SpO₂ ao exercício com *BFR* pode fornecer informações sobre o condicionamento físico e a capacidade de recuperação do indivíduo. Indivíduos mais bem condicionados podem manter níveis de SpO₂ mais estáveis durante o exercício com RFS, Patterson *et al.*, (2019).

4.11 Segurança do exercício

Monitorar a SpO₂ é uma medida de segurança para prevenir possíveis complicações, como a hipóxia severa, que pode levar a tonturas, desmaios ou, em casos extremos, lesões teciduais. Garantir que a SpO₂ se mantenha dentro de uma faixa segura é essencial para a prática segura do RFS, Patterson *et al.*, (2019).

Figura 23 – Quadro adaptado de Spo2 (%) e procedimentos de segurança

Estado	SpO ₂ (%)	Procedimentos de Segurança
Normal (em repouso)	100- 95%	Continuar monitorando a SpO ₂ regularmente. Não são necessárias ações adicionais se os níveis de SpO ₂ permanecerem nesta faixa.
Hipóxia Leve	94- 90%	Manter a intensidade do exercício, mas continuar monitorando de perto. Ajustar se a SpO ₂ continuar caindo.
Hipóxia Moderada	89- 85%	Reduzir ligeiramente a intensidade ou a pressão do manguito. Monitorar constantemente a SpO ₂ e o estado do praticante.
Hipóxia Severa	<85%	Interromper imediatamente o exercício. Remover o manguito e permitir a recuperação completa. Avaliar a necessidade de intervenção médica.

Fonte: Loenneke et al., (2014)

4.12 Determinação da intensidade (carga) do exercício

A Intensidade do exercício (carga aplicada) é determinada por estimativa obtida a partir da aplicação da equação de Brzycki *et al.*, (1993), onde por meio de repetições máximas, é possível inferir a carga de trabalho. A equação é disposta no formato:

$$1RM = \frac{\text{peso em kg}}{[1,0278 - (0,0278 * \text{rep})]}$$

O monitoramento contínuo da saturação de oxigênio periférico (SpO₂) durante o exercício fornece *feedback* em tempo real sobre a resposta fisiológica do corpo ao exercício com restrição de fluxo sanguíneo (RFS). Esse *feedback* pode ser utilizado para realizar ajustes imediatos, melhorando a segurança e a eficácia do treinamento Patterson *et al.*, (2019).

O dispositivo se propõe, por meio do acompanhamento em tempo real, comparar continuamente os dados fisiológicos coletados com os parâmetros de referência. Caso os valores apresentados atinjam níveis críticos, o dispositivo iniciará automaticamente o processo de coleta e armazenamento dos dados, desinflação automática ou mecânica e autodesligamento, exibindo uma mensagem de interrupção do treinamento por motivos de segurança.

O profissional especialista poderá observar os dados coletados, incluindo a pressão exercida sobre a artéria no momento da manobra de segurança, permitindo avaliar o contexto e as condições de saúde do paciente. Além disso, o paciente poderá ser encaminhado a profissionais capacitados para que sejam adotados os procedimentos adequados.

4.13 Entrada manual de dados de treinamento

Antes do início das sessões de treinamento, o profissional especialista definirá manualmente os seguintes parâmetros:

- Protocolo de aplicação (variáveis dos exercícios e número e tipos);
- Tempos de compressão, número de séries e tempos de intervalo (com ou sem compressão);
- Tempo de reperfusão pós-exercício (não excedendo 5 minutos);
- Os tempos totais de oclusão não deverão exceder à 15 min. somados para membros superiores e 20 min para membros inferiores, conforme os protocolos estabelecidos em estudos anteriores. Patterson *et al.*, (2019), Loenneke *et al.*, (2013);

4.14 Cálculos e estimativas

A POT é aferida de forma empírica pela verificação da pulsação na fossa cubital enquanto se infla um manguito de pressão de forma gradual na posição proximal do braço para membros superiores. Ainda, é possível estabelecer os valores de POT e POT_t , por meio de equações validadas ou utilização de dispositivos Doppler Ultrassom, Pletismógrafo Oxímetro de pulso e outros.

A Pressão de Oclusão total da artéria (POT) pode ser estimada com base na pressão exercida em mmHg durante a oclusão, até que a pulsação não seja mais perceptível. A obtenção da pressão de trabalho pode ser obtida por meio da equação expressa como:

$$P_{MS} = (POT_{MS} \times I), \text{ onde:}$$

- P_{MS} é a pressão de trabalho
- POT_{MS} é a pressão de oclusão total da artéria
- I é a porcentagem aproximada da redução do fluxo arterial

Protocolos de restrição de fluxo sanguíneo (BFR) com pressões baixas, entre (40% e 50%) resultam em menor dor e esforço percebido comparados aos protocolos de alta pressão (60% e 80% da POT).

4.15 Carga resistida de trabalho

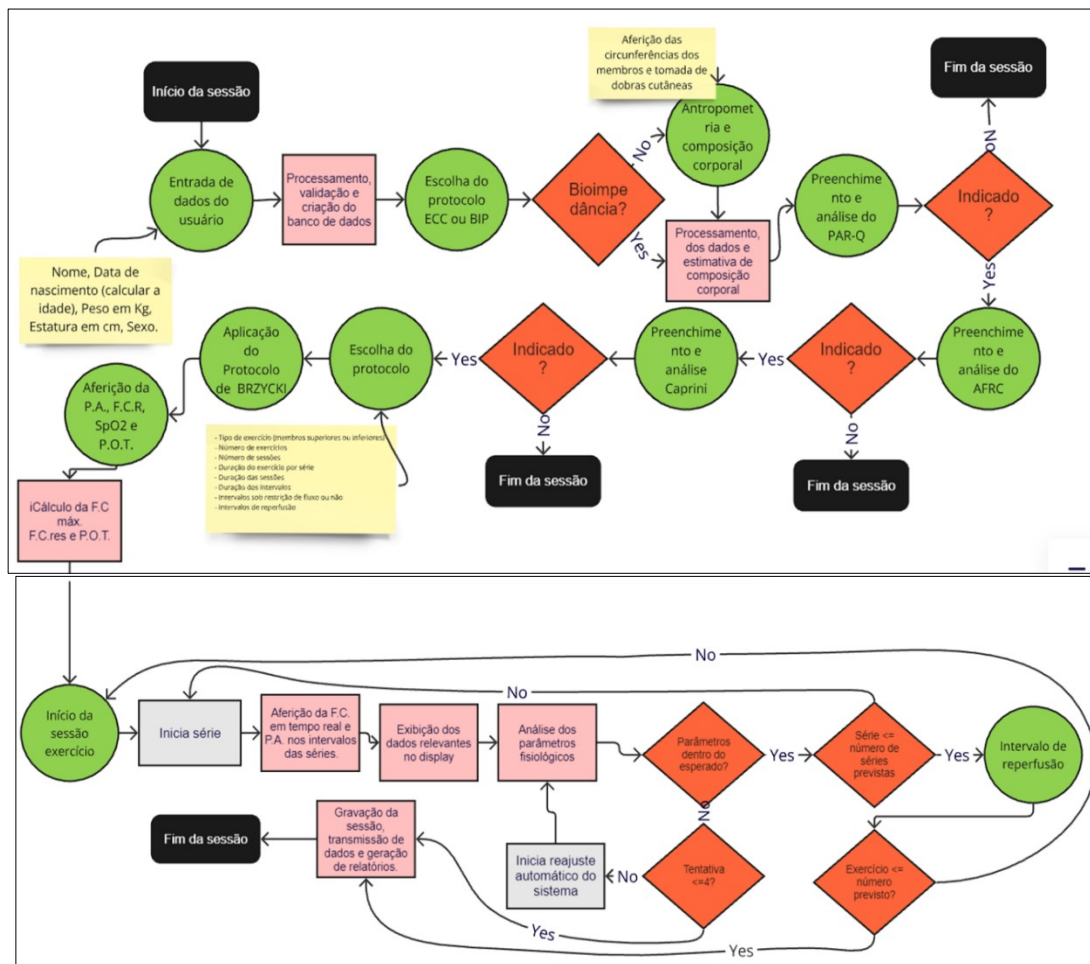
Para obter ganhos de força similares ao treinamento resistido de alta intensidade convencional, é necessário utilizar uma carga resistiva entre 20% e 30% de 1RM com restrição de fluxo sanguíneo, lembrando que cargas resistivas acima de 50% não resultam em melhores resultados em ganhos em hipertrofia e força, além de aumentar o risco de lesão músculo tendínea e de condropatias, Loenneke, (2013).

O uso de pressões arbitrárias é comum, mas apresenta riscos de segurança. A tendência recente é utilizar percentuais da POT para maior segurança e eficácia enquanto pressões de oclusão entre 50% e 80% da POT são consideradas ótimas para o treinamento com RFS, Patterson *et al.*, (2019).

4.16 O software controlador do dispositivo

O fluxograma abaixo representado na figura 23, demonstra o funcionamento passo a passo, da integração do sistema Software/hardware, para execução dos protocolos de aplicação do método de RFS.

Figura 24 - Fluxograma de aplicação do método em relação ao aplicativo de controle.



Fonte: O autor, (2024)

4.17 Interface de entrada de dados

O aplicativo instalado em um dispositivo *mobile* padrão, com interface amigável e intuitiva, possibilitará a entrada manual de informações iniciais sobre identificação básica, antropometria e o estado de saúde e do paciente (anamnese), bem como as condições de indicação ou contraindicação à aplicação do método.

Os dados considerados relevantes foram definidos com base no método de anamnese e avaliação física, visando a segurança do paciente. Ao iniciar a anamnese, é aplicado um questionário validado, Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q), Thomas *et al.*, (1992), demonstrado abaixo na figura 24, para avaliação quanto à aptidão para participar de atividades físicas.

Figura 25 - Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q)

Questionário de Prontidão Física (Physical Activity Readiness Questionnaire) ou "PAR-Q"	
NOME: 0	DATA: 16/04/2024
QUESTÕES	
Para as questões que responder não pontue com valor:	0
Para as questões que responder sim pontue com valor:	1
1) Você disse que você possui um problema do coração e recomendou que só fizesse atividade física sob supervisão médica?	0
2) Você sente dor no peito causada pela prática de atividade física?	0
3) Você sentiu dor no peito no último mês?	0
4) Você tende a perder a consciência ou cair, como resultado de tontura?	0
5) Você tem algum problema OSTEO-MUSCULAR que poderia ser agravado com a prática de atividade física?	0
6) Algum médico já recomendou o uso de medicamento para a sua pressão arterial ou condição física?	0
7) Você recebeu aconselhamento médico, de alguma outra razão física que impeça sua prática de atividade física sem supervisão médica?	0
Total de Pontos: 0	
Classificação	
Possui garantia de adaptação para um programa de exercícios progressivos e uma avaliação de condicionamento	
Total de Pontos	Classificação
0	Não, para todas as perguntas: se você respondeu o PAR-Q precisamente, você possui razoável garantia de sua adaptação para
1	Sim, para uma ou mais perguntas: você deve procurar um médico com brevidade, consulte seu médico por telefone ou pessoalmente
Avaliador:	Erilon Miranda
Cref -	39318 - G

Fonte: Thomas et al., (1992)

A seguir, pode-se observar a tabela de avaliação de contra indicações baseadas na tabela elaborada por Madarame, Nakajima, Morita, e Sato, (2011), representada na figura 26, com a finalidade de avaliar quadros clínicos que possam indicar ou contraindicar o paciente à aplicação do método RFS.

Figura 26 – Quadro de contraindicações à aplicação do método RFS adaptado

DOENÇA	INDICAÇÃO	CONTRAINDICAÇÃO RELATIVA	CONTRAINDICAÇÃO ABSOLUTA
Hipertensão Arterial	140-159/90-94 mmhg	160-179/95-99 mmhg Homens com idade > 40 anos de idade ou mulheres com idade > 50 anos em tratamento ou que não apresentem contra indicação devem passar por teste de esforço.	180/100 mmhg ou mais. Razão cardiotorácica acima de 55%. Presença de arritmias ou isquemia durante o eletrocardiograma. Ácido úrico maior que 100 mg/dl.
Diabetes	Glicemia em jejum 110-139 mg/dl	Glicemia em jejum 140-249 mg/dl Homens com idade > 40 anos de idade ou mulheres com idade > 50 anos em tratamento ou que não apresentem contra indicação devem passar por teste de esforço.	Glicemia em jejum 250 mg/dl ou mais. Corpos cetônicos (+) Retinopatia diabética (+)
Hiperlipidemia	CT: 220-249 mg/dl ou TT: 150-299 mg/dl	CT: 250 mg/dl ou TT: 300 mg/dl Homens com idade > 40 anos de idade ou mulheres com idade > 50 anos em tratamento devem passar por teste de esforço.	
Obesidade	IMC: 24,0 – 29,9	IMC: 24,0 – 29,9 e problemas nas articulações. Exame ortopédico e restrição de exercícios.	IMC: 30 ou mais.

Fonte: Adaptado de Madarame, Nakajima, Morita, e Sato, (2011)

Em seguida, um novo quadro adaptado é aplicada para avaliação de risco para TVP (Trombose Venosa Profunda) baseada na tabela de Caprini, (2010), representada graficamente pela figura 26. As tabelas mencionadas são tabelas do tipo de “pontuação”, propondo indicação ou contraindicação do eventual paciente.

Figura 27 – Quadro avaliativo para predisposição à TVP

Fatores que representam 1 ponto:		
Idade entre 41 e 60 anos. O Planejamento de cirurgias pequenas. O Histórico de grande cirurgia (< 1 mês).		
Veias varicosas. O Histórico de doença inflamatória intestinal. O Membros inferiores inchados (crônico).		
Obesidade (IMC > 25) o Infarto agudo de miocárdio. O Insuficiência cardíaca congestiva (< 1 mês). O Seps. O Pneumonia (< 1 mês).		
Doença pulmonar crônica obstrutiva. O Paciente ainda acamado.		
Fatores que representam 2 pontos:		
Idade entre 60 e 74 anos..		
Cirurgia artroscópica		
Câncer		
Grande cirurgia (> 45 minutos).		
Cirurgia laparoscopia (> 45 minutos). O Paciente acamado (> 72 horas). O Perna imobilizada (< 1 mês). O Acesso venoso central.		
Fatores que representam 3 pontos:		
Idade superior a 75 anos. O Histórico de trombose venosa profunda ou embolia pulmonar.		
Histórico familiar de trombose. O Positividade do fator V de Leiden. O Positividade da protrombina 20210A. O Níveis elevados de homocisteína sérica. O Positividade do anticoagulante lúpico.		
Níveis elevados de anticorpos anticardiolipina.		
Trombocitopenia induzida por heparina.		
Alguma trombofilia congênita adquirida?		
Se a resposta for positiva:		
Tipo:_____		
Fatores que representam 5 pontos:		
Artroplastia de membros inferiores. O Fratura do quadril, pelve e membros inferiores (< 1 mês).		
Acidente vascular encefálico (< 1 mês). O Traumas múltiplos (< 1 mês).		
Lesão sobre a medula espinal (paralisia) (< 1 mês)		
Fatores de risco apenas para mulheres (cada fator representa 1 ponto)		
Contraceptivos orais ou terapia de reposição hormonal.		
Grávida ou pós-parto (< 1 mês).		
Histórico sem explicação de criança natimorta, aborto espontâneo recorrente (≥ 3), nascimento prematuro com toxemia gravídica ou crescimento intrauterino restrito.		
Pontos	Probabilidade de TVP	Nível de risco
0 a 1	<10%	Baixo
2	10-20%	moderado
3 a 4	20-401%	alto
5 +	40 a 80% e risco de mortalidade de 1 a 5%	Muito alto

Fonte: Quadro Adaptado de Caprini, (2010)

A utilização das zonas de frequência cardíaca durante a aplicação do método RFS, permite o acompanhamento do nível de esforço das amostras se confrontado com sua percepção subjetiva de esforço e dor, baseadas na tabela de PSE (Percepção Subjetiva de Esforço) de Borg *et al.* (1982).

Figura 28 –Quadro de Escala de 0 a 10 de percepção subjetiva de esforço e dor.

NÍVEL	ESFORÇO	SINAIS FÍSICOS
0	Nenhum	Nenhum
1	Mínimo	Nenhum
2	Pouco	Sensação de movimento
3	Moderado	Forte sensação de movimento
4	Um pouco difícil	Calor
5	Difícil	Começa a suar
6	Mais difícil	Moderada sudorese
7	Muito difícil	Moderada sudorese e respiração normal
8	Extremamente difícil	Transpiração intensa e dificuldade na respiração
9	Esforço máximo	Sudorese máxima e exercício sem respiração
10	Fadiga	Exaustão

Fonte: Adaptado de Borg, (1982)

O aplicativo foi especificamente desenvolvido com uma interface amigável para gerenciamento do microcontrolador ESP32 na aplicação do método de treinamento com restrição do fluxo sanguíneo. Ele centraliza o registro de dados pessoais, de saúde e antropométricos, avaliando a aptidão do usuário com base nos testes questionários PAR-Q de Thomas *et al.* (1992), Tabela de Madarame, Nakajima, Morita e Sato, (2011) e Tabela de risco tromboembolístico de Caprini, (2010). Também calcula os parâmetros de pressão utilizados antes, durante e logo após o treinamento.

Os achados de Kumar *et al.*, (2019), dão conta da importância do controle eficiente dos parâmetros de frequência cardíaca para maior segurança do paciente. Portanto o aplicativo foi concebido também, para analisar as eventuais ocorrências de eventos adversos relacionados à frequência cardíaca durante a aplicação do método interrompendo a aplicação se necessário. A tabela apresentada abaixo representada pela figura 29, demonstra as possibilidades de ritmo cardíaco que poderão ser presenciadas no momento da aplicação do método.

Figura 29 – Quadro da análise da frequência cardíaca em repouso baseada nos achados de Kumar, (2019), Hughes, (2021) e Higgins, (2021).

Ritmo Cardíaco	Descrição
Sinusal	Ritmo regular originado do nó sinoatrial, com intervalos R-R constantes e frequência de 60-100 bpm. (Kumar et al., 2019)
Fibrilação Atrial	Ritmo irregular, com ondas fibrilatórias e ausência de ondas P. A frequência ventricular pode variar. (Higgins et al., 2021)
Taquicardia Ventricular	Ritmo rápido e potencialmente fatal, com complexos QRS largos e irregulares, geralmente acima de 100 bpm. (Zipes et al., 2020)
Bradicardia	Frequência cardíaca abaixo de 60 bpm, podendo ser assintomática ou sintomática, dependendo da condição do paciente. (Kumar et al., 2019)
Bloqueio Atrioventricular	Interrupção na condução entre átrios e ventrículos, podendo ser de primeiro, segundo ou terceiro grau. (Higgins et al., 2021)

Fonte: O autor, (2024)

A comunicação com o ESP32, é realizada de forma assíncrona via *Bluetooth* utilizando uma configuração *half-duplex* (modo de comunicação em que a transmissão de dados ocorre em ambas as direções, mas não simultaneamente), que é mais eficiente para sistemas embarcados de monitoramento e controle. O aplicativo com base na pressão de oclusão total, e porcentagem de oclusão desejada, calcula a pressão de trabalho e envia esses dados para o microcontrolador, permitindo também uma intervenção do técnico especialista do método a qualquer momento no uso do dispositivo.

O aplicativo também armazena dados relevantes relacionados ao processo, além dos dados pessoais como pressão sistólica e diastólica em repouso, dados antropométricos como a perimetria dos membros na sua porção medial e também as pressões obtidas no interior do manguito durante a aplicação. Os dados individuais são organizados em arquivos JSON (*Java Script*) associados a cada indivíduo. Esses dados são utilizados para o acompanhamento dos resultados ao longo do tempo, utilizados para validação do método e do dispositivo.

4.18 Paciente bradicárdico

Figura 29 - Ilustração da tela inicial do aplicativo na fase de anamnese, demonstrando momento de bradicardia e contraindicando momentaneamente o paciente.

A tela intitulada "ANAMNESE E ANTROPOMETRIA" apresenta uma interface para coleta de dados do paciente. No topo, há um campo para o nome. Abaixo, campos para data de nascimento, data da consulta, idade e sexo (Masculino/Feminino). A seção de antropometria inclui campos para peso, altura, circunferência do peito (C.P.), frequência cardíaca de repouso (F.C.R.), frequência cardíaca máxima (F.C.MAX.), frequência cardíaca de reserva (F.C.RES.), pressão arterial sistólica (P.A. SIS), pressão arterial diastólica (P.A. DIA.), frequência da pressão arterial (FREQ.), pontuação da APFC em 2017 e pontuação da Caprin 2015. Um botão vermelho com o texto "CANDIDATO EM BRADICARDIA" está visível. Na base da tela, há um ícone de um corpo humano com pontos vermelhos indicando locais de monitoramento.

Fonte: O autor, (2024)

- Aferição da frequência cardíaca de repouso
- Avaliação do histórico de bradicardia
- Verificação de medicamentos em uso
- Encaminhamento para liberação cardiológica específica para BFR

Madarame, Nakajima, Morita e Sato (2010) recomendam que pacientes com $FC < 60$ bpm devem ser monitorados constantemente durante a sessão.

4.19 Paciente taquicárdico

Figura 30 - Ilustração da tela inicial do aplicativo na fase de anamnese, demonstrando momento de taquicardia e contraindicando momentaneamente o paciente.

ANAMNESE E ANTROPOMETRIA

Nome

Data de nascimento Data da consulta Sexo (Masculino/Feminino)

Peso kg Altura cm FC (bpm) FC (bpm) FC (bpm)

PA (mmHg) PA (mmHg) PA (mmHg) PA (mmHg)

Posição APFC 2017 Posição Capnó 2018

CANDIDATO EM TAQUICARDIA

Silhueta do corpo humano com marcadores vermelhos nos braços e pernas.

Fonte: O autor, (2024).

- Aferição da FC em repouso por 5 minutos
- Controle pressórico prévio
- Avaliação de sintomas associados
- Contraindicação se FC > 100 bpm em repouso

Patterson *et al.* (2019) indicam que taquicardia sinusal não controlada é contraindicação absoluta para BFR.

4.20 Paciente hipotenso

Figura 31 - Ilustração da tela de verificação de pressão arterial, demonstrando momento de hipotensão e contraindicando momentaneamente o paciente.

ANAMNESE E ANTROPOMETRIA

Nome

Data de nascimento Data da consulta Idade Sexo (Mascul. Femin.)

Peso kg Altura cm CMI FC.R FC.Max FC.Res FC.Min

PA. Sis. mmHg PA. Dia. mmHg PA. Noite. mmHg PA. Med. mmHg

PA. Med.2 mmHg PA. Med.3 mmHg PA. Med.4 mmHg PA. Med.5 mmHg

PA. Med.6 mmHg PA. Med.7 mmHg PA. Med.8 mmHg PA. Med.9 mmHg

PA. Med.10 mmHg PA. Med.11 mmHg PA. Med.12 mmHg PA. Med.13 mmHg

PA. Med.14 mmHg PA. Med.15 mmHg PA. Med.16 mmHg PA. Med.17 mmHg

PA. Med.18 mmHg PA. Med.19 mmHg PA. Med.20 mmHg PA. Med.21 mmHg

PA. Med.22 mmHg PA. Med.23 mmHg PA. Med.24 mmHg PA. Med.25 mmHg

PA. Med.26 mmHg PA. Med.27 mmHg PA. Med.28 mmHg PA. Med.29 mmHg

PA. Med.30 mmHg PA. Med.31 mmHg PA. Med.32 mmHg PA. Med.33 mmHg

PA. Med.34 mmHg PA. Med.35 mmHg PA. Med.36 mmHg PA. Med.37 mmHg

PA. Med.38 mmHg PA. Med.39 mmHg PA. Med.40 mmHg PA. Med.41 mmHg

PA. Med.42 mmHg PA. Med.43 mmHg PA. Med.44 mmHg PA. Med.45 mmHg

PA. Med.46 mmHg PA. Med.47 mmHg PA. Med.48 mmHg PA. Med.49 mmHg

PA. Med.50 mmHg PA. Med.51 mmHg PA. Med.52 mmHg PA. Med.53 mmHg

PA. Med.54 mmHg PA. Med.55 mmHg PA. Med.56 mmHg PA. Med.57 mmHg

PA. Med.58 mmHg PA. Med.59 mmHg PA. Med.60 mmHg PA. Med.61 mmHg

PA. Med.62 mmHg PA. Med.63 mmHg PA. Med.64 mmHg PA. Med.65 mmHg

PA. Med.66 mmHg PA. Med.67 mmHg PA. Med.68 mmHg PA. Med.69 mmHg

PA. Med.70 mmHg PA. Med.71 mmHg PA. Med.72 mmHg PA. Med.73 mmHg

PA. Med.74 mmHg PA. Med.75 mmHg PA. Med.76 mmHg PA. Med.77 mmHg

PA. Med.78 mmHg PA. Med.79 mmHg PA. Med.80 mmHg PA. Med.81 mmHg

PA. Med.82 mmHg PA. Med.83 mmHg PA. Med.84 mmHg PA. Med.85 mmHg

PA. Med.86 mmHg PA. Med.87 mmHg PA. Med.88 mmHg PA. Med.89 mmHg

PA. Med.90 mmHg PA. Med.91 mmHg PA. Med.92 mmHg PA. Med.93 mmHg

PA. Med.94 mmHg PA. Med.95 mmHg PA. Med.96 mmHg PA. Med.97 mmHg

PA. Med.98 mmHg PA. Med.99 mmHg PA. Med.100 mmHg

CANDIDATO EM HIPOTENSÃO

Fonte: O autor, (2024)

- Aferição da PA em diferentes momentos do dia
- Avaliação da medicação anti-hipertensiva
- Teste de tolerância à oclusão
- Início com pressões mais baixas (40-50% da pressão de oclusão total)

Segundo Loenneke *et al.*, (2013), pacientes com PAS < 100 mmHg devem ser avaliados com cautela, além disso, Nunes *et al.*, (2024) ressaltam que a dificuldade na reperfusão tecidual após a liberação da restrição pode agravar condições de hipotensão arterial, especialmente em indivíduos predispostos.

4.21 Paciente hipertenso

Figura 32 - Ilustração da tela de verificação de pressão arterial, demonstrando momento de hipotensão e contraindicando momentaneamente o paciente.

ANAMNESE E ANTROPOMETRIA

Nome: _____

Data de nascimento: _____ Data da consulta: _____ Idade: _____ Sexo (Mas./Fem.): _____

Peso: _____ kg Altura: _____ cm FC (b/min): _____ FC (b/min): _____ FC (b/min): _____ FC (b/min): _____

PA (mmHg): _____ PA (mmHg): _____ PA (mmHg): _____ PA (mmHg): _____

Portador de AFRC 2017: _____ Portador de Capter 2015: _____

CANDIDATO EM HIPERTENSÃO

Ilustração de um corpo humano com pontos de medição de pressão arterial indicados em vermelho.

Fonte: O autor, (2024)

- Monitoramento da PA 24 h antes
- PA deve estar < 160/100 mmHg
- Avaliação do risco cardiovascular
- Teste progressivo de pressão de oclusão

Loenneke *et al.*, (2014) estabelecem que hipertensos devem ter PA controlada antes das sessões.

Nunes *et al.*, (2024), destacam que a RFS pode aumentar a pressão arterial durante o exercício, o que representa um risco significativo para indivíduos hipertensos. Esse aumento ocorre devido à ativação do sistema nervoso simpático e ao aumento da resistência vascular periférica, potencializados pela compressão mecânica do membro. Isso evidencia a necessidade de monitoramento rigoroso e controle preciso das variáveis do método.

4.22 Risco tromboembolístico

- Avaliação do D-dímero;
- Verificação do histórico familiar;
- Análise de marcadores inflamatórios;

- Contraindicação absoluta se risco elevado;

Figura 33- Ilustração da tela de verificação de risco tromboembólico, demonstrando risco tromboembólico elevado baseado na tabela de Caprini (2010).

ANAMNESE E ANTROPOMETRIA

Nome: _____

Data de nascimento: _____ Data da consulta: _____ Idade: _____ Sexo (Masc./Fem.): _____

Peso: _____ kg Altura: _____ cm F.C.R.: _____ bpm F.C.Med.: _____ bpm F.C.Max.: _____ bpm

P.A. Síst.: _____ mmHg P.A. Diast.: _____ mmHg Pontuação APIC 2011: _____ Pontuação Caprini 2010: **5**

CONTRA-INDICAÇÃO CAPRINI

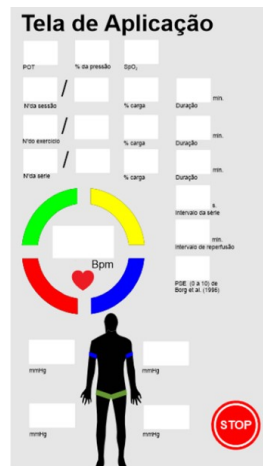
Diagrama de um corpo humano com pontos vermelhos indicando áreas de avaliação: braços, pernas e tronco.

Fonte: O autor, (2024)

Conforme previsto no estudo de Caprini *et al* (2010), risco tromboembólico elevado deve contraindicar a aplicação de RFS no paciente e encaminhá-lo para avaliação e diagnóstico competente. Abaixo, são apresentadas representações gráficas das principais telas do aplicativo de controle dos protocolos de aplicação do método RFS e diagrama simplificado de funcionamento do aplicativo.

Na tela representada pela figura 36, podemos verificar a tela de inicialização da sessão de treinamento, já com os dados coletados confirmados e onde serão exibidos todos os dados dos parâmetros fisiológicos, dados sobre pressão e tempos e exercícios sendo executados em tempo real.

Figura 36 - Tela de Execução do método RFS, com exibição dos tempos, pressões, número de séries repetições e exercícios, e feedback em tempo real dos parâmetros fisiológicos.

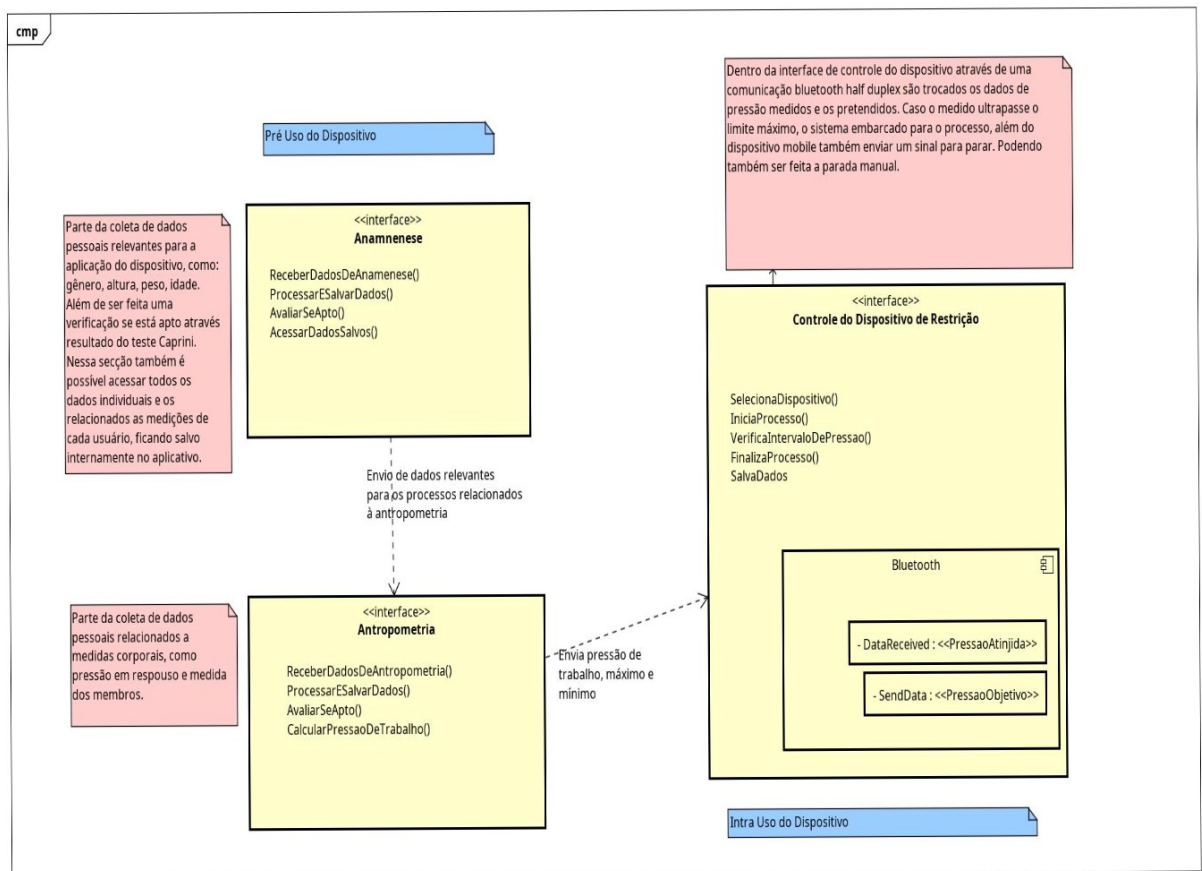


Fonte: O autor, (2024)

4.24 Antropometria e cálculo da pressão

Na *interface* de antropometria, o técnico especialista insere os dados sobre a circunferência dos membros do paciente para fins de controle da evolução e necessários para a aplicação do método RFS. Inicialmente, é calculada a Pressão de Oclusão Total (P.O.T).

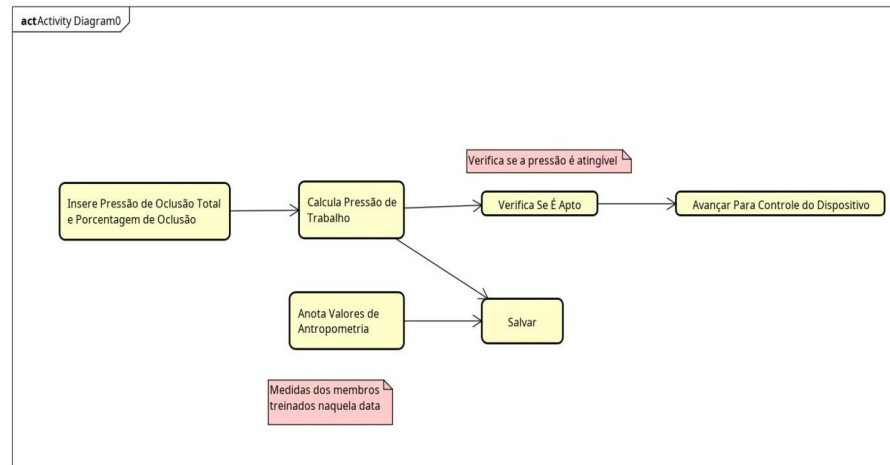
Figura 37 - Diagrama simplificado do aplicativo de controle.



Fonte: O autor, (2024)

Com base no valor obtido, o aplicativo determina automaticamente a pressão de trabalho, configurada como padrão do dispositivo 50% da P.O.T, podendo ser modificada de acordo com o protocolo a ser utilizado. O percentual de pressão é então calculado e enviado para a tela de controle do dispositivo, onde será aplicado.

Figura 38 - Fluxograma da tela de antropometria e cálculo da pressão de oclusão.



Fonte: O autor, (2024)

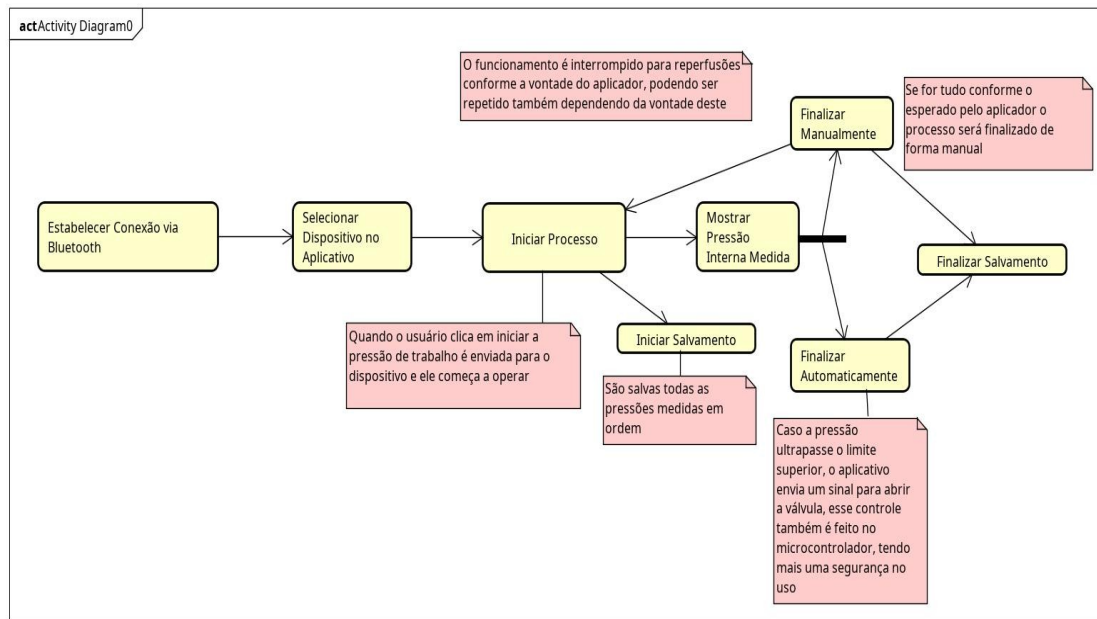
4.25 O controle do dispositivo de restrição

A atividade final serve para controlar o dispositivo de RFS. Primeiro é preciso selecionar o dispositivo que irá ser conectado, nesse caso o ESP32. Quando a conexão for estabelecida via *Bluetooth* do dispositivo móvel com o microcontrolador, irá aparecer na lista de dispositivos aptos a se conectarem no *software* aplicativo, então deverá ser selecionado novamente e o usuário receberá um aviso por meio do *display* o status de comunicação.

O aplicativo estando conectado com o aparelho, tem a opção de iniciar o processo, que envia a pressão de trabalho do membro que será ocluído. Essa pressão é calculada na atividade de antropometria e o intervalo de pressão de trabalho é enviado para o microcontrolador, através de uma comunicação *bluetooth Half-duplex*.

A comunicação *half-duplex* é para o caso, assíncrona, o que significa que os dispositivos alternam entre enviar e receber dados sem a necessidade de um relógio compartilhado para sincronização. Isso cria um pequeno atraso na comunicação e uma possível perda de informações caso ambos tentem enviar dados ao mesmo tempo, contudo, essa abordagem é ideal para essa aplicação pois simplifica o design do sistema, permitindo que o fluxograma da tela de controle do dispositivo microcontrolador alterne estados facilmente, o que reduz a complexidade do código.

Figura 39: Fluxograma da tela de controle do dispositivo



Fonte: O autor, (2024)

Essa simplificação evita bloqueios, já que cada tarefa envolvendo os sensores e o motor pode ser processada no tempo certo sem esperar pela sincronização. Além disso, economiza recursos, permitindo que o ESP32 priorize outras tarefas enquanto aguarda a próxima troca de dados.

Ao final o usuário do aplicativo pode finalizar o processo, clicando a tecla finalizar. Ao executar essa ação, será enviado um sinal que obriga o ESP32 a abrir a válvula de ar e desligar a bomba de pressão, isso também ocorre caso a pressão ultrapasse o limite máximo. Uma vez que o controle de limite máximo é realizado antes da comunicação no microcontrolador, é improvável que o aplicativo tenha que fazer uso desse recurso sendo esta, uma medida extra de segurança.

Todos os dados sobre as pressões obtidas durante o exercício serão salvos no mesmo arquivo *json* onde estão também armazenados, os dados do paciente, sendo esses arquivos organizados em pastas listadas em ordem alfabética e por ordem cronológica de aplicação do método, o que pode facilitar a visualização das medições.

5 LIMITAÇÕES E CONSIDERAÇÕES

O método de restrição de fluxo sanguíneo (RFS) aplicado ao treinamento físico emerge como uma técnica promissora para reabilitação e ganho de força muscular, especialmente por induzir adaptações fisiológicas significativas com cargas reduzidas (20-30% 1RM). Entretanto, a análise da literatura evidencia a necessidade crítica de um controle preciso dos parâmetros de aplicação do método.

Estudos indicam que o RFS, quando adequadamente controlado, pode produzir resultados comparáveis ao treinamento tradicional de alta intensidade Ellefsen *et al.*, (2015). Apesar dos benefícios, observa-se uma disparidade significativa no acesso a sistemas de controle apropriados.

Sobre o dispositivo proposto, os testes realizados com os sensores do dispositivo foram exclusivamente eletrônicos, sem validação em humanos. Essa abordagem, embora útil para avaliar a funcionalidade técnica dos componentes, não garante a eficácia do sistema em condições reais de uso clínico ou esportivo. Outra limitação significativa é a ausência de uma validação comparativa com sistemas considerados padrão ouro, como o *Doppler* Ultrassom, deixando margem para estudos futuros.

Adicionalmente, questões relacionadas à durabilidade e ao desempenho do dispositivo em diferentes condições, populações e de uso prolongado não foram abordadas nos testes realizados. O impacto de fatores como variações de temperatura, umidade e desgaste mecânico ao longo do tempo pode comprometer a funcionalidade dos sensores e sistemas de controle. Estudos futuros devem focar na análise dessas variáveis para garantir a robustez e a viabilidade do dispositivo em contextos práticos diversos.

Os equipamentos comerciais disponíveis apresentam custos elevados, tornando-se inacessíveis para grande parte dos profissionais de saúde e centros de reabilitação, especialmente em países em desenvolvimento.

Essa limitação econômica gera uma preocupante dicotomia: enquanto centros especializados e clínicas de alto padrão podem oferecer o método com controle adequado, a maioria dos praticantes recorre a alternativas improvisadas ou equipamentos sem controle técnico, comprometendo tanto a segurança quanto a eficácia do treinamento.

5.1 Vantagens do sistema proposto

O sistema desenvolvido nesta pesquisa apresenta vantagens significativas em relação aos dispositivos convencionais utilizados para a aplicação da restrição de fluxo sanguíneo (RFS). O estado da arte dos equipamentos de RFS, inclui torniquetes pneumáticos e sistemas eletrônicos de controle de pressão, porém, muitas dessas soluções apresentam alto custo, (como é o caso do sistema Kaatsu, que atualmente tem como custo de sua versão mais próxima do protótipo ora proposto US\$2409,95, (fonte: <https://kaatsu.com/products/kaatsu-b2-quad>, acessado em 05/02/2025, às 20:40), pouca acessibilidade (as tecnologias mais avançadas se encontram em outros países, como Japão, E.U.A., Canadá, União Europeia e etc.) e ausência de monitoramento fisiológico em tempo real.

Uma das principais inovações do sistema proposto é a integração de sensores fisiológicos que permitem a monitorização contínua da pressão arterial sistólica, frequência cardíaca e saturação de oxigênio. Essa funcionalidade aumenta a segurança do método, uma vez que possibilita ajustes automáticos da pressão de oclusão com base na resposta fisiológica do usuário. Diferentemente dos dispositivos tradicionais, que exigem regulagem manual e estão sujeitos à variabilidade interpessoal na aplicação da pressão, o sistema desenvolvido garante padronização e maior precisão na aplicação do RFS.

Outra vantagem importante é o uso da tecnologia *Bluetooth* para comunicação sem fio, permitindo que o dispositivo seja controlado remotamente por meio de um aplicativo móvel. O estado da arte inclui equipamentos com transmissão de dados, porém não dispõe de gráficos comparativos de evolução do paciente, enquanto a solução proposta oferece maior praticidade e flexibilidade, permitindo que o profissional responsável monitore e ajuste o treinamento de forma dinâmica, segura e possibilita uma periodização mais confiável.

Além da inovação tecnológica, o custo reduzido do sistema é um diferencial importante. Equipamentos comerciais de RFS baseados em torniquetes pneumáticos controlados eletronicamente possuem custo elevado (como dito anteriormente), tornando sua adoção limitada a centros especializados. O sistema proposto busca democratizar o acesso ao método, utilizando componentes eletrônicos de menor custo sem comprometer a precisão e a segurança da aplicação. Isso viabiliza a utilização do RFS em academias, clínicas

fisioterapêuticas e programas de reabilitação de baixo orçamento, ampliando o alcance da tecnologia.

Por fim, o protótipo de sistema integrado desenvolvido incorpora mecanismos de segurança aprimorados, como desligamento automático em caso de resposta adversa dos parâmetros fisiológicos do usuário e sistemas de alarme para níveis críticos de pressão ou variáveis fisiológicas. Esses recursos tornam o método mais seguro e confiável, reduzindo o risco de complicações, como trombose venosa profunda, neuropatias compressivas e respostas cardiovasculares exacerbadas.

Dessa forma, o sistema proposto representa um avanço significativo em relação ao estado da arte, oferecendo maior precisão, segurança, acessibilidade e usabilidade, contribuindo para a expansão do RFS como ferramenta eficaz para treinamento e reabilitação.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo propôs o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico mecânico para aplicação do treinamento resistido com restrição de fluxo sanguíneo (RFS), com o objetivo de tornar o método mais seguro, acessível e padronizado. A tecnologia desenvolvida incorpora um sistema automatizado de controle da pressão de oclusão, utilizando sensores fisiológicos e comunicação via *Bluetooth*, permitindo um ajuste individualizado do método.

Os resultados obtidos indicam que o dispositivo apresenta potencial para superar limitações dos métodos tradicionais de RFS, como a dificuldade de padronização da pressão aplicada e a ausência de *feedback* em tempo real sobre variáveis fisiológicas do usuário. Estudos prévios sugerem que a eficácia do RFS está diretamente relacionada ao controle preciso da pressão de oclusão e ao respeito aos limites fisiológicos individuais. Dessa forma, a implementação de um sistema automatizado pode minimizar riscos e tornar o método mais seguro para diferentes populações, incluindo indivíduos em reabilitação, idosos e atletas.

Além dos avanços tecnológicos, a acessibilidade do método foi uma preocupação central do estudo. O alto custo de equipamentos comerciais atualmente disponíveis limita o acesso de profissionais e instituições de menor poder aquisitivo ao RFS. O dispositivo proposto busca democratizar a aplicação do método, oferecendo uma alternativa de baixo custo e alta precisão, viabilizando sua adoção por academias, clínicas de fisioterapia e centros de reabilitação de menor infraestrutura financeira.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas. Os testes foram conduzidos apenas em ambiente laboratorial, sem validação clínica em humanos. Além disso, não houve comparação direta com dispositivos de referência, como ultrassonografia *Doppler*, o que restringe a avaliação da precisão do sistema em condições reais de uso. Para consolidar a aplicabilidade do dispositivo, recomenda-se que futuras pesquisas incluam testes clínicos com diferentes perfis populacionais e uma comparação objetiva da eficácia do dispositivo em relação a equipamentos já utilizados na prática clínica e esportiva.

Diante dos achados, conclui-se que o sistema desenvolvido representa um avanço significativo na aplicação do treinamento resistido com RFS, tanto do ponto de vista tecnológico quanto da acessibilidade econômica. A continuidade das pesquisas na área permitirá aprimorar a tecnologia, tornando-a uma ferramenta viável para otimizar a segurança

e a eficácia do método, contribuindo para sua adoção em larga escala e para o avanço das estratégias de reabilitação e treinamento físico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BOND, C. W. *et al.* Blood flow restriction resistance exercise as a rehabilitation modality following orthopaedic surgery: A review of venous thromboembolism risk. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v.49, n.1, p.17-27, Fargo, ND, 2019.

BORG, G. *et al.* “The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer.” **European journal of applied physiology and occupational physiology** vol. 54,4; Estocolmo, (1985): 343-9. doi:10.1007/BF02337176

BRYAN, M. L.; BRYCE, A. M.; ROBERTS, J. The effect of mental and physical health problems on sickness absence. **The European journal of health economics**, v. 22, n. 9, p. 1519-1533, UK, 2021.

BRZYCKI, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. **Journal of Physical Education, Recreation & Dance**. 64. 88-90; New Jersey, 1993; 10.1080/07303084.1993.10606684.

CAPRINI J.A. Risk assessment as a guide for the prevention of the many faces of venous thromboembolism. **American Journal of Surgery**; 199(1Suppl):S3-10. doi: 10.1016/j.amjsurg.2009.10.006. PMID: 20103082, Cleveland, OH, 2010.

CENTENER, C. *et al.*, a) Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 49, p. 95-108, Freiburg, Germany, 2019.

CENTENER, C. *et al.*, b) Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training. **Journal of Applied Physiology**, Freiburg, Germany, 2019.

CHANG, H. *et al.* Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Untrained Males: A Systematic Review and Meta-Analysis Based on a Comparison with High-Load Resistance Training. , **Life**, v. 14, n. 11, p. 1442, Jinhua, 302004, CN, 2024.

COUNTS B.R., DANKEL S.J., BARNETT BE, KIM D, MOUSER JG, ALLEN KM, *et al.*, Influence of relative blood flow restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. **Muscle & Nerve.**, **53(3): 438-45**, Seoul, KO, 2016.

CRUZ-JENTOFT, A. J. *et al.* Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: **Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People**. *Age and ageing*, v. 39, n. 4, p. 412-423, Oxford University, England, 2010.

DA CUNHA, F., FARINATTI, P., & MIDGLEY, A. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. **Journal of science and medicine in sport**, **14 1**, 46-57. **United Kingdom**, 2010.

D'ASSUNÇÃO, W. *et al.* Respostas cardiovasculares agudas no treinamento de força conduzido em exercícios para grandes e pequenos grupamentos musculares. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 13, p. 118-122, São Paulo, 2007.

DEBORAH R., JONATHAN K. E., GARY L., MEIR M. **ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. American College Of Sports Medicine (ACSM). (Eds.). Philadelphia: Wolters Kluwer, 10. ed. 2018.

DUTRA, F. C. M. S.; COSTA, L. C.; SAMPAIO, R. F. A influência do afastamento do trabalho na percepção de saúde e qualidade de vida de indivíduos adultos. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 23, n. 1, p. 98-104, 2016, <https://www.scielo.br/j/fp/a/7HQZNDQ48fYJ5wmBv5QbwRR/?lang=pt>. Acesso em: 05 dez. 2024.

ELLEFSEN, S. *et al.* Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 309, n. 7, p. R767-R779, Gothenburg, Sweden, 2015.

FAHS C.A., ROSSOW L.M., LOENNEKE J.P., THIEBAUD R.S., KIM D., MOUSER J.G., *et al.* Effect of different types of exercise on blood pressure and endothelial function. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 2012;26(3):748-53. Li Zuo, Ohio State University, USA. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31822a5cb7

FUJITA, S. *et al.*, Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. **Journal of applied physiology**, v. 103, n. 3, p. 903-910, Tokyo University, Chiba, JP. 2007.

GELLISH R.L., GOSLIN B.R., OLSON R.E., MCDONALD A., RUSSI G.D., MOUDGIL V.K.. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. **Med Sci Sports Exerc.**; 39(5):822-9. Oakland University, Rochester, MI. 2007, May doi: 10.1097/mss.0b013e31803349c6.

GOBEL F.L., NORDSTROM L.A., NELSON R.R., JORGENSEN C.R., WANG Y. The Rate-Pressure Product as an Index of Myocardial Oxygen Consumption During Exercise in Patients with Angina Pectoris. **Circulation.**; 57(3):549-56, Veterans Administration Hospital and University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota; 1978 DOI: 10.1161/01.CIR.57.3.549

HELD, S., BEHRINGER, M., & DONATH, L. Low intensity rowing with blood flow restriction over 5 weeks increases $\dot{V}O_{2max}$ in elite rowers: A randomized controlled trial. **Journal of science and medicine in sport**; Frankfurt, Germany, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.002>.

HIGGINS J.P, PATTERSON K, SMITH, R, *et al.* **Advances in Cardiovascular Physiology**. 3rd ed.: Cardiology Studies Press; London, 2021.

HUGHES, L. *et al.* Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. **British journal of sports medicine**, v. 51, n. 13, p. 1003-1011, London, UK, 2017.

IIDA, H. *et al.* Hemodynamic and autonomic nervous responses to the restriction of femoral blood flow by KAATSU. **International Journal of KAATSU Training Research**, v. 1, n. 2, p. 57-64, Tokyo University, Tokyo, JP. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Despesas com saúde em 2019 representam 9,6% do PIB. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/33484-despesas-com-saude-em-2019-representam-9-6-do-pib?](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/33484-despesas-com-saude-em-2019-representam-9-6-do-pib?utm_source=chatgpt.com)utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 30 nov. 2024. Ministério da Saúde do Brasil.

Departamento de Informática do SUS (DATASUS). Estatísticas de Saúde do Trabalhador, 2019.

JOCKNER, M. R. *et al.*, Correlação entre taxa metabólica basal e variabilidade da frequência cardíaca no treinamento resistido funcional em indivíduos com síndrome metabólica. In: **Colloquium Vitae**. ISSN: 1984-6436. x p. 45-50. **Presidente Prudente, São Paulo, 2019.**

KAATSU GLOBAL. Kaatsu B2 Quad. Disponível em: <https://kaatsu.com/products/kaatsu-b2-quad>. Acesso em: 6 fev. 2025.

KACIN A., STRAZAR K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. **Scand J Med Sci Sports**. 2011 Dec;21(6):e231-41. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01260.x. Epub, Ljubljana, Slovenia. 2011 Mar 8. PMID: 21385216.

KERR, D., ACKLAND, T. R., MASLEN, B. A., MORTON, A. R., & PRINCE, R. L. (2001). Resistance training over 2 years increases bone mass in calcium-replete postmenopausal women. **Journal of bone and mineral research**, 16(1), 175-181 **Perth, Western Australia, 2001.**

KUMAR, S.; SHARMA, G. D.; DOGRA, V. D. A study of electrocardiogram changes in patients with acute stroke. **International Journal of Research in Medical Sciences**, v. 4, n. 7, p. 2930-2937, 2016. Disponível em: <https://www.msjonline.org>. Acesso em: 28 dez. 2024.

LANDI, F., LIPEROTI, R., RUSSO, A., GIOVANNINI, S., TOSATO, M., CAPOLUONGO, E., & ONDER, G. (2013). Sarcopenia as a risk factor for falls in elderly individuals: results from the ilsirente study. **Clinical Nutrition**, 32(5), 652-656. **Roma, Itália, 2015.**

LAURENTINO, G.C. *et al.* Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 44, n. 3, p. 406-412, **São Paulo, BR, 2012.**

LOENNEKE JP, THIEBAUD RS, FAHS CA, ROSSOW LM, ABE T, BEMBEN MG. Blood flow restriction: Effects of cuff type on fatigue and perceptual responses to resistance exercise. **Acta Physiologica Hungarica**. Li Zuo, Ohio, State University, US. 2012;99(4):442-50. DOI: 10.1556/APhysiol.99.2011.4.5

LOENNEKE, J. P. *et al.* Blood flow restriction: mechanistic insights on aging skeletal muscle. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 5, p. 1963-1971, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com>. Acesso em: 30 nov. 2024.

LOENNEKE, J. P. *et al.*, Potential safety issues with blood flow restriction training. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 21, n. 4, p. 510-518, Tokyo University, Tokyo, JP. 2011.

LOENNEKE, JEREMY P.; *et al.* Blood flow restriction: effects of cuff type on fatigue and perceptual responses to resistance exercise. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 34, n. 4, p. 318–324, Li Zuo, Ohio State University, USA 2014.

LOENNEKE, J.P.; FAHS, C.A.; ROSSOW, L.M.; THIEBAUD, R.S.; MATTOCKS, K.T.; ABE, T.; BEMBEN, M.G. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs., **Front. Physiol.**, September, V. 4, Li Zuo, Ohio State University, USA. 2013. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00249>

LOPEZ P., RADAELLI R., TAAFFE D.R., NEWTON R.U., GALVÃO D.A., TRAJANO G.S., TEODORO J.L., KRAEMER W.J., HÄKKINEN K., PINTO R.S. Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. **Med Sci Sports Exerc.** 2021 Jun 1;53(6):1206-1216. doi: 10.1249/MSS.0000000000002585. Erratum in: **Med Sci Sports Exerc.** 2022 Feb 1;54(2):370. doi: 10.1249/MSS.0000000000002838. PMID: 33433148; PMCID: PMC8126497.

MACHADO, F. A.; DENADAI, B.S. Validade das equações preditivas da frequência cardíaca máxima para crianças e adolescentes. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 97, n. 2, p. 136-140, São Paulo, 2011.

MADARAME, H.; KURANO, M.; TAKANO, H.; IIDA, H.; SATO, Y.; OHSHIMA, H.; ABE, T.; ISHII, N.; MORITA, T.; NAKAJIMA, T. Effects of low-intensity resistance

exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. **Clin Physiol Funct Imaging**; 30, pp210–213. Tokyo University, Tokyo, JP. 2010; www://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.00927.x

MCARDLE WD, KATCH FI, KATCH VL. **Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance.**" 8th ed. Philadelphia, US.: Lippincott Williams & Wilkins; 2014.

NAKAJIMA T, MORITA T, SATO Y. Key considerations when conducting KAATSU training. **International Journal of KAATSU Training Research**. 2(1):45-50, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan 2006. DOI: 10.3806/ijktr.2.45.

NAKAJIMA, T. *et al.* Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. **International journal of KAATSU training research**, v. 2, n. 1, p. 5-13, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan 2006.

NUNES, P.R.; SILVA, J.G.; SILVA, T. L. T. B. da; CARNEIRO, M. A. da S.; SILVA, F.J.A. da; GETIRANA-MOTA, M.; SANTOS, J. L. dos; VIEIRA-SOUZA, L. M. Efeito agudo do exercício de força associado à técnica de restrição do fluxo sanguíneo na pressão arterial em idosos. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v. 18, n. 114, p. 129-138, mar./abr. 2024. Disponível em: <www.rbpfex.com.br>. Acesso em: 28 dez. 2024.

PATTERSON S.D., HUGHES L., WARMINGTON S., *et al.* Blood flow restriction exercise position stand: considerations of methodology, application, and safety. **Frontiers in Physiology**. Belén Feriche, University of Granada, Spain 2019;10:533. DOI: 10.3389/fphys.2019.00533

PATTERSON, S. D. *et al.* Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. **Frontiers in physiology**, v. 10, p. 533, Belén Feriche, University of Granada, Spain 2019.

TANAKA, H., MONAHAN, K. D., & SEALS, D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited. **Journal of the American College of Cardiology**, 37(1), 153–156. Denver, Colorado, US. 2001 doi:10.1016/s0735-1097(00)01054-8

THOMAS, S. *et al.* “Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). **Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport** vol. 17,4, Ont rio, Canad . 1992: 338-45.

WERNBORN, M., PAULSEN, G., BJ RNSSEN, T., CUMMING, K., & RAASTAD, T. Risk of Muscle Damage With Blood Flow-Restricted Exercise Should Not Be Overlooked. **Clinical Journal of Sport Medicine; G teborg, Sweden, 2019.** <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000755>.

WILSON, J. M. *et al.* Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 27, n. 11, p. 3068-3075, Tampa University, Fl rida, US. 2013.