



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
UPE/UFPB
CURSO DE DOUTORADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

TÍTULO DA TESE

**VELOCIDADE DA BARRA COMO MEDIDA DA INTENSIDADE DA CARGA
NOS EXERCÍCIOS AGACHAMENTO LIVRE E *DEADLIFT* COM BARRA
HEXAGONAL**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SAÚDE, DESEMPENHO E MOVIMENTO HUMANO

LINHA DE PESQUISA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CINEANTROPOMETRIA E DESEMPENHO HUMANO

JOÃO PESSOA
2022

PETRUS GANTOIS MASSA DIAS DOS SANTOS

**VELOCIDADE DA BARRA COMO MEDIDA DA INTENSIDADE DA CARGA
NOS EXERCÍCIOS AGACHAMENTO LIVRE E *DEADLIFT* COM BARRA
HEXAGONAL**

Trabalho de Tese apresentado ao
Programa Associado de Pós-
Graduação em Educação Física
UPE/UFPB como requisito final para
obtenção do título de Doutor em
Educação Física.

Área de Concentração: Saúde, Desempenho e Movimento Humano

Linha de Pesquisa: Cineantropometria e Desempenho Humano

Orientador: Prof. Dr. Gilmário Ricarte Batista

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo de Sousa Fortes

**JOÃO PESSOA
2022**

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237v Santos, Petrus Gantois Massa Dias Dos.

Velocidade da barra como medida da intensidade da carga nos exercícios agachamento livre e deadlift com barra hexagonal / Petrus Gantois Massa Dias Dos Santos.

- João Pessoa, 2022.

157 f. : il.

Orientação: Gilmário Ricarte Batista.

Coorientação: Leonardo de Sousa Fortes.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCS.

1. Treino de força. 2. Exercício resistido. 3. Cinemática. 4. Avaliação física. 5. Treino baseado em velocidade. I. Batista, Gilmário Ricarte. II. Fortes, Leonardo de Sousa. III. Título.

UFPB/BC

CDU 796.015.52(043)

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA UPE-UFPB
CURSO DE DOUTORADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

A Tese **Velocidade da barra como medida da intensidade da carga nos exercícios agachamento livre e deadlift com barra hexagonal.**

Elaborada por Petrus Gantois Massa Dias dos Santos

Foi julgada pelos membros da Comissão Examinadora e aprovada para obtenção do título de DOUTOR EM EDUCAÇÃO FÍSICA na Área de Concentração: Saúde, Desempenho e Movimento Humano.

João Pessoa, 22 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Gilmar Ricardo Batista
(UFPB) - Presidente da Sessão



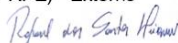
Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura
(ISMAI) - Membro Externo



Prof. Dr. Anderson Santiago Teixeira
(UFSC) - Membro Externo



Prof. Dr. Fabiano de Sousa Fonseca
(UFRPE) - Externo



Prof. Dr. Rafael dos Santos Henrique
(UFPE) – Membro Externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha amada MÃE, Rosa Maria Gantois Massa (*in memoriam*), por sempre me zelar, apoiar e amar incondicionalmente. Tudo que sou hoje e pretendo ser na minha vida pessoal e profissional é dedicado a você, minha MÃE. Um exemplo de mulher forte e batalhadora que foi capaz de criar seus três filhos sozinha, sem nunca deixar nos faltar nada. Sempre nos apoiou sem medir esforços para que pudéssemos ter a melhor educação e formação ao longo da nossa vida. Nem sempre foi fácil ficar distante durante esse processo, mas fez sempre questão de estar presente, durante o meu mestrado em Natal-RN e no doutorado em João Pessoa-PB. Infelizmente, não poderei vivenciar presencialmente essa nossa conquista e todas as próximas que virão, mas sei que daí de cima você continua as nos orientar, apoiar e torcer pelo nosso sucesso. Espero que você tenha orgulho desta conquista, pois você é a maior responsável por ela, e mais importante do que isso, espero que você tenha orgulho da pessoa que estou me tornando. O caminho é longo, mas com os seus ensinamentos, sei que estou no percurso certo. Nem se eu pudesse escolher, teria uma MÃE tão boa, generosa e carinhosa como você. Obrigado por todo amor, dedicação e entrega que teve por nós. Que o esforço que coloquei para a conclusão deste trabalho reflita minimamente tudo aquilo que você fez e faz por nós. Nem sempre foi fácil, mas você fez o melhor que pôde por nós, e por isso serei eternamente grato. TE AMO, minha querida e amada MÃE!!! Gratidão!

À minha querida IRMÃ, Katiuscha Gantois Massa Dias dos Santos (Kati), por todo amor, amizade, suporte e companheirismo. É difícil descrever em palavras o que você fez e faz por mim, sem nunca pedir nada em troca. Obrigado por compartilhar e torcer por cada conquista que tive ao longo da minha formação. Sei que muitas vezes você ficou mais feliz com elas do que eu próprio. Este trabalho também é mérito seu. Sempre se colocou à disposição para ajudar no que fosse possível e aguentou muito trabalho em casa para que eu pudesse ter a dedicação necessária para finalizar este trabalho e tantos outros relacionados ao doutoramento. Serei sempre grato por todo apoio familiar e profissional, que não foram poucos. O mínimo que eu posso fazer por você é estar sempre à disposição quando precisares. Podes contar sempre comigo!

Obrigado por tudo que fizeste e tem feito por mim. Desejo-te todo o sucesso e amor do mundo, pois desconheço alguém mais merecedora do que você. Amo-te muito, minha IRMÃ! Que Deus sempre te zeie e ilumine! Aos filhotes também kkkkkk (Apolo, Runa e Kirara S2)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre me dar força e saúde para levantar e ir atrás dos meus objetivos, e por sempre colocar pessoas maravilhosas em minha vida;

À Fundação de Apoio à Pesquisa da Paraíba (FAPESQ) pela bolsa de estudo concedida;

Ao meu amigo, professor e orientador, Prof. Dr. Gilmário Ricarte Batista, por todas as oportunidades que me concedeu desde a graduação até o doutoramento (mais de 10 anos que começamos essa trajetória juntos). É difícil descrever em palavras o carinho e admiração que eu tenho por você, Cajá. A sua disponibilidade e entusiasmo em querer sempre ajudar e estar à disposição para auxiliar em assuntos acadêmicos e pessoais é uma característica singular e rara. Não tenho dúvidas de que tê-lo como orientador me possibilitou desfrutar da melhor forma possível a minha jornada no doutoramento. Agradeço imensamente pelos incentivos para buscar as oportunidades de crescer profissional e pessoalmente. O senhor será sempre um exemplo de capacidade no esporte e na área acadêmica, humildade, solidariedade e respeito. QUEM DERA O BRASIL TIVESSE UM CAJÁ PARA CADA MODALIDADE (Kfourir, 2009) E CURSO DE MESTRADO/DOCTORADO (Gantois, 2022). ESPERO QUE POSSAMOS MANTER NOSSA AMIZADE POR MAIS DEZ ANOS!!!!

Ao meu amigo, Coorientador e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física UFPB, Prof. Dr. Leonardo de Sousa Fortes, por ter aberto as portas ao seu grupo de pesquisa. Sou grato pela confiança no meu trabalho e parceria ao longo desses anos. Espero que tenha contribuído de forma positiva às demandas solicitadas. Com certeza, foram momentos de grande valia e aprendizado para a minha formação, e por isso, sou muito grato pelas oportunidades. Espero que possamos manter essa relação de amizade e respeito por longos anos. Desejo-lhe sempre o melhor e, tenho certeza que continuará a ter grande sucesso na vida acadêmica e pessoal.

Ao meu amigo, Prof. Dr. Fabiano de Sousa Fonseca, por todas as trocas de conhecimento e lições de vida. As nossas primeiras reuniões (eu, você e Dalton) sempre serão motivos de boas lembranças. Obrigado pela parceria, confiança e respeito que temos um pelo outro. Você é uma pessoa que sou muito

grato e que espero manter essa amizade ao longo da vida. Você é uma grande referência para mim, tanto profissional quanto pessoal. Você tem uma grande parcela de contribuição para que eu pudesse concluir esse trabalho de tese. Sempre disponível a ajudar, sem nunca pedir nada em troca. Pelo contrário, muitas vezes, fazendo mais do que o necessário. Sempre serei grato por toda a sua disponibilidade, humildade e troca de conhecimentos.

Ao meu amigo, Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura, além de tê-lo como referência acadêmica e profissional, sinto-me privilegiado de sermos amigos. Agradeço por toda troca de conhecimento e confiança. Com certeza, você tem um grande impacto na minha formação acadêmica e pessoal. Agradeço pela oportunidade de ter minha primeira experiência no exterior (Portugal) e por todas as colaborações que tivemos, e que possamos continuar tendo ao longo dos anos. Sou grato por todas as possibilidades que me proporcionou até o presente momento. Sem dúvidas, você abriu portas para conhecer e trabalhar com pessoas que tenho como referência.

Aos professores membros da banca examinadora, Prof. Dr. Anderson Teixeira (UFSC), Prof. Dr. Fábio Nakamura (ISMAI), Prof. Dr. Fabiano Fonseca (UFRPE), Prof. Dr. Rafael Henrique (UFPE), Prof. Dr. Breno Cabral (UFRN), Prof. Dr. João Ribeiro (ISMAI) e Prof. Dr. Arnaldo Mortatti (UFRN), que participaram da banca de qualificação e defesa da tese. Sou extremamente grato por contar com suas colaborações. Aos professores que já conhecia foi um prazer manter essa parceria. Aos professores Dr. Anderson Teixeira e Dr. João Ribeiro, tenho vocês como referência na minha formação e agradeço a oportunidade de conhecê-los e colaborar com vocês. Espero que possamos ter muitos projetos para colaborarmos juntos.

Aos meus amigos da Universidade Federal da Paraíba, do LABOCINE e GEPEXDES. Em especial, Ana Denise de Sousa, Bruno Barbosa, Dalton de Lima-Júnior e Heloiana Faro. Com certeza, o doutorado foi melhor ao lado de vocês.

Aos meus amigos do Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pelas conversas e resenhas. Apesar do tempo corrido, é sempre bom

saber que podemos contar com os amigos. Em especial, Gledson Tavares (meu irmão desde a graduação), Ludmila Cabral, Heloiana Faro, Yuri Freire.

Aos meus amigos da Universidade Federal de Pernambuco pelas trocas de conhecimento e resenha. Com certeza, quando nos rodeamos de pessoas com um nível de conhecimento elevado e dispostas a compartilhá-lo, nos tornamos pessoas melhores. Em especial, Dani Costa, Dalton de Lima-Júnior, Gabriel Freire, Gustavo Vasconcelos, Witalo Kassiano (UFC/UEL).

Aos amigos do LACESP, sempre bom ter a oportunidade de aprender com vocês.

Aos amigos que conheci em Portugal. Apesar da saudade de casa e da família, tem sido uma experiência incrível que é difícil descrever em palavras. Em especial, a comissão técnica do SC Braga Futsal – Mister Joel Rocha, Pedro Holstein (Stein), Mário Carreiras (Marinho), Bruno Lemos, Luís Silva, Armando Fernandes (Beck), Miguel Martins, André Farinha, Pedro Pedroso, Vítor Fajardo e a todos os atletas. Desejo-lhes uma época 22/23 vitoriosa e de sucesso!!!

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB), ao Departamento de Educação Física, ao Programa de Pós-graduação em Educação Física e a todos funcionários que direta ou indiretamente contribuem para o desenvolvimento da Universidade Pública. Em especial, ao Secretário do Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Ricardo da Silva Melo, pelo excelente trabalho que realiza e pela disponibilidade em ajudar.

À Universidade de Pernambuco (UPE) e aos envolvidos no Programa Associado de Pós-Graduação em Educação Física.

RESUMO

A abordagem do treino baseado em velocidade (TBV) tem sido cada vez mais implementado pelos profissionais de força e condicionamento devido às suas vantagens práticas na prescrição e ajustes diários das cargas dos exercícios resistidos em comparação aos modelos tradicionais baseados no percentual de uma repetição máxima (1RM) ou zonas de repetições máximas (RMs). Uma das premissas dessa abordagem se baseia nas relações negativas e muito fortes entre a velocidade do movimento e suas respectivas cargas submáximas, o que permite estimar com alta acurácia a carga dos exercícios resistidos. Contudo, para implementar adequadamente o TBV, é necessário investigar a acurácia da relação carga-velocidade em estimar as cargas nos exercícios que são comumente incorporados no treino de força (TF). Apesar da literatura já ter demonstrado a eficácia da relação carga-velocidade em diferentes exercícios resistidos, a sua acurácia para estimar a carga nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal ainda é pouco estudada. Portanto, o objetivo dessa tese foi investigar a acurácia de diferentes métodos baseados na relação carga-velocidade e carga-potência na estimativa das cargas nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal. Para tal, a tese foi dividida em três estudos. Um estudo de revisão sistemática foi realizado para determinar a acurácia da relação carga-velocidade em diferentes exercícios resistidos e identificar possíveis lacunas na literatura sobre o TBV. Nos estudos 2 e 3, vinte e cinco homens treinados em força foram submetidos à um teste progressivo para determinar a carga de 1RM e o perfil carga-velocidade completo nos exercícios de agachamento livre e *deadlift* hexagonal. Os testes ocorreram em dias não consecutivos (~1 semana) e em ordem aleatória de apresentação. No estudo 2, a relação carga-velocidade geral foi determinada em ambos os exercícios. Uma relação negativa muito forte entre a velocidade do movimento e a carga relativa foi encontrada para o agachamento livre ($R^2 = 0,96$) e *deadlift* hexagonal ($R^2 = 0,97$). A carga que maximizou a potência mecânica no agachamento livre foi ~65% 1RM e no *deadlift* com barra hexagonal foi de ~60% 1RM. A plotagem de Bland-Altman reportou altos valores de concordância entre a carga de 1RM atual e predita no agachamento livre (CCI = 0,97; IC95% = 0,93 a 0,99) e *deadlift* com barra hexagonal (CCI = 0,981; IC95% = 0,83 a 0,99). No estudo 3, foram analisados os efeitos de diferentes cargas submáximas na acurácia da predição da carga de 1RM baseada na relação carga-velocidade individual em ambos os exercícios. A carga de 1RM foi predita acuradamente, independentemente do número de cargas adotado (2-, 3-, 4-, 6-cargas) (erro absoluto < 7.0 kg; TE < 0,25; trivial a pequeno). Em conclusão, o paradigma do TBV pode ser implementado pelos profissionais de força e condicionamento para prescrever acuradamente as cargas nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal em homens treinados em força.

Palavras-chave: treino de força; cinemática, exercício resistido; avaliação física; treino baseado em velocidade.

ABSTRACT

Velocity-based training (VBT) approach has been increasingly implemented by strength and conditioning coaches due to its practical advantages in daily prescribing and adjustment of resistance exercise loads compared to traditional models based on the percentage of one-repetition maximum (1RM) and the maximum number of repetitions (MNR). One of the assumptions of this velocity-approach relies on the negative and very strong relationship between movement velocity and their respective submaximal loads, which allows estimating with high accuracy the resistance exercise loads. However, to properly implement the VBT approach, it is necessary to investigate the accuracy of the load-velocity relationship in estimating the resistance exercise loads in those exercises commonly incorporated during resistance training (RT) programs. Despite the literature has already demonstrated the effectiveness of the load-velocity relationship in several resistance exercises, its accuracy to estimate the load during free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises is still unknown. Therefore, this thesis aimed to investigate the accuracy of different methods based on the load-velocity and load-power to estimate the load during free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises. For that, the thesis was divided into three studies. A systematic review study was conducted to determine the accuracy of the load-velocity relationship in several resistance exercises and to identify possible gaps in the literature on VBT. In studies 2 and 3, twenty-five resistance-trained men performed a progressive load test up to 1RM to determine the full load-velocity relationship during the free-weight back-squat and deadlift exercises. The 1RM assessment was carried out on non-consecutive days (~1 week) in a random order of presentation. In study 2, the general load-velocity relationship was determined in both exercises. A negative and very strong relationship between movement velocity and the relative load was found for both back-squat ($R^2 = 0.96$) and deadlift ($R^2 = 0.97$) exercises. The load that maximizes the mechanical power output in the back-squat was ~65% 1RM and in the deadlift was ~60% 1RM. Bland-Altman plot reported high agreement level between actual and predicted 1RM during the back-squat (ICC = 0.97; CI95% = 0.93 to 0.99) and deadlift (ICC = 0.981; CI95% = 0.83 to 0.99) exercises. In study 3, it was analyzed the effects of a different number of submaximal loads on the accuracy of 1RM prediction based on the individual load-velocity relationship in both exercises. The 1RM was accurately predicted, regardless of the number of loads used (2-, 3-, 4-, and 6-points) (absolute error < 7.0 kg; ES < 0.25; trivial to small). In conclusion, the VBT paradigm can be implemented by strength and conditioning coaches to accurately prescribe the load during the free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises in resistance-trained men.

Keywords: resistance training; kinematic; resistance exercises; strength testing; velocity-based training.

RESUMEN

El enfoque de entrenamiento basado en la velocidad (VBT) ha sido implementado cada vez más por profesionales de la fuerza y el acondicionamiento debido a sus ventajas prácticas en la prescripción y los ajustes diarios de las cargas de los ejercicios de fuerza en comparación con los modelos tradicionales basados en el porcentaje de una repetición máxima (1RM) o repetición máxima zonas (RM). Una de las suposiciones de este enfoque se basa en las relaciones negativas y muy fuertes entre la velocidad de movimiento y sus respectivas cargas submáximas, lo que permite una estimación muy precisa de la carga del ejercicio de fuerza. Sin embargo, para implementar adecuadamente el TBV, es necesario investigar la precisión de la relación carga-velocidad en la estimación de cargas en ejercicios que comúnmente se incorporan al entrenamiento de fuerza (RT). A pesar de que la literatura ya ha demostrado la efectividad de la relación carga-velocidad en diferentes ejercicios de resistencia, su precisión para estimar la carga en ejercicios de sentadilla libre y peso muerto con barra hexagonal es aún poco estudiada. Por lo tanto, el objetivo de esta tesis fue investigar la precisión de diferentes métodos basados en la relación carga-velocidad y carga-potencia en la estimación de cargas en los ejercicios de sentadilla libre y peso muerto con barra hexagonal. Para ello, la tesis se dividió en tres estudios. Se llevó a cabo un estudio de revisión sistemática para determinar la precisión de la relación carga-velocidad en diferentes ejercicios de resistencia e identificar posibles lagunas en la literatura sobre TBV. En los Estudios 2 y 3, veinticinco hombres entrenados en fuerza se sometieron a una prueba progresiva para determinar la carga de 1RM y el perfil completo de carga-velocidad en los ejercicios de sentadilla libre y peso muerto hexagonal. Las pruebas se realizaron en días no consecutivos (~1 semana) y en orden aleatorio de presentación. En el estudio 2, se determinó la relación carga-velocidad general para ambos ejercicios. Se encontró una relación negativa muy fuerte entre la velocidad de movimiento y la carga relativa para la sentadilla libre ($R^2 = 0,96$) y el peso muerto hexagonal ($R^2 = 0,97$). La carga que maximizó la potencia mecánica en la sentadilla libre fue ~65% 1RM y en el peso muerto con barra hexagonal fue ~60% 1RM. El diagrama de Bland-Altman informó valores de concordancia altos entre la carga de trabajo de 1RM real y prevista en la sentadilla libre (ICC = 0,97; 95 % IC = 0,93 a 0,99) y peso muerto con barra hexagonal (ICC = 0,981; 95 % IC = 0,83 a 0,99). En el estudio 3, se analizaron los efectos de diferentes cargas submáximas sobre la precisión de la predicción de carga de 1RM basada en la relación carga-velocidad individual en ambos ejercicios. La carga de 1RM se predijo con precisión, independientemente del número de cargas adoptadas (2, 3, 4, 6 cargas) (error absoluto < 7,0 kg; TE < 0,25; trivial a pequeño). En conclusión, el paradigma TBV puede ser implementado por profesionales de la fuerza y el acondicionamiento para prescribir con precisión las cargas en los ejercicios de sentadilla libre y peso muerto con barra hexagonal en hombres entrenados en fuerza.

Palabras clave: entrenamiento de fuerza; cinemática, ejercicio de resistencia; evaluación física; nentrenamiento basado en la velocidad.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos.....	22
1.1.1 Geral	22
1.1.2 Específicos	22
2. REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1 Contextualização sobre o treino de força.....	22
2.2. O papel da intensidade da carga nas adaptações induzidas pelo treino de força.....	25
2.3 Abordagens tradicionais para a prescrição da carga no treino de força .	27
2.4 Determinação da carga do exercício por meio do perfil carga-velocidade	31
2.6 Ajuste da carga do exercício pela relação carga-velocidade: Respostas crônicas	34
2.7 Determinação da carga do exercício por meio da relação carga-potência	35
2.6 Ajuste da carga do exercício pela relação carga-potência: Efeitos crônicos	37
2.8 Dispositivos que mensuram a velocidade nos exercícios resistidos	38
2.9 Parâmetros de velocidade e cinemáticos dos exercícios resistidos	39
2.9 Resumo e lacunas da literatura	41
3. MÉTODOS	42
3.1 Delineamento do estudo	42
3.2 Ética da pesquisa	42
3.3 Participantes	43
3.4 Procedimentos do estudo	43
3.4.1 Teste de carga progressiva.....	43
3.4.2 Padronização do padrão de movimento.....	44
3.4.3 Dispositivo de medidas e registro dos dados	45
3.5 Análise estatística.....	45
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	46
4.1 Artigo 1 - Acurácia de diferentes abordagens na estimativa da carga relativa nos exercícios resistidos baseadas na relação carga-velocidade: Uma revisão sistemática	48
4.2 Artigo 2 - Análise da relação carga-velocidade e carga-potência nos exercícios de agachamento livre e <i>deadlift</i> com barra hexagonal	92

4.3 Artigo 3. Efeitos da seleção das cargas na estimativa da carga de uma repetição máxima em exercícios de membros inferiores a partir da relação carga-velocidade individual.....	111
5. CONSIDERAÇÕES DA TESE.....	127
FINANCIAMENTO.....	129
REFERÊNCIAS	
Anexo A	
Anexo B	
Anexo C	
Apêndice I	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Varáveis de prescrição e princípios do treino de força.....	23
Figura 2. Atualização sobre as contribuições neurais e musculares na força muscular ao longo do tempo..	24
Figura 3. Representação da flutuação da carga estimada de 1RM no exercício agachamento durante blocos de treinamento.	28
Figura 4. Características das sessões de treino de força e mudanças percentuais em comparação à linha de base entre os protocolos 3x 6(12) e 3x 12(12) ao longo de 48 h pós-treino.....	30
Figura 5. Relações carga-velocidade e carga-potência no exercício agachamento com salto.	36
Figura 6. Exemplo de curvas de potência, velocidade e aceleração obtidas ao levantar uma carga leve (20% 1RM) versus uma carga alta (80% 1RM)	40
Figura 7. Diagrama de fluxo PRISMA para a descrição do processo geral.	56
Figura 8. Relação carga-velocidade geral para os exercícios agachamento livre e <i>deadlift</i> hexagonal.	101
Figura 9. Plotagem de Bland-Altman entre a carga de 1RM atual e predita obtida pela relação carga-velocidade geral e individual para os exercícios agachamento livre e <i>deadlift</i> hexagonal.....	102
Figura 10. Relação carga-potência para os exercícios agachamento livre e <i>deadlift</i> hexagonal de acordo com a carga relativa ao 1RM (A) e percentual da massa corporal (B)	105
Figura 11. Erros absolutos médios e individuais entre as cargas de 1RM atual e predita pelos diferentes métodos de predição durante os exercícios agachamento e <i>deadlift</i> hexagonal.....	121
Figura 12. Plotagem de Bland-Alman entre as cargas de 1RM atual e predita por diferentes métodos de predição durante o exercício agachamento livre.....	122
Figura 13. Plotagem de Bland-Alman entre as cargas de 1RM atual e predita por diferentes métodos de predição durante o exercício <i>deadlift</i> hexagonal.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número máximo de repetições em diferentes exercícios resistidos e intensidades relativas ao %1RM	29
Tabela 2. Valores de referência para o uso da velocidade do movimento como medida da intensidade relativa em diferentes exercícios resistidos.	32
Tabela 3. Velocidade média propulsiva alcançada em cargas relativas ao 1RM nos exercícios agachamento e <i>deadlift</i> (Média e desvio padrão).....	104
Tabela 4. Dados descritivo das cargas empregadas para determinar a relação carga-velocidade individual.	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Relações carga-velocidade gerais para estimativa da carga de 1RM em exercícios de membros superiores.....	59
Quadro 2. Relações carga-velocidade gerais para estimativa da carga de 1RM em exercícios de membros inferiores.....	63
Quadro 3. Acurácia de diferentes métodos na estimativa da carga de 1RM baseada na relação carga-velocidade individual.....	66
Quadro 4. Análise do Índice de Qualidade Downs & Black modificado para cada item e escore total.	71

LISTA DE SIGLAS

TF	Treino de força
1RM	Uma repetição máxima
RMs	Repetições máximas
TBV	Treino baseado em velocidade
VPM	Velocidade propulsiva média
TE	Tamanho do efeito
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PPM	Potência propulsiva média
SVCM	Salto vertical com contra movimento
VM	Velocidade média
VP	Velocidade pico
CCI	Coeficiente de correlação intra-classe
CV	Coeficiente de variação
IC	Intervalo de confiança
EPE	Erro padrão da estimativa
LMV	Limiar mínimo de velocidade
V1RM	Velocidade associada à carga de 1RM
Vlast	Velocidade da última repetição até a falha muscular
CON	Concêntrico
EXC-CON	Excêntrico-Concêntrico
Pmax	Potência mecânica máxima

1. INTRODUÇÃO

O treino de força (TF) é reconhecido como um dos principais métodos de treinamento para promover adaptações neuromusculares relacionadas ao aumento da produção de força muscular, hipertrofia muscular, desempenho motor, aptidão física e saúde em diversas populações (FOLLAND; WILLIAMS, 2007; KRAEMER; RATAMESS, 2004). Para estimular adaptações adicionais ao TF, a manipulação adequada de diferentes variáveis de prescrição é necessária para fornecer progressão adequada da carga ao longo dos programas de TF (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; TAN, 1999). Embora diversas variáveis de prescrição contribuam para as adaptações neuromusculares induzidas pelo TF, a literatura científica tem destacado o papel do volume e da intensidade (i.e., carga) na progressão do treino (FIGUEIREDO; DE SALLES; TRAJANO, 2018; KRAEMER; RATAMESS, 2004; PETERSON; RHEA; ALVAR, 2005).

A manipulação da intensidade da carga no TF promove alterações agudas relevantes nas respostas metabólicas (RODRÍGUEZ-ROSELL et al., 2018; SANCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011), hormonais (HISCOCK et al., 2018; RAASTAD; BJØRO; HALLÉN, 2000), neurais (RODRÍGUEZ-ROSELL et al., 2020b; SCHOENFELD et al., 2014; TSOUKOS et al., 2021) e mecânicas (IZQUIERDO et al., 2006a; PAREJA-BLANCO et al., 2019; SANCHEZ-MEDINA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2011). Quando empregada adequadamente, a intensidade da carga no TF favorece as respostas adaptativas funcionais que sustentam os ganhos de força, potência, desempenho motor, hipertrofia e benefícios relacionados à saúde induzidos pelo TF (AAGAARD et al., 2002; FOLLAND; WILLIAMS, 2007; MARTINEZ-CANTON et al., 2021; PAREJA-BLANCO et al., 2020b). Nesse sentido, a forma como a intensidade da carga no TF tem sido prescrita e gerenciada ao longo do programa tem recebido grande interesse na literatura científica (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; HELMS et al., 2016; SUCHOMEL et al., 2021; THOMPSON et al., 2020b).

A intensidade da carga no TF pode ser definida como a quantidade de peso levantada numa série de exercício, e é tradicionalmente determinada por duas abordagens: 1) percentual relativo à carga de uma repetição máxima (1RM [i.e. 70% 1RM]); e 2) números de repetições máximas (RMs [i.e., 10RM]) (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; THOMPSON et al., 2020b). Apesar de ambas as abordagens serem

válidas, reprodutíveis e eficazes em promover adaptações neuromusculares, a determinação da intensidade da carga por meio dos testes de 1RM e RMs é associada com diversas desvantagens que podem dificultar sua implementação na rotina dos profissionais de força e condicionamento, principalmente, no que diz respeito ao gerenciamento do nível de fadiga e aplicabilidade dos programas de TF (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; JOVANOVIĆ; FLANAGAN, 2015; SUCHOMEL et al., 2021). Por exemplo, a intensidade da carga relativa à 1RM pode variar entre as sessões de treino devido ao estado de prontidão dos praticantes (DANKEL et al., 2017), os valores pré-treino de 1RM podem variar rapidamente após poucas sessões de treino (PAREJA-BLANCO et al., 2020b) e é um procedimento que demanda muito tempo para ser realizado em cada exercício do programa de TF (LOTURCO et al., 2016a). Além disso, o teste de RMs demanda um esforço exaustivo para determinar a intensidade da carga no TF devido à realização frequente de séries até a falha muscular concêntrica (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; SUCHOMEL et al., 2021). Desta forma, a dificuldade em realizar avaliações regulares por meio dos testes de 1RM e RMs pode potencialmente comprometer o gerenciamento da intensidade da carga nos exercícios ao longo dos programas de TF (DORRELL; SMITH; GEE, 2020). Portanto, a utilização de abordagens alternativas para o monitoramento regular da intensidade da carga nos exercícios para identificar como os praticantes estão respondendo ao TF é de interesse para os profissionais de força e condicionamento (SUCHOMEL et al., 2021).

Uma alternativa viável para a prescrição da intensidade da carga de treino, que tem recebido considerável atenção nos últimos anos, é a utilização da velocidade barra na fase concêntrica do levantamento devido à sua forte correlação negativa com as intensidades relativas à carga de 1RM, definida como relação carga-velocidade (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010). A premissa desta abordagem se refere ao fato de que ao levantar a carga no máximo esforço possível, a velocidade associada ao levantamento pode ser plotada contra intensidades submáximas da carga (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; TORRES-RONDA, 2021; WEAKLEY et al., 2021b). Na última década, um número extensivo de pesquisas foi realizado para entender a validade da relação carga-velocidade em determinar a intensidade da carga em diversos exercícios resistidos (CONCEIÇÃO et al., 2016; DE HOYO et al., 2019; LOTURCO et al., 2021a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014). No geral, a relação carga-velocidade apresentou altos coeficientes de

determinação ($R^2 > 0,94$) em exercícios como o supino reto (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2017a), remada pronada (GARCÍA-RAMOS et al., 2019a), agachamento (CONCEIÇÃO et al., 2016; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a) e *deadlift* (MORÁN-NAVARRO et al., 2021). Estes dados demonstraram que a velocidade da barra realizada no máximo esforço registrada durante uma única repetição permite estimar a intensidade da carga relativa de 1RM com grande precisão, e sem a necessidade de realizar procedimentos fatigantes e com alta demanda de tempo (i.e., 1RM ou RMs) (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). Esta afirmação é baseada no fato de que para cada percentual relativo ao 1RM há uma velocidade da barra específica. Como consequência, a intensidade da carga no TF pode ser regularmente controlada em função das respostas individuais do balanço entre estresse e recuperação.

Outra alternativa simples e eficiente para prescrever a intensidade da carga no TF é por meio da relação carga-potência (LOTURCO et al., 2021b). Isto é especialmente importante para atletas que competem em esportes com alta exigência de produção de potência ou praticantes recreacionais de força que visam aumentar a sua capacidade de produzir potência. A relação carga-potência permite identificar a carga ótima de geração de potência na barra ou intervalos de cargas submáximas capazes de gerar alta quantidade de potência mecânica (i.e., zona ótima de potência) por meio de dispositivos como os transdutores lineares (LOTURCO et al., 2021b). A abordagem da potência mecânica da barra é capaz de mensurar a quantidade de potência mecânica externa que está sendo aplicada a barra, o que pode ser útil para os profissionais de força e condicionamento estabelecerem os limites inferiores e superiores de cargas submáximas em que os praticantes estão gerando grande quantidade de potência na barra (LOTURCO et al., 2020; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014).

Embora as relações carga-velocidade e carga-potência possam auxiliar os profissionais de força e condicionamento na prescrição e ajuste da intensidade da carga nos exercícios resistidos, é bem estabelecido que a cinemática da barra é específica para cada exercício resistido e ainda podem diferir entre as variações do mesmo exercício devido às diferenças nos padrões mecânicos e musculares (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; RODILES-GUERRERO; PAREJA-BLANCO; LEÓN-PRADOS, 2020; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014). Para incorporar a abordagem da velocidade na estimativa da intensidade da carga na rotina de TF, é fundamental

fornecer dados sobre a relação carga-velocidade e relação carga-potência nos principais exercícios resistidos incorporados nos programas de TF. Tradicionalmente, os exercícios de agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal constituem as principais variações incorporadas no TF. Estudos prévios, demonstraram a eficácia desses exercícios em aumentar a capacidade de produzir força nos músculos extensores e flexores do quadril e joelho (HELD et al., 2020; NIGRO; BARTOLOMEI, 2020). Contudo, até o presente momento da elaboração desta tese, os dados sobre a relação carga-velocidade e carga-potência são limitados nos exercícios meio agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal. Nesse sentido, se a equação geral obtida pela relação carga-velocidade para esses exercícios resultarem em erros de estimativas aceitáveis, então a velocidade da barra poderá ser implementada para desenvolver velocidades de referência de acordo com o objetivo da sessão de treino.

Adicionalmente, alguns estudos reportaram que a relação carga-velocidade pode diferir em função de algumas características individuais (i.e., idade, sexo e perfil antropométrico) (FERNANDES; LAMB; TWIST, 2018; GARCÍA-RAMOS; SUZOVIC; PÉREZ-CASTILLA, [s.d.]; PÉREZ-CASTILLA et al., 2020a). Estes resultados sugerem que a determinação individual da relação carga-velocidade é preferível em comparação às equações gerais, tendo em vista as possíveis variações biológicas entre os sujeitos para a velocidade da barra, principalmente contra cargas mais leves (GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; PESTAÑA-MELERO et al., 2018). Desta forma, é importante investigar a acurácia das principais variáveis relacionadas à relação individual carga-velocidade (i.e., número de cargas, distância entre as cargas e limiar mínimo de velocidade) e confrontar com a precisão das equações gerais para fornecer informações aos profissionais de força e condicionamento sobre as abordagens mais simples e eficientes para ajustar o perfil carga-velocidade individual. Do ponto de vista prático, essas informações poderão ser úteis aos profissionais de força e condicionamento que visem incorporar a abordagem do treino baseado em velocidade (TBV) para estimar a intensidade das cargas dos exercícios em seus programas de TF, como uma abordagem tempo-eficiente e menos fatigante para monitorar o estado de prontidão do praticante ao longo das sessões de treino.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Investigar a acurácia da relação carga-velocidade em estimar a carga de 1RM nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal em homens treinados em força.

1.1.2 Específicos

Considerando que o modelo da tese é apresentado em formato de artigo, optou-se por colocar os objetivos específicos referentes aos três artigos desenvolvidos.

Estudo 1: Sistematizar e analisar criticamente o uso da velocidade da barra e suas considerações metodológicas na acurácia da predição carga de 1RM nos exercícios resistidos;

Estudo 2: (i) determinar a acurácia da velocidade da barra na estimativa da carga de 1RM por meio da relação carga-velocidade geral e individual nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal; (ii) determinar a relação carga-potência em ambos os exercícios e; (iii) comparar a relação carga-velocidade e carga-potências de ambos os exercícios.

Estudo 3: Comparar a acurácia de diferentes números de cargas submáximas (2-, 3-, 4- e 6-cargas) na estimativa da carga de 1RM nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Contextualização sobre o treino de força (TF)

O TF é um termo genérico para descrever diversos objetivos associados ao treino como aumento da força muscular, hipertrofia, aptidão física e saúde, prevenção de lesão e reabilitação (STONE; COLLINS; PLISK, 2002). Essas adaptações induzidas pelo TF podem ser alcançadas pelo programação adequada do TF, levando em consideração a manipulação de diversas variáveis de prescrição e os princípios do treinamento (Figura 1) (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; TAN, 1999).

A combinação adequada desses fatores representa um grande desafio para os profissionais de força e condicionamento alcançarem os objetivos planejados, já que a manipulação de uma ou mais variáveis pode influenciar as características do estímulo aplicado no treino (STONE; COLLINS; PLISK, 2002; TAN, 1999). Por

exemplo, Häkkinen e Keskinen (1989) investigaram as características da produção de força em três grupos de atletas submetidos a diferentes estímulos de treino (i.e., força, potência, endurance). Neste estudo, os autores encontraram que os atletas treinados em força (i.e., levantadores de peso; altas cargas e poucas repetições) tiveram os maiores ganhos em força máxima; os atletas treinados em potência (i.e., sprinters e saltadores; baixas cargas e máxima velocidade de contração) apresentaram maiores ganhos na taxa de desenvolvimento de força; e os atletas treinados em endurance (i.e., nadadores de longa distância) tiveram os menores ganhos em força máxima e taxa de desenvolvimento de força. Essas adaptações neuromusculares parecem estar relacionadas ao grau de ativação neural e contribuição morfológica da musculatura esquelética em resposta aos estímulos altamente específicos ao longo dos anos (FOLLAND; WILLIAMS, 2007; NARICI et al., 1989).



Figura 1. Varáveis de prescrição e princípios do treino de força. Adaptado de Bird et al. (2005).

Durante as primeiras semanas de TF, a força muscular aumenta significativamente pelo menos até os seis meses do início do treinamento (NARICI et al., 1996; OGASAWARA et al., 2013). O desenvolvimento da força muscular é determinado pela interação entre fatores neurais, morfológicos e contextuais (i.e., genética, nível de força e histórico de treinamento) (SUCHOMEL et al., 2018). Por exemplo, Balshaw et al. (2017) investigaram a contribuição individual das adaptações neurais, morfológicas e níveis de força nos ganhos de força muscular do quadríceps após 12 semanas de TF e encontraram que a combinação do *drive* neural dos

músculos agonistas (30.6%), volume muscular (18.7%) e níveis de força no pré-treino (10.6%) compartilharam 60% da variância nos ganhos de força após o TF. Nesse estudo (BALSHAW et al., 2017), o drive neural foi o fator isolado que mais contribuiu para os ganhos de força muscular. Esses dados suportam a hipótese de que os ganhos na força muscular nas primeiras semanas do TF é associado, principalmente, às adaptações neurais em comparação com as mudanças estruturais na musculatura que ocorrem, geralmente, mais tardiamente (FOLLAND; WILLIAMS, 2007; GABRIEL; KAMEN; FROST, 2006; SALE, 1988; ŠKARABOT et al., 2021). Por outro lado, tem sido sugerido que a medida que o TF progride, a contribuição neural é reduzida e os ganhos adicionais na força muscular são associados às adaptações morfológicas (i.e., aumento de área de secção transversa) (SALE, 1988). Contudo, o papel das adaptações neurais e morfológicas nos ganhos de força muscular a longo prazo tem sido recentemente questionado, sugerindo que as adaptações neurais não são dicotômicas, mas sim ocorrem como um *continuum* (Figura 2) (PEARCEY et al., 2021).

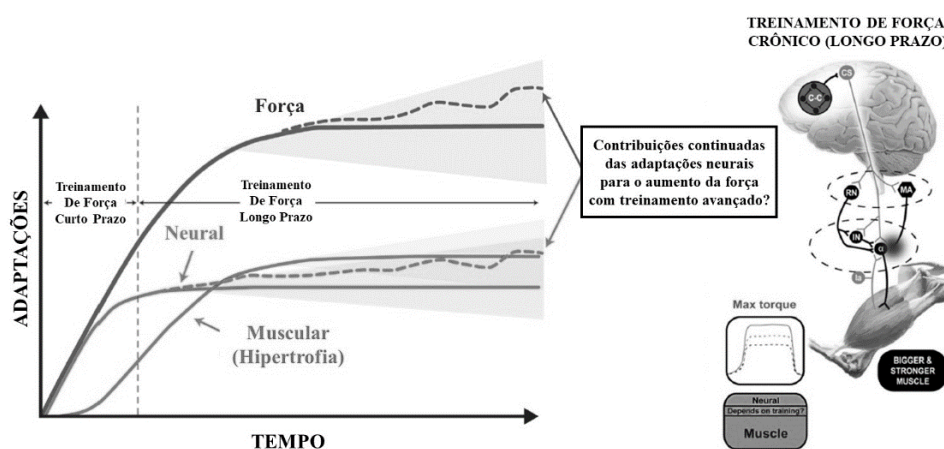


Figura 2. Atualização sobre as contribuições neurais e musculares na força muscular ao longo do tempo. Treino de força de curto prazo = 8-12 semanas. Adaptado de Pearcey et al. (2021).

Evidências indiretas sobre as adaptações neurais ao TF estão relacionadas com o aumento da força muscular, apesar da ausência de adaptações morfológicas na musculatura esquelética (BUCKNER et al., 2021; DANKEL et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020b) e ao aumento desproporcional dos ganhos de força relativo à área de secção transversa do músculo, principalmente, nas primeiras semanas de treino (NARICI et al., 1989, 1996). Além disso, experimentos mais recentes utilizando medidas avançadas de eletromiografia de alta densidade demonstraram que o

aumento da força muscular induzido pelo TF foi acompanhado da redução do limiar de recrutamento e aumento na taxa de disparo das unidades motoras, fornecendo evidências diretas das adaptações neurais ao TF (AAGAARD; BOJSEN-MØLLER; LUNDBYE-JENSEN, 2020; DEL VECCHIO et al., 2019). Apesar do TF ser um estímulo necessário para induzir adaptações neuromusculares, um ponto importante no delineamento dos programas de TF é determinar qual o estímulo mais adequado para promover adaptações neurais específicas que contribuam para os ganhos de força muscular. O estímulo mecânico aplicado no TF induz adaptações neuromusculares específicas (CORMIE; MCGUIGAN; NEWTON, 2011; KAWAMORI; HAFF, 2004). Logo, é sugerido que a intensidade da carga, entre outros fatores (i.e., velocidade do movimento), desempenha papel importante para aumentar a ativação e recrutamento neural, e consequentemente, direcionar as adaptações neuromusculares induzidas pelo TF (JENKINS et al., 2017; TAN, 1999).

2.2. O papel da intensidade da carga nas adaptações induzidas pelo treino de força

A prescrição da intensidade da carga no TF é tipicamente determinada em função das adaptações neuromusculares pretendidas ao longo dos programas de TF (BEHM; SALE, 1993; HÄKKINEN; KESKINEN, 1989; LOPEZ et al., 2021; MCBRIDE et al., 2002; SCHOENFELD et al., 2017).. Nesse sentido, tem sido sugerido que o número de repetições realizado contra uma determinada intensidade da carga irá resultar em adaptações específicas (SCHOENFELD et al., 2021). Em relação à hipertrofia muscular, existe uma crença que cargas moderadas (8-12 RM) são recomendadas para otimizadas as adaptações hipertróficas (i.e., zona de hipertrofia no continuum força-endurance) (SCHOENFELD et al., 2021). Contudo, o corpo atual de evidência tem suportado que os ganhos de hipertrofia muscular induzidos pelo TF podem ser alcançados em um amplo espectro de cargas do continuum força-endurance (40-80% 1RM), desde que o volume total de carga (número de repetições x carga levantada) seja equalizado (LASEVICIUS et al., 2018; SCHOENFELD et al., 2017). Por outro lado, diversos estudos demonstraram que os ganhos de força muscular são dependentes da intensidade da carga, com altas cargas promovendo maiores aumentos em comparação à programas de TF com cargas moderadas (<80% 1RM) (LASEVICIUS et al., 2018; LOPEZ et al., 2021).

Por exemplo, ao considerar a força máxima como a carga associada à 1RM, alguns autores mostraram por meio de estudos de meta-análise que os ganhos de força foram superiores para altas cargas em comparação a cargas leves ou moderadas (LOPEZ et al., 2021; SCHOENFELD et al., 2017). Além disso, programas de TF utilizando diferentes cargas relativas encontraram maiores efeitos de transferência que ocorreram na/ou próximo da carga relativa %1RM utilizada no exercício (IZQUIERDO-GABARREN et al., 2010; MCBRIDE et al., 2002; MOSS et al., 1997). Esses resultados parecem ser consistentes com o princípio da especificidade, que afirma que quanto mais próximo um programa de TF replica as condições de um determinado desfecho (i.e., carga e velocidade do movimento), maior a probabilidade de transferência para esse resultado (STONE; COLLINS; PLISK, 2002). Contudo, dependendo do nível de treinamento dos indivíduos, é sugerido que as adaptações ao TF não necessariamente seguem esse princípio da especificidade, tendo em vista que sujeitos com baixo nível de força podem aumentar a força muscular contra diferentes cargas relativas, independentemente da intensidade da carga utilizada (KRAEMER; NEWTON, 2000). Essa afirmação suporta que a interação entre os ganhos de força para altas cargas foram maiores em sujeitos treinados (HÄKKINEN et al., 1987; SCHOENFELD et al., 2017), o que pode ser explicado pelo princípio da adaptação, que afirma que os ganhos iniciais de força são mais facilmente alcançados, e que os ganhos adicionais são progressivamente mais difíceis de serem adquiridos (KRAEMER et al., 2002). Nesse sentido, é possível sugerir que para indivíduos com menor nível de treinamento um amplo espectro de cargas pode ser implementado para promover ganhos de força muscular, por outro lado, em indivíduos treinados uma prescrição da intensidade da carga do exercício mais específica à tarefa parece ser necessária.

Consequentemente, esses dados reforçam a importância da prescrição da intensidade da carga para o delineamento e progressão efetiva dos programas de TF levando em consideração os objetivos planejados (i.e., aumento da força muscular). Mesmo assim, é importante ressaltar que a determinação da intensidade da carga no ambiente prático ainda permanece como um dos principais desafios a serem reportados pelos profissionais de força e condicionamento (SUCHOMEL et al., 2021).

2.3 Abordagens tradicionais para a prescrição da carga no treino de força

Tipicamente, a carga do exercício pode ser diretamente determinada pelo percentual de 1RM (i.e., carga máxima que pode ser levantada em apenas uma repetição com a técnica adequada) ou zonas de RMs (i.e., carga máxima que pode ser levantada para um determinado número de repetições) (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; THOMPSON et al., 2020b). Ambas as abordagens têm sido amplamente recomendadas para a prescrição da intensidade da carga entre profissionais e cientistas do esporte, e fornecem medidas válidas, reproduzíveis e eficazes em promover ganhos na força muscular (GARCÍA-RAMOS et al., 2019b; SUCHOMEL et al., 2021; THOMPSON et al., 2020b). Contudo, a utilização regular dessas abordagens tradicionais para prescrever e monitorar a carga dos exercícios apresenta diversas desvantagens que dificultam a sua implementação no ambiente prático dos profissionais de força e condicionamento (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; HELMS et al., 2016; SUCHOMEL et al., 2021).

A determinação direta da carga de 1RM é caracterizada por um procedimento de tentativa de erro contra altas cargas e múltiplas tentativas para cada exercício incluído no programa de TF. Esta abordagem exige dos praticantes uma alta quantidade de tempo e esforço para realizar o teste, tornando-o um procedimento impraticável para grupos de praticantes (i.e., atletas de esportes coletivos) (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; PICERNO et al., 2016; TAN, 1999). Outra importante limitação do teste de 1RM é considerar o desempenho prévio à sessão de treino, o que pode não ser representativo do estado de prontidão do praticante para uma determinada sessão de treino (JOVANOVIĆ; FLANAGAN, 2015; ZOURDOS et al., 2016) (Figura 3). Consequentemente, a carga planejada de uma determinada sessão de treino pode representar um maior ou menor esforço devido ao nível de fadiga acumulado ao longo das sessões de treinamento (HELMS et al., 2016), ou outras fontes de estresse não relacionadas ao treino (i.e., privação de sono, nutrição) (SUCHOMEL et al., 2021). Além disso, a carga inicial de 1RM pode mudar rapidamente após poucas sessões de treino o que pode aumentar as divergências entre as cargas atual e planejada (ABE et al., 2000; PAREJA-BLANCO et al., 2017c, 2020b, 2020c). Por exemplo, alguns estudos demonstraram ganhos significativos no teste de 1RM após duas semanas de TF (ABE et al., 2000; IKEZOE et al., 2020), enquanto que, outros estudos apresentaram aumentos na carga

de 1RM a partir das primeiras sessões de treino (PAREJA-BLANCO et al., 2020b, 2020c). Aumentos similares foram reportados pela repetição do teste de 1RM em curtas durações (DANKEL et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2013; RITTI-DIAS et al., 2011; SOARES-CALDEIRA et al., 2009), sugerindo que múltiplas sessões de familiarização são necessárias para minimizar o efeito de aprendizagem ao teste.

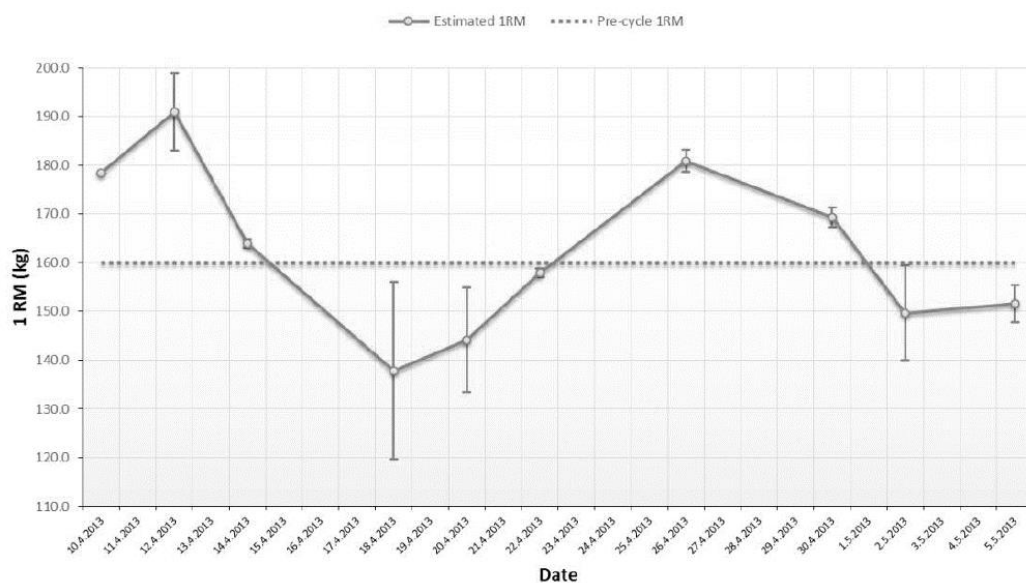


Figura 3. Representação da flutuação da carga estimada de 1RM no exercício agachamento durante blocos de treinamento. Linha pontilhada representa os valores de 1RM usado como referência no pré-treino (JOVANOVIĆ; FLANAGAN, 2015).

Ao invés de utilizar percentuais de 1RM, uma possível alternativa é adotar as zonas de RMs (i.e., a maior quantidade carga levantada com a técnica correta para um determinado número de repetições) para prescrever a carga do exercício. Tem sido recomendado que essa abordagem é superior ao método baseado em %1RM para a prescrição da carga dos exercícios (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; SUCHOMEL et al., 2021; TAN, 1999). Por exemplo, sugere-se que a utilização de RMs pode levar em consideração as flutuações diárias no estado fisiológico dos praticantes (i.e., níveis de força), e consequentemente, fornecer melhores ajustes da carga de treino (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; TAN, 1999). De fato, estudos prévios demonstraram aumento da força muscular ao utilizar zonas de RMs para prescrever a carga de treino (FRANCHINI et al., 2015; IZQUIERDO et al., 2006b; RØNNESTAD et al., 2015; SCHOENFELD et al., 2015). Apesar disso, os profissionais

de força e condicionamento devem levar em consideração algumas desvantagens da utilização das zonas de RMs para prescrever e ajustar a carga do exercício. Por exemplo, se observou uma alta variabilidade no número de repetições realizadas para o mesmo %1RM entre diferentes sujeitos e exercícios (HOEGER et al., 1990; JULIO; PANISSA; FRANCHINI, 2012; RICHENS; CLEATHER, 2014), indicando que um determinado número de repetições não pode ser associado ao mesmo %1RM. No estudo de Julio et al. (2012), os autores encontraram uma grande variação no número máximo de repetições realizadas no exercício de supino reto a 70% (11-20), 80% (5-15) e 90% (2-7) de 1RM. O número de repetições completado também variou em função dos exercícios e músculos envolvidos durante o exercício, independente da carga relativa usada (i.e., 70%, 80%, 90% 1RM). Consequentemente, se o mesmo %1RM for prescrito para realizar um determinado número de repetições, o nível de esforço da sessão experimentado será maior ou menor para diferentes sujeitos ou grupos musculares exercitados (Tabela 1).

Tabela 1. Número máximo de repetições em diferentes exercícios resistidos e intensidades relativas ao %1RM

	Número máximo de repetições para diferentes %1RM					
	70%	Intervalo	80%	Intervalo	90%	Intervalo
Supino reto	16 ± 3	11-20	10 ± 2	5-15	5 ± 2	2-7
Puxada na máquina	12 ± 3	7-19	9 ± 3	5-16	5 ± 3	1-11
Flexão do cotovelo	16 ± 3	9-22	10 ± 2	5-13	5 ± 2	2-8
Extensão do joelho	11 ± 3	7-17	7 ± 2	4-12	3 ± 1	2-8
Flexão do joelho	16 ± 5	6-25	11 ± 3	5-19	6 ± 3	1-11

Retirado de Júlio et al. (2012).

Adicionalmente, a utilização de zonas de RMs requer frequentemente um alto nível de esforço dos praticantes para prescrever e ajustar a carga de treino devido à falha muscular alcançada no exercício (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). O alto estresse mecânico e metabólico induzido pelo TF até a falha muscular diminui o desempenho mecânico na sessão, reduz a capacidade do sistema neuromuscular em ativar voluntariamente os músculos primários envolvidos na tarefa e aumenta a percepção de esforço e o dano muscular (VIEIRA et al., 2021b). Consequentemente, a cinética de recuperação entre as sessões de TF

também é comprometida, no qual o desempenho neuromuscular pode permanecer alterado até 48-72 h após a sessão de treino (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2015; GOROSTIAGA et al., 2012; PAREJA-BLANCO et al., 2017a, 2020a) (Figura 4).

	Squat			Bench press		
	3 × 6 [12]	3 × 12 [12]	P-value	3 × 6 [12]	3 × 12 [12]	P-value
Repetitions per set	6.0 ± 0.0	11.2 ± 0.9	<0.001	6.0 ± 0.0	10.5 ± 1.3	<0.001
Fastest-V (m s ⁻¹)	0.85 ± 0.03	0.84 ± 0.03	0.47	0.65 ± 0.03	0.63 ± 0.05	0.21
Slowest-V (m s ⁻¹)	0.63 ± 0.07	0.38 ± 0.07	<0.001	0.44 ± 0.05	0.15 ± 0.05	<0.001
Mean-V (m s ⁻¹)	0.75 ± 0.04	0.63 ± 0.07	<0.001	0.55 ± 0.03	0.42 ± 0.04	<0.001
MeanLoss-V (%)	20.3 ± 6.1	43.8 ± 6.7	<0.001	26.4 ± 6.7	65.0 ± 5.7	<0.001
MaxLoss-V (%)	25.9 ± 8.5	54.7 ± 7.4	<0.001	33.4 ± 7.5	76.5 ± 7.3	<0.001

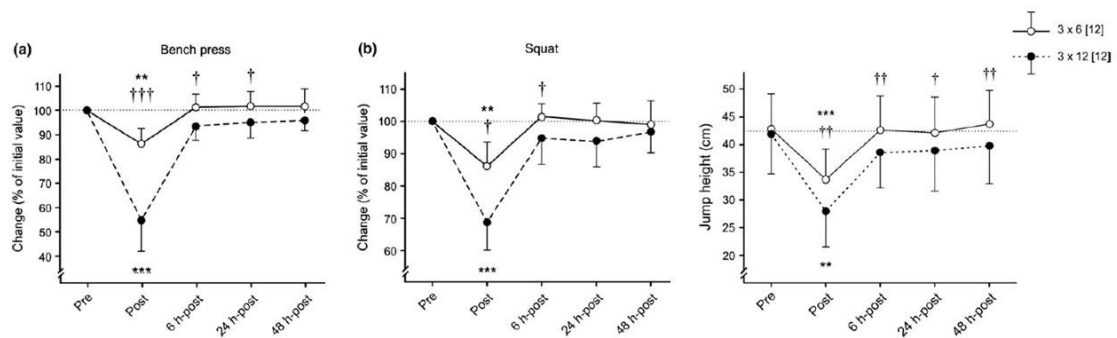


Figura 4. Características das sessões de treino de força e mudanças percentuais em comparação à linha de base entre os protocolos 3x 6(12) e 3x 12(12) ao longo de 48 h pós-treino. Retirado e adaptado de Pareja-Blanco et al. (2017a).

Desta forma, o TF até falha muscular é contraproducente para o desenvolvimento de algumas respostas adaptativas como a potência mecânica, velocidade, taxa de desenvolvimento de força e tarefas associadas ao desempenho esportivo (i.e., sprints e saltos) (CARROLL et al., 2018; DAVIES et al., 2016; IZQUIERDO et al., 2006b; PAREJA-BLANCO et al., 2020b; VIEIRA et al., 2021a). Além disso, essa abordagem parece não ser compatível para atletas devido à alta demanda neuromuscular inerente a exigência esportiva e/ou para aqueles praticantes que visam aumentar a frequência de TF para o mesmo grupo muscular por causa do comprometimento na cinética de recuperação (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; MORÁN-NAVARRO et al., 2017; PAREJA-BLANCO et al., 2020a). Vale destacar que embora o TF até a falha muscular seja uma prática comum entre os profissionais de força e condicionamento, o corpo atual de conhecimento não suporta ganhos adicionais na força muscular ou hipertrofia muscular em comparação ao TF sem levar até a falha muscular quando o volume de carga do treinamento é equalizado (DAVIES et al., 2016; MARTORELLI et al., 2017; VIEIRA et al., 2021a).

Nesse sentido, apesar da abordagem das zonas de repetições eliminar a necessidade de realizar testes de 1RM para prescrever e ajustar a carga do exercício, o uso frequente de altos níveis de esforço na sessão pode resultar em repostas não desejáveis ao TF. Consequentemente, a implementação de abordagens que facilitem o controle da carga do exercício levando em consideração o gerenciamento do nível de fadiga entre as sessões de treino tem apelo prático para os profissionais de força e de condicionamento

2.4 Determinação da carga do exercício por meio do perfil carga-velocidade

Na última década, uma abordagem que ficou popular entre os profissionais de força e condicionamento e cientistas do esporte foi a utilização da velocidade do movimento como parâmetro para determinar a carga nos exercícios resistidos (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; TORRES-RONDA, 2021; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; WEAKLEY et al., 2021b). A premissa desta abordagem está relacionada à forte correlação negativa entre a velocidade da barra e cargas relativas ao %1RM (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; TORRES-RONDA, 2021; WEAKLEY et al., 2021b), indicando que cargas mais pesadas não podem ser levantadas com a mesma velocidade concêntrica que cargas mais leves à medida que o levantamento seja realizado com o máximo esforço possível. No geral, a relação carga-velocidade tem apresentado fortes coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,94$) em diversos exercícios resistidos (CONCEIÇÃO et al., 2016; GARCÍA-RAMOS; SUZOVIC; PÉREZ-CASTILLA, [s.d.]; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2017a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021; PALLARÉS et al., 2014). Por exemplo, González-Badillo et al. (2010a) reportaram um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,98 entre a velocidade propulsiva média (VPM) da barra e a carga levantada no exercício supino reto guiado ajustada por uma regressão polinomial de segunda ordem em indivíduos treinados em força. É importante destacar que após um período de seis semanas TF (2-3 sessões/semana, 3-5 séries, 4-12 repetições, 60-80% 1-RM) que resultou em ganhos de 9,3% 1RM no supino reto, não houve diferença entre os valores de VPM alcançada para cada %1RM, demonstrando que a velocidade do movimento é um indicador estável da carga relativa que está sendo levantada. De forma similar, Conceição et al. (2016) encontraram fortes coeficientes de determinação ($R^2 > 0,95$) entre a carga levantada e a VPM para os

exercícios de meio agachamento, agachamento completo e *leg press* 45° em atletas de atletismo.

A partir desses dados, equações gerais preditivas foram desenvolvidas, permitindo aos profissionais de força e condicionamento estimar a carga relativa em diversos exercícios resistidos e suas variações como, o supino reto (GARCÍA-RAMOS et al., 2018a; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2017a), remada pronada (LOTURCO et al., 2021a; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014), desenvolvimento de ombros (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; GARCÍA-RAMOS; JIMÉNEZ-REYES, 2018; GARCÍA-RAMOS; SUZOVIC; PÉREZ-CASTILLA, [s.d.]), agachamento (CONCEIÇÃO et al., 2016; LOTURCO et al., 2016a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a), *deadlift* (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; JUKIC et al., 2020a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021) e *hip thrust* (DE HOYO et al., 2019) (Tabela 2). Como consequência, a intensidade da carga em diferentes exercícios resistidos pode ser prescrita com grande precisão e ajustada regularmente em função das respostas individuais do estado de prontidão dos indivíduos ao registrar a velocidade da barra por meio de dispositivos comerciais (i.e., encoders posicionais/velocidade, acelerômetros e aplicativos) durante uma única repetição no aquecimento, sem a necessidade de realizar procedimentos fatigantes e com alta demanda de tempo (i.e., 1RM ou RMs) (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011).

Tabela 2. Valores de referência para o uso da velocidade do movimento (VPM) como medida da intensidade relativa em diferentes exercícios resistidos.

Carga Relativa (%1RM)	Supino Reto (Guiado)	Remada Pronada (Guiado)	Meio Agachamento (Guiado)	<i>Deadlift</i> Tradicional
40%	1,15	1,35	0,87	1,06
45%	1,06	1,25	0,83	1,00
50%	0,97	1,18	0,78	0,93
55%	0,89	1,11	0,73	0,86
60%	0,80	1,04	0,68	0,79
65%	0,72	0,97	0,64	0,72
70%	0,64	0,90	0,59	0,66
75%	0,56	0,83	0,54	0,60
80%	0,48	0,77	0,49	0,53
85%	0,41	0,70	0,45	0,46
90%	0,33	0,64	0,40	0,39
95%	0,26	0,57	0,35	0,32
100%	0,19	0,51	0,30	0,25

González-Badillo et al. (2010), Sanchez-Medina et al. (2014), Loturco et al., (2016a) e Moran-Navarro et al., (2021).

Apesar do número extensivo de investigações sobre a relação carga-velocidade em diversos exercícios resistidos, ainda se observa um número limitado de estudos incluindo exercícios de membros inferiores e suas variações, que são comumente incorporados nas rotinas de TF (i.e., pesos livres). Os exercícios agachamento, *deadlift* e suas variações são incluídos frequentemente nos programas de TF para aumentar a força dos músculos extensores e flexores do joelho e quadril (HELD et al., 2020; NIGRO; BARTOLOMEI, 2020). A relação carga-velocidade nos exercícios agachamento guiado e *deadlift* tradicional (i.e., barra olímpica) já foi descrita previamente (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; CONCEIÇÃO et al., 2016; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021). Contudo, diferentes variações do mesmo exercício (i.e., equipamento guiado versus pesos livres, formato da barra/equipamento) resultam em respostas cinemáticas distintas, e consequentemente afetam a relação carga-velocidade (LOTURCO et al., 2021a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; RODILES-GUERRERO; PAREJA-BLANCO; LEÓN-PRADOS, 2020). Por exemplo, frequentemente os profissionais de força e condicionamento prescrevem o exercício *deadlift* com uma barra hexagonal em comparação ao exercício tradicional com barra olímpica (SWINTON et al., 2011).

A barra hexagonal foi inicialmente projetada para que os praticantes realizassem o levantamento de forma mais segura ao aproximar a barra do seu centro de gravidade (GENTRY et al., 1987). Essa mudança na posição da barra resulta em menor deslocamento horizontal da barra e força pico nas articulações do tronco, quadril e tornozelo, enquanto que, aumenta a força pico no joelho e respostas cinemáticas (i.e., força, velocidade e potência) em comparação ao *deadlift* tradicional (SWINTON et al., 2011). Portanto, o *deadlift* com barra hexagonal pode ser prescrito para alterar o padrão de movimento, requisitos musculares e cinemáticas durante os programas de TR. É importante destacar que até o presente momento dessa tese, não há estudos que desenvolveram equações preditivas da carga nessa variação do *deadlift* por meio da relação carga-velocidade.

Adicionalmente, realizar exercícios em equipamentos guiados limita o deslocamento horizontal da barra no levantamento, o que pode aumentar a acurácia dos modelos de predição e alterar a cinemática do levantamento em comparação aos exercícios com pesos livres (LOTURCO et al., 2021a). No estudo conduzido por Loturco et al. (2017a), os autores investigaram a relação carga-velocidade no exercício supino reto realizada em equipamento guiado e com pesos livres e

demonstraram que a VPM também estimou com alta acurácia a carga relativa em ambas as variações ($R^2 = 0,97$ versus $R^2 = 0,95$, para o pesos livres). Loturco et al. (2021a) também reportaram fortes relações carga-velocidade para o exercício remada pronada guiada ($R^2 > 0,86$) e com pesos livres ($R^2 \geq 0,79$). Contudo, segundo os autores os menores valores de coeficiente de determinação encontrados em comparação com estudos prévios (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2017a) pode ser explicado pela maior complexidade no padrão de movimento (i.e., tronco livre ou barra livre). Além disso, o melhor ajuste observado no equipamento guiado pode estar relacionado com o deslocamento horizontal limitado da barra em comparação com a barra livre. Apesar disso, os autores não encontraram diferenças entre o valor atual e predito da carga de 1RM em ambas as variações. Por outro lado, o perfil carga-velocidade foi específico para cada variação do exercício (i.e., equipamento guiado x peso livre). Nesse sentido, para os profissionais de força e condicionamento implementarem o paradigma da abordagem baseada na velocidade com maior acurácia é necessário desenvolver equações específicas para os exercícios e variações que serão incorporados na rotina de treino.

2.6 Ajuste da carga do exercício pela relação carga-velocidade: Respostas crônicas

Uma importante consideração para implementação da abordagem do TBV é determinar a sua eficácia em promover adaptações neuromusculares em comparação ao modelo tradicional de TF baseado na prescrição da carga pelo método de 1RM ou RMs. Estudos prévios investigaram as repostas induzidas pelo TF ao prescrever e ajustar diariamente a carga do exercício pela abordagem da velocidade ou tradicional (i.e., 1RM) (BANYARD et al., 2019, 2021; DORRELL; SMITH; GEE, 2020; ORANGE et al., 2020). Por exemplo, Dorrel et al. (2020) compararam seis semanas (12 sessões no total) de TF tradicional baseado em %1RM e TBV, no qual a carga absoluta no TF tradicional foi fixa em função do %1RM, enquanto que no TBV ela foi ajustada diariamente pela velocidade. Os autores demonstraram que ambos os programas de treinamento induziram ganhos similares na força máxima dinâmica (1RM) nos exercícios de agachamento, supino reto e desenvolvimento de ombros (com maior tamanho do efeito [TE] a favor do TBV) em indivíduos treinados em força. Por outro lado, foram reportados maiores ganhos para a 1RM no exercício *deadlift* e na altura

do salto vertical após o TBV em comparação ao TF tradicional. Banyard et al. (2021) demonstraram que seis semanas (18 sessões no total) de TF tradicional e TBV foram igualmente eficazes em aumentar a força máxima dinâmica ou velocidade da barra no agachamento de indivíduos treinados em força, mas o TBV foi superior nas adaptações relacionadas à tarefas esportivas (i.e., salto vertical, tempo de sprint linear e com mudança de direção). Vale destacar que nesse estudo (BANYARD et al., 2021), o ajuste da carga no TBV em função do estado de prontidão dos indivíduos resultou em menores percepções de esforço em comparação ao TF tradicional (PSE = 5.1 vs. 6.0; TE = 0.72) e permitiu realizar mais repetições com mais velocidade, o que pode explicar as adaptações favoráveis no desempenho das tarefas esportivas.

Recentemente, Zhang et al. (2022) conduziram uma revisão sistemática com meta-análise sobre a comparação entre o TF tradicional baseado em %1RM e TBV no desempenho da força máxima dinâmica e reportaram que o TBV foi mais eficaz do que o TF tradicional em aumentar a força máxima (i.e., 1RM). Portanto, parece haver evidências de que o TBV é uma abordagem efetiva para promover adaptações neuromusculares, e parece ser superior ao modelo tradicional de TF. Apesar de futuras investigações com maior rigor científico (i.e., número de participantes e controle de fontes de vieses) serem necessárias para fortalecer essas conclusões prévias, o corpo atual de conhecimento parece suportar a implementação do paradigma do TBV na rotina de profissional de força e condicionamento como uma abordagem simples e tempo-eficiente.

2.7 Determinação da carga do exercício por meio da relação carga-potência

Outra importante aplicação do monitoramento da velocidade da barra no TF é a possibilidade de identificar os intervalos de cargas capazes de maximizar a potência mecânica em um determinado exercício resistido por meio da relação carga-potência, definido como “zona ótima de potência” (LOTURCO et al., 2021b). A relação carga-potência, obtida pela potência mecânica da barra, é caracterizada por um formato de curva em “U” invertido, em que a potência mecânica é, geralmente, maximizada em cargas leves-moderadas relativas à carga de 1RM (30-70% 1RM) (SORIANO et al., 2015; SORIANO; SUCHOMEL; MARÍN, 2017) ou massa corporal (60-100% da massa corporal, dependendo do exercício) (LOTURCO et al., 2015a, 2019). Além disso, estudos prévios demonstram que a “carga ótima de potência” ocorreu em um intervalo

próximo de VPM, independentemente do nível de força e experiência no TF dos praticantes (LOTURCO et al., 2015a, 2019, 2021a). Por exemplo, em um estudo conduzido por Loturco et al., (2015a) envolvendo atletas de elite de diferentes modalidades (i.e., futebol, atletismo, tênis), os autores observaram que os atletas alcançaram a “carga ótima de potência” no exercício de agachamento com salto a uma VPM ~ 1 m/s (0,90 a 1,1 m/s) (Figura 5).

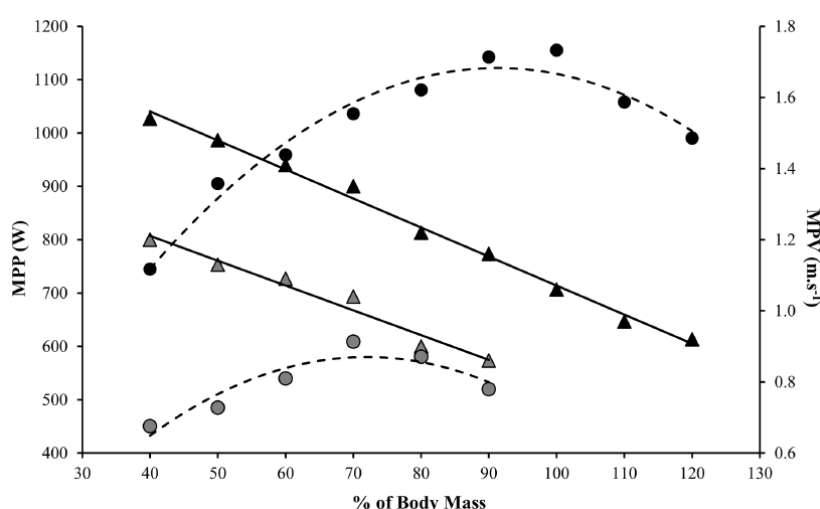


Figura 5. Relações carga-velocidade e carga-potência no exercício agachamento com salto. Linhas polinomiais representam a potência mecânica da barra e as linhas lineares a velocidade da barra. Símbolos cinza representam um atleta de endurance e pretos um atleta de atletismo. Para ambos os atletas, a carga ótima de potência ocorreu a ~ 1 m/s. Retirado de Loturco et al. (LOTURCO et al., 2015a).

Apesar da “carga ótima de potência” ser alcançada em cargas submáximas e VPM bem próximos, é importante destacar que não tem sido reportada diferença estatística em um amplo espectro de cargas em comparação com a carga que gera o pico de potência na barra (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014). Por exemplo, Sanchez-Medina et al. (2014) demonstraram que a carga que maximizou a potência propulsiva média propulsiva (PPM) da barra foi de $56 \pm 2\%$ para o supino reto guiado e $70 \pm 4\%$ para a remada pronada guiada. Interessantemente, os autores não encontraram diferenças estatísticas na PPM da barra para as cargas entre 40-70% 1RM e 50-90% 1RM para o supino reto e remada pronada, respectivamente. De forma similar, Moran-Navarro et al. (2021) reportaram que a carga ótima de geração de PPM ocorreu a 60% 1RM para o exercício *deadlift*. Contudo, observou-se que em um intervalo amplo de cargas submáximas a PPM não diferiu significativamente (40-80% 1RM). Nesse sentido, os

profissionais de força e condicionamento podem utilizar esses intervalos para determinar os limites superiores e inferiores de cargas capazes de produzir alta potência mecânica como uma abordagem simples e eficaz para prescrever a intensidade da carga nos exercícios resistidos de forma individualizada.

2.6 Ajuste da carga do exercício pela relação carga-potência: Efeitos crônicos

Nos últimos anos, o treinamento baseado na “zona ótima de potência” ganhou interesse considerável entre os profissionais de força e condicionamento e cientistas do esporte como uma abordagem eficiente para prescrever e ajustar a intensidade da carga nos exercícios resistidos (LOTURCO et al., 2021b). Há evidências suportando a sua eficiência para aumentar o desempenho da força muscular e performance atlética em comparação ao modelo tradicional de prescrição (i.e., 1RM) (LOTURCO et al., 2016b, 2020). Por exemplo, Harris et al. (2008) compararam os efeitos de dois programas de TF (7 semanas, 13 sessões no total) realizado a 80% 1RM ou com a “carga ótima de potência” no exercício de agachamento com salto no desempenho físico de atletas de elite de rúgbi. Ao final programa de TF, os autores verificaram que ambos os protocolos de treinamento induziram melhoras significantes no desempenho de sprint de 10 e 30-m e na força máxima dinâmica (1RM). Loturco et al. (2016b) investigaram os efeitos de dois programas de TF (6 semanas, 18 sessões no total), adotando um modelo clássico de periodização (e.g., três fases; resistência de força + força máxima + potência) vs. “carga ótima de potência” no desempenho de sprints lineares e com mudanças de direção, PPM na barra, salto vertical com contra movimento (SVCM) e força máxima dinâmica (i.e., 1RM) em atletas profissionais de futebol. Os principais achados do estudo foram que ambos os grupos aumentaram o desempenho nos testes de 1RM no agachamento, altura do agachamento com salto, SVCM, sprints com mudança de direção e sprints de 5-m. Contudo, o grupo que treinou na carga ótima de potência apresentou maiores ganhos na velocidade de sprints de 10 e 20-m e PPM na carga de 40% da massa corporal dos atletas. De forma similar, Loturco et al. (2015b) demonstraram que a realização de quatro semanas de TF envolvendo os exercícios de agachamentos com salto ou meio-agachamento na “carga ótima de potência” aumentou o desempenho de sprints lineares e PPM no exercício agachamento em atletas de futebol. Portanto, a relação carga-potência parece ser uma alternativa eficaz aos modelos tradicionais para a prescrição da

intensidade da carga no TF. Nesse sentido, a determinação da relação carga-potência nos principais exercícios resistidos incorporados nos programas de TF pode ser útil para fornecer valores de referências (i.e., intervalos de cargas na zona ótima de geração de potência) aos profissionais de força e condicionamento. Por exemplo, até o presente momento dessa tese, não há estudos sobre a descrição da relação carga-potência no exercício *deadlift* com barra hexagonal e agachamento com peso livres, os quais são frequentemente incorporados nas rotinas de TF para aumentar a força dos membros inferiores.

2.8 Dispositivos que mensuram a velocidade nos exercícios resistidos

A abordagem do TBV utiliza dispositivos para rastrear a velocidade de levantamento em tempo real e ajustar a carga do exercício com base nos dados de velocidade concêntrica da barra (WEAKLEY et al., 2021b). O aumento de dispositivos comerciais disponíveis no mercado capazes de mensurar as variáveis cinemáticas nos exercícios resistidos pode explicar o avanço considerável da utilização do paradigma do TBV entre os cientistas do esporte e profissionais de força e condicionamento (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a). Contudo, para garantir a acurácia das medidas e fornecer feedback válidos para a tomada de decisão dos profissionais que trabalham com o paradigma do TBV, é fundamental que os dispositivos utilizados para registrar a velocidade da barra sejam válidos e reproduzíveis (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020; WEAKLEY et al., 2021a).

Os transdutores lineares (i.e., posicionais ou de velocidade), acelerômetros e aplicativos móveis são os três dispositivos mais utilizados para registrar a velocidade da barra nos exercícios resistidos (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a). Destes três dispositivos, os transdutores lineares parecem ser preferíveis para o monitoramento no TF devido a sua maior acurácia em relação ao padrão ouro (i.e., sistema de captura de movimento 3D de alta velocidade) e reprodutibilidade da velocidade concêntrica da barra em comparação aos outros dispositivos (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a; WEAKLEY et al., 2021a). O desenvolvimento desses dispositivos permitiu aos profissionais de força e condicionamento prescrever e ajustar a intensidade da carga nos exercícios resistidos em uma determinada sessão com base em feedback instantâneo do estado de prontidão dos indivíduos (BANYARD et al., 2021; DORRELL; SMITH; GEE, 2020; WEAKLEY et al., 2021b). A maioria dos estudos que investigaram a relação carga-velocidade nos exercícios resistidos utilizaram o T-Force

(Murcia, Espanha) (CONCEIÇÃO et al., 2016; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2021a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014). Contudo, é importante destacar que diferenças sistemáticas entre diferentes transdutores lineares foram reportadas (FERNANDES et al., 2018; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020). Consequentemente, o uso de equações carga-velocidade gerais desenvolvidas em um determinado dispositivo (i.e., *T-Force* ou *GymAware*) pode afetar a acurácia da estimativa da equação geral quando outro dispositivo está disponível (i.e., *Speed4Lift*).

Um dos dispositivos que tem se tornado acessível entre os cientistas do esporte e profissionais de força e condicionamento é o *Speed4Lift/Vitruve* (Madrid, Espanha) devido a sua acurácia, reprodutibilidade e menor custo financeiro (~400 USD) em comparação a outros dispositivos, o que pode fornecer aos profissionais com restrições financeiras a oportunidade de incorporar o paradigma do TBV em seus praticantes (CALLAGHAN et al., 2022). Estudos prévios demonstraram que o *Speed4Lift* é considerado um dispositivo válido e reprodutível, com um erro aceitável da medida (especificamente para velocidades moderadas-baixas < 0,05 m/s) (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a). Apesar dessa acessibilidade, estudos sobre a relação carga-velocidade utilizando o *Speed4Lift/Vitruve* ainda são limitados. Portanto, parece ser relevante aos profissionais de força e condicionamento que utilizam esse equipamento na sua rotina de TF desenvolver equações com esse dispositivo para minimizar os erros associados a outros dispositivos.

2.9 Parâmetros de velocidade e cinemáticos dos exercícios resistidos

Uma característica comum ao se mensurar variáveis cinemáticas nos exercícios resistidos isoinerciais não-balísticos (i.e., dependente da gravidade) é a existência de uma fase propulsiva seguida de uma fase de desaceleração da barra (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Por exemplo, durante a fase concêntrica do levantamento, o movimento se inicia a partir de uma posição parada (i.e., velocidade zero), alcança um pico ao longo do movimento e, finaliza o movimento na velocidade zero novamente (GONZÁLEZ-BADILLO et al., 2017). Então, quando cargas leves a moderadas (< 80% 1RM) são levantadas, uma considerável parte da fase concêntrica é destinada a desacelerar a barra (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014; SANCHEZ-MEDINA;

PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Portanto, a ação concêntrica do movimento pode ser dividida em fase propulsiva e fase de desaceleração (Figura 6) (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010) .

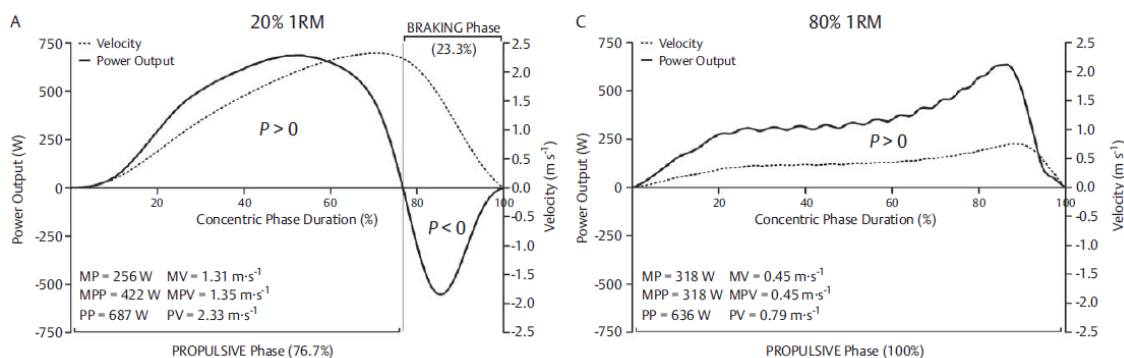


Figura 6. Exemplo de curvas de potência, velocidade e aceleração obtidas ao levantar uma carga leve (20% 1RM) versus uma carga alta (80% 1RM) (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010).

Dispositivos como os transdutores lineares são capazes de registrar diferentes parâmetros de velocidade ao longo da fase concêntrica do movimento (GARCÍA-RAMOS et al., 2018b). O parâmetro de velocidade utilizado para modelar a relação carga-velocidade é um importante aspecto associado ao paradigma do TBV, pois diferentes parâmetros de velocidade resultam em relações carga-velocidade distintas (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; CONCEIÇÃO et al., 2016; MORÁN-NAVARRO et al., 2021). Nesse sentido, é possível determinar três parâmetros de velocidade ao longo da fase concêntrica do levantamento: (i) velocidade média (VM) considera a média da velocidade de toda a fase concêntrica do levantamento; (ii) a VPM considera a porção da fase concêntrica em que a aceleração é maior do que a aceleração da gravidade (i.e., aceleração $> -9.81 \text{ m/s}^2$) e, portanto, não considera a fase desaceleração do movimento; e (iii) velocidade pico (VP) é a máxima velocidade instantânea alcançada durante uma parte intermediária da fase concêntrica do movimento (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Destaca-se que o dispositivo utilizado no presente trabalho de tese é capaz de registrar a VPM durante a fase concêntrica do movimento.

Este padrão cinemático tem uma importante aplicação para a avaliação e monitoramento do status neuromuscular dos indivíduos. Estudos demonstraram que a fase de desaceleração é influenciada pela carga relativa, no qual cargas mais leves

exigem maior fase de desaceleração no levantamento (PALLARÉS et al., 2014; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014; SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Além disso, indivíduos mais fortes são capazes de aplicar mais força para a mesma carga relativa do que seus pares mais fracos; logo, eles irão experimentar uma fase de desaceleração mais longa, o que pode subestimar sua verdadeira capacidade neuromuscular se a VM for adotada (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Destaca-se que, quanto maior a fase de frenagem, maior a diferença entre os parâmetros VPM e VM (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010). Portanto, apesar de ambos os parâmetros serem válidos e reproduzíveis para mensurar a velocidade da barra, tem sido sugerido que a VPM é preferível à VM no monitoramento da velocidade do movimento para evitar subestimar a verdadeira capacidade neuromuscular de um indivíduo.

2.9 Resumo e lacunas da literatura

De acordo com o que foi apresentado acima é possível destacar que a utilização da abordagem da velocidade (i.e., relações carga-velocidade e carga-potência) é uma alternativa viável e simples para prescrever e ajustar a intensidade da carga nos exercícios resistidos em comparação aos modelos tradicionais (i.e., 1RM e RMs), que apresentam desvantagens importantes que podem dificultar a sua implementação regular nas rotinas de TF. Apesar disso, ressalta-se que as variáveis cinemáticas são dependentes dos exercícios resistidos analisados, incluindo suas variações. Nesse sentido, para os profissionais de força e condicionamento implementarem com sucesso a abordagem da velocidade é necessário investigar os principais exercícios resistidos e suas variações que são comumente incorporados nas rotinas de TF. Após sistematizar e analisar criticamente a literatura do TBV (Artigo 1), observou-se que até o presente momento desta tese uma lacuna de estudos que investigaram a relação carga-velocidade e carga-potência nos exercícios de agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal. Considerando que essas variações são frequentemente incorporadas nos programas de TF para aumentar a força dos músculos flexores e extensores do joelho e quadril, parece ser útil para os profissionais de força e condicionamento desenvolver equações baseadas na relação carga-velocidade e investigar a sua acurácia para estimar a intensidade da carga nesses exercícios resistidos. Além disso, é importante identificar procedimentos que

sejam simples e rápidos para determinar a relação carga-velocidade, por isso, investigar o número de cargas necessários para estimar a carga de 1RM acuradamente tem relevância prática. Por fim, determinar a relação carga-potência nesses exercícios poderá fornecer dados preliminares de referências sobre os limites inferiores e superiores da zona ótima de produção de potência para a prescrição da intensidade da carga para aqueles praticantes que visam aumentar a sua capacidade de produção de força muscular.

3. MÉTODOS

3.1 Delineamento do estudo

Trata-se de uma pesquisa correlacional com delineamento transversal (artigos 2 e 3). A pesquisa correlacional é descritiva, no sentido de não possibilitar estabelecer uma relação de causa e efeito. A principal característica dessa pesquisa é estabelecer se há ou não uma associação entre duas ou mais características de um grupo examinado em um determinado momento no tempo (HULLEY et al., 2015; THOMAS; SILVERMAN; NELSON, 2015). Além disso, foi elaborado um estudo de revisão sistemática (artigo 1) de acordo com as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (MOHER et al., 2016), porém, optou-se por apresentar os procedimentos metodológicos da revisão apenas na sessão apresentação e discussão dos resultados.

3.2 Ética da pesquisa

O presente projeto de pesquisa foi aprovado pelo comitê de ética e pesquisa envolvendo seres humano da Universidade Federal Rural de Pernambuco (nº do parecer: 5.283.591), conforme a resolução nº 466/12, de 12/12/12, do Conselho Nacional de Saúde (Anexo A). Os procedimentos do estudo seguiram as recomendações contidas na Declaração de Helsinque (2013). Todos os participantes foram informados sobre os potenciais riscos e benefícios do estudo e os dados foram mantidos sob sigilo e anonimato. Além disso, os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice 1) e puderam retirar seu consentimento em qualquer momento do estudo sem nenhuma penalidade.

3.3 Participantes

Vinte e cinco homens treinados em força com idade entre 18-30 anos (idade = $23,7 \pm 2,8$ anos, massa corporal = $81,3 \pm 8,4$ kg; e altura = $1,77 \pm 0,1$ m) foram recrutados de forma intencional e não-probabilística a participar do estudo. Todos os participantes tinham experiência no TF de $4,4 \pm 1,3$ anos, com uma frequência de treino de 2-5 sessões por semana nos últimos 12 meses que antecederam o estudo, e eram capazes de realizar os exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal com técnica apropriada. Para serem incluídos no estudo, os participantes deveriam atender os seguintes critérios: (i) experiência mínima de um ano no TF, incluindo os exercícios agachamento e *deadlift*; (ii) ter idade superior a 18 anos; (iii) não apresentar nenhuma lesão ou comprometimento de saúde que inviabilizassem a realização dos procedimentos do estudo nos últimos seis meses; (iv) disponibilidade para realizar as avaliações do estudo no mesmo horário do dia (± 1 hora); (v) deveriam assinar um termo de consentimento livre e esclarecido. Os participantes seriam excluídos do estudo nos casos em que não realizassem um dos exercícios propostos ou não realizassem a segunda avaliação num período superior a 10 dias entre as avaliações.

3.4 Procedimentos do estudo

3.4.1 Teste de carga progressiva

Os testes foram realizados para os exercícios meio agachamento (barra olímpica tradicional [peso = 20kg]) e *deadlift* com barra hexagonal (peso = 13 kg). Os testes foram precedidos por um aquecimento padronizado (~10-min) que englobou exercícios gerais, alongamento dinâmico e específicos ao exercício resistidos avaliados. As cargas iniciais dos testes foram 30 kg e 43 kg para os exercícios meio agachamento e *deadlift* com barra hexagonal. As cargas foram aumentadas em 20 kg até alcançar uma VPM de 0,8 m/s e 0,6 m/s para o meio agachamento e *deadlift* hexagonal, respectivamente, seguidos de incrementos menores de 10-5 kg (VPM = 0,8-0,5 m/s e 0,6-0,4 m/s para o agachamento e *deadlift*) e 5-1 kg até determinar a carga de 1RM. Para cargas leves (VPM > 0,8 m/s) foram realizadas três repetições, duas repetições para carga moderadas (VPM = 0,8-0,5 m/s) e uma repetição para cargas pesadas (VPM < 0,5 m/s). Para cada faixa de incremento foi dado um período de recuperação entre séries de 2-min, 3-min e 4-min, respectivamente. Os

participantes receberam feedback em tempo real da velocidade da barra e foram encorajados verbalmente para exercer o máximo esforço possível em cada levantamento. A repetição com a VPM mais rápida foi usada na análise.

A fase excêntrica do movimento foi realizada de forma controlada e contínua (~2-3-s) com uma pausa momentânea entre a fase excêntrica e concêntrica (1,5-s) para minimizar a contribuição do ciclo alongamento-encurtamento e fornecer dados cinemáticos mais acurados (PALLARÉS et al., 2014). A duração das fases excêntricas e isométricas foram ritmadas pelo pesquisador principal durante todas as avaliações. Este procedimento foi praticado na sessão de familiarização. Para cargas mais leves, os participantes foram orientados a finalizar o movimento com uma flexão plantar, mas não foram permitidos tirar as pontas dos pés do chão (i.e., saltar). Nos casos, em que a repetição falhou em atender esses critérios, a tentativa foi descartada e realizada novamente após 3-min de recuperação. Um pesquisador com experiência nos exercícios investigados supervisionou a técnica de execução ao longo do teste.

3.4.2 Padronização do padrão de movimento

O exercício meio agachamento foi realizado em conformidade com os procedimentos descritos previamente (FONSECA et al., 2020). Os participantes iniciaram de uma posição em pé, com os joelhos e quadril estendidos e com os pés ligeiramente afastados na largura dos ombros e apontados para fora. A barra foi posicionada na porção superior do músculo trapézio e deveria se manter em contato com o trapézio durante toda a execução. Essa posição foi individualmente ajustada e repetidos durante todas as repetições. A partir dessa posição, os participantes foram instruídos a realizar uma flexão dos joelhos ~90° (determinado por uma banda elástica colocada paralela ao solo por um tripé), então deveriam estender completamente as pernas ao final do levantamento (tripla extensão).

O exercício *deadlift* com barra hexagonal iniciou com a barra no chão com uma pegada alta seguindo procedimentos prévios (LOCKIE; LAZAR, 2017). Os ombros foram alinhados com a pegada, e o quadril posicionado mais baixos que os ombros. Os pés deveriam estar afastados na largura dos ombros e apontados ligeiramente para fora. A partir dessa posição, os participantes foram orientados a levantar a barra na máxima velocidade e permanecer em posição ereta (extensão completa dos braços, joelhos e quadril) com seus ombros retraídos por 1,5-s ao final do

levantamento. A barra foi mantida no chão por 1,5-s antes de cada levantamento. Não foram permitidos cintos ou tiras durante o teste (LOCKIE et al., 2018).

3.4.3 Dispositivo de medidas e registro dos dados

Um transdutor de posição linear (*Speed4lifts*®, Madrid, Espanha) foi acoplado à barra para medir a cinemática de levantamento. Este sistema mede o deslocamento do cabo em resposta a mudanças na posição da barra durante a porção concêntrica do levantamento a uma taxa de amostragem de 100 Hz (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020). O parâmetro de velocidade reportado nos estudos se referem à VPM (i.e., a porção da fase concêntrica do movimento em que a aceleração medida [α] é maior do que a aceleração da gravidade ($[\alpha > -9,81 \text{ m/s}^2]$) (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Calculou-se também o peso da carga levantada em kg (barra + placa de peso) para quantificar a potência propulsiva média (PPM) produzida no levantamento da seguinte forma (PICERNO et al., 2016): $PPM = (\text{peso} \times g) \times VPM$. Onde g é a aceleração da gravidade que é igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Os dados registrados pelo *encoder* posicional foram transmitidos por meio de uma conexão Wi-Fi com um smartphone Android utilizando o aplicativo *Speed4Lifts*® v.4.1. O cabo foi preso ao lado direito da barra (ou seja, dentro das placas para o exercício agachamento e perpendicular às alças inferiores da barra para o exercício *deadlift* hexagonal) usando uma tira de velcro. A validade ($r = 0,97$ e viés $-0,04 \pm 0,02 \text{ m/s}$) e reprodutibilidade ($ICC > 0,81$ e CV variou de 2,39 a 3,41% para cargas moderadas e pesadas [45-85% de 1RM]) deste sistema foram previamente reportadas (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020), com erro absoluto abaixo do critério de erro máximo aceitável ($< 5\%$ de 1RM) (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a).

3.5 Análise estatística

Os dados foram apresentados por meio de média, desvio padrão (DP), percentual do coeficiente de variação ($\%CV = \text{desvio padrão}/\text{média} \times [100]$), erro padrão da estimativa (EPE) e intervalo de confiança (95% IC). As relações carga-velocidade e carga-potência foram analisadas ajustando o modelo de regressão linear e polinomial de segunda ordem a todos os dados registrados, respectivamente. A qualidade do ajuste das relações carga-velocidade e carga-potência foi analisada usando o coeficiente de determinação (R^2) e seu IC95%.

Teste t pareado foi utilizado para comparar a VPM alcançada para cada %1RM entre os exercícios. O nível concordância entre a carga de 1RM real e predita foi analisado pelo coeficiente de correlação intraclass e plotagem de Bland-Altman e seu limite de concordância de 95% (ATKINSON; NEVILL, 1998). Anova de medidas repetidas (exercícios x carga) foi usada para comparar a PPM alcançada contra diferentes cargas relativas (%1RM e % massa corporal). O teste de Bonferroni corrigido para múltiplas comparações foi adotado para identificar as diferenças por pares. A análise dos dados foi realizada no software *Statistical Package for the Social Science* (SPSS versão 20 para Windows, IBM Corporation®, Nova York, EUA). O nível de significância estabelecido foi de 5%.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com as normas do Programa Associado de Pós-Graduação em Educação Física UPE/UFPB, o presente trabalho de tese seguiu o modelo escandinavo com o objetivo de apresentar os artigos científicos oriundos da tese de doutoramento. Desta forma, os três artigos que foram desenvolvidos no doutorado serão apresentados na íntegra nos tópicos abaixo.

O primeiro artigo intitulado “**Acurácia de diferentes modelos para prever a carga relativa baseados na relação carga-velocidade nos exercícios resistidos tradicionais: Uma revisão sistemática**” será submetido no periódico *Biology of Sport* (Estrato Qualis A2 e fator de impacto 2.80). Nesse estudo, a acurácia de diferentes modelos de predição baseado no perfil carga-velocidade (geral e individual) foi revisada sistematicamente, no qual as principais considerações metodológicas para modelar o perfil carga-velocidade foram investigadas. Além disso, o estudo teve como objetivo verificar as possíveis lacunas científicas sobre a determinação da carga relativa no TF por meio da relação carga-velocidade. Nesse sentido, os estudos 2 e 3 objetivaram investigar potenciais lacunas científicas verificadas na revisão sistemática para implementar a abordagem do TBV na rotina de treinadores e praticantes do TF.

O segundo artigo intitulado “**Análise da relação carga-velocidade e potência nos exercícios de agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal**” foi publicado no periódico *Biology of Sport* (Estrato Qualis A2 e fator de impacto 2.80). Esse estudo teve como objetivo analisar a acurácia da velocidade do movimento da barra na determinação da carga nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra

hexagonal por meio da relação carga-velocidade e carga-potência em sujeitos treinados em força. Os dados desse estudo demonstraram que a equação generalizada estimou com boa acurácia a carga relativa nos exercícios investigados, com o perfil carga-velocidade individual fornecendo ajustes ainda melhores no modelo. As variáveis mecânicas foram significativamente diferentes entre os exercícios em um amplo intervalo de cargas relativas ao 1RM. Além disso, verificou-se um amplo espectro de cargas submáximas capazes de produzir potência mecânica próxima da potência pico.

O terceiro artigo intitulado **“Efeitos da seleção das cargas na estimativa da carga de uma repetição máxima em exercícios de membros inferiores a partir da relação carga-velocidade individual”** está em revisão final e será submetido para o periódico *Sports Biomechanics* (Estrato Qualis A2 e fator de impacto 2.02). Nesse estudo, foram analisados os efeitos do número de cargas (2-, 3-, 4- e 6-cargas) na acurácia da estimativa da carga relativa nos exercícios de agachamento livre e *deadlift* hexagonal. Nesse estudo, foi observado que a carga de 1RM pode ser predita acuradamente, independentemente do número de cargas adotado para ambos os exercícios resistidos. Contudo, o método de 6-cargas forneceu dados ainda mais acurados, demonstrado pela menor variabilidade entre-sujeitos (limites de concordância). Desta forma, parece que o método de 6-cargas é recomendado para estimativas mais precisas, enquanto que os métodos de 2-, 3- e 4-cargas são alternativas mais rápidas e menos fatigantes.

4.1 Artigo 1 - Acurácia de diferentes abordagens na estimativa da carga relativa nos exercícios resistidos baseadas na relação carga-velocidade: Uma revisão sistemática

Resumo

A velocidade da barra tem sido recomendada como uma ferramenta precisa e prática para prescrever e ajustar a intensidade da carga em exercícios resistidos multi-articulares. Apesar disso, algumas considerações metodológicas sobre o uso adequado da abordagem baseada em velocidade em diferentes exercícios precisam ser melhor compreendidas. O objetivo do presente estudo foi revisar sistematicamente a literatura sobre a acurácia da relação carga-velocidade para determinar a intensidade da carga nos exercícios resistidos. Seguindo as diretrizes do PRISMA, as bases de dados eletrônicas foram pesquisadas até agosto de 2021, sem restrição de ano de publicação. Os artigos elegíveis foram: (i) artigos originais publicados em periódico de revisão por pares em língua inglesa; (ii) estudos transversais; (iii) incluíram adultos do sexo masculino e/ou feminino com experiência anterior em treinamento resistido; (iv) avaliaram a acurácia da velocidade da barra para determinar a intensidade da carga de exercícios resistidos por meio de transdutor linear de posição/velocidade validado. Um total de 6.588 artigos foram identificados nas bases de dados e 42 estudos foram incluídos nesta revisão. A maioria dos estudos mostrou que a relação carga-velocidade pode determinar a intensidade da carga do exercício com alta acurácia ($R^2 \geq 0,92$), mas as equações gerais devem ser selecionadas previamente considerando o tipo de exercício, técnica de execução, parâmetro de velocidade e sexo. Além disso, perfis individuais de velocidade de carga podem ser modelados para proporcionar um ajuste ainda melhor, levando em consideração a mesma condição que será usada na sessão de treinamento. Em termos práticos, as relações carga-velocidade podem ser implementadas no treino de força como uma ferramenta simples e acurada para auxiliar os treinadores de força e condicionamento a prescrever e ajustar a intensidade da carga em exercícios resistidos.

Palavras-chave: treinamento resistido; carga de exercício; treinamento baseado em velocidade; cinemática; teste de força.

Abstract

Movement velocity has been recommended as an accurate and practical tool to objectively prescribe and adjust exercise loads in multi-joint resistance exercises. However, some methodological considerations about the proper use of the velocity-based approach in different exercises need a further understanding. We aimed to systematically review the current literature on the accuracy of the load-velocity relationship to determine exercise load in resistance exercises. Following the PRISMA guidelines, electronic databases were searched for literature up to August 2021, with no restriction of year of publication. Eligible articles were: (i) original articles published in a peer-review journal in English language; (ii) cross-sectional studies; (iii) male and/or female adults with previous experience in resistance training were included; (iv) assessed the accuracy of movement velocity to determine exercise load through validated linear position/velocity transducer. A total of 6,588 articles were identified from the databases and 42 studies were included in this review. Most of the studies showed that the load-velocity relationship can determine the exercise load with great precision ($R^2 \geq 0.92$), but the general equations must be selected beforehand considering the type of exercise, execution technique, velocity parameter, and sex. In addition, individual load-velocity profiles can be fit to provide even better adjustment, taking into account the same condition that is going to be used in the training session. In practical terms, the load-velocity relationships can be safely implemented during training programs as a practical tool to assist strength and conditioning coaches to prescribe and adjust exercise load.

Keywords: resistance training; exercise load; velocity-based training; kinematics; strength testing.

INTRODUÇÃO

O treino de força (TF) é reconhecido como um método efetivo para o desenvolvimento da força, potência, hipertrofia muscular e desempenho funcional entre diversas populações (i.e., praticantes recreacionais e atletas jovens e de elite) (MAESTRONI et al., 2020; SUCHOMEL et al., 2018). Para otimizar as adaptações induzidas pelo treinamento diversas variáveis agudas de prescrição podem ser manipuladas para o delineamento dos programas de TF (i.e., número de séries e repetições, tempo de descanso e carga) (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005). Dessas variáveis de prescrição, é bem estabelecido que a carga do exercício exerce um importante papel nas respostas agudas e adaptações neuromusculares específicas (i.e., tarefas relacionadas com a força-potência) (KAWAMORI; HAFF, 2004; SCHOENFELD et al., 2014). A carga do exercício é frequentemente prescrita pelo percentual relativo a carga associada à uma repetição máxima (1RM) ou pelo número máximo de repetições (RMs) (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; SUCHOMEL et al., 2021). Consequentemente, os profissionais de força e condicionamento necessitam avaliar diretamente as cargas de 1RM ou RMs para prescrever a carga relativa (i.e., 70% 1RM ou 12RMs) de acordo com o objetivo específico do TF.

A avaliação direta da carga de 1RM e RMs são abordagens consideradas válidas e efetivas para a prescrição da carga do exercício no TF (THOMPSON et al., 2020b). Contudo, os profissionais de força e condicionamento devem estar cientes de algumas desvantagens na prescrição da carga de treino baseada no teste de 1RM e RMs que podem limitar a sua implementação na rotina diária de treinamento (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; SUCHOMEL et al., 2021). Por exemplo, a carga de 1RM pode variar ao longo das sessões de TF (DANKEL et al., 2017), são procedimentos que consomem muito tempo (LOTURCO et al., 2016a) e os valores pré-treino podem se modificar rapidamente após poucas sessões de treino (PAREJA-BLANCO et al., 2020b). Adicionalmente, a realização de teste de 1RM pode ser impraticável em atletas de elite que geralmente têm curto período de preparação na pré-temporada e treinam e competem sob calendário congestionado (LOTURCO et al., 2016a). Por fim, os testes de RMs demandam esforços exaustivos devido à realização de séries até a falha muscular concêntrica (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; SUCHOMEL et al.,

2021). Considerando essas limitações acima, abordagens alternativas têm sido propostas para fornecer dados acurados e viáveis para estimar a carga relativa no TF.

O treinamento baseado em velocidade (TBV) é uma alternativa prática com o intuito de superar algumas das desvantagens dos métodos tradicionais de prescrição da carga baseado na avaliação da carga de 1RM e RMs para monitorar e ajustar a carga de treino de forma regular (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; TORRES-RONDA, 2021; WEAKLEY et al., 2021b). Uma das principais aplicações da abordagem do TBV está associada com sua capacidade de estimar a carga relativa nos exercícios resistidos por meio da velocidade de movimento da barra durante a fase concêntrica do exercício (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; TORRES-RONDA, 2021; WEAKLEY et al., 2021b). A efetividade dessa abordagem está relacionada com a premissa de que a relação carga-velocidade é altamente linear e estável para o mesmo sujeito em dias diferentes, independentemente do nível de força do indivíduo (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; HERNÁNDEZ-BELMONTE et al., 2021; LOTURCO et al., 2021a).

Diante do aumento no número de dispositivos comerciais disponíveis (i.e., transdutores lineares posicionais/velocidade), atualmente é possível mensurar variáveis cinemáticas como a velocidade da barra durante a fase concêntrica do movimento alcançada contra cargas submáximas para determinar a carga relativa nos exercícios resistidos (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019b). González-Badillo e Sanchez-Medina (2010a) foram os pioneiros a investigar a acurácia da velocidade do movimento para determinar a carga relativa em exercícios resistidos multi-articulares, e reportaram uma relação negativa quase que perfeita entre percentuais de carga relativas e a velocidade do movimento da barra ($R^2 = 0,98$ e $EPE < 4\%$ 1RM) no exercício de supino reto. Desde então, a relação carga-velocidade tem sido amplamente investigada em diversos exercícios resistidos como o supino reto (GARCÍA-RAMOS et al., 2018a; LOTURCO et al., 2017a; PÉREZ-CASTILLA et al., 2020b), remada pronada (GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; LOTURCO et al., 2021a; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014), barra fixa pronada (MUÑOZ-LÓPEZ et al., 2017; SÁNCHEZ-MORENO et al., 2017), agachamento (LOTURCO et al., 2016a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; PALLARÉS et al., 2014; PAREJA-BLANCO; WALKER; HÄKKINEN, 2020), *hip thrust* (DE HOYO et al., 2019), *leg press* (CONCEIÇÃO et al., 2016) e *deadlift* (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; JUKIC et al., 2020a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021), no qual a carga relativa pode ser estimada

por meio de modelos de regressão lineares ou polinomiais de segunda-ordem usando parâmetros como a velocidade média (VM), velocidade propulsiva média (VPM) e velocidade pico (VP). No geral, estes estudos têm reportado uma forte correlação negativa entre a velocidade do movimento alcançada em diferentes percentuais de cargas relativas, independentemente do nível de força dos indivíduos (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2016a, 2017a). Coletivamente, esses dados parecem suportar o uso de equações generalizadas para estimar a carga relativa no TF. Portanto, os profissionais de força e condicionamento e praticantes de TF podem utilizar equações gerais derivadas do perfil carga-velocidade como uma abordagem prática tempo eficiente para estimar acuradamente a carga relativa nos exercícios resistidos. Nesse sentido, nós acreditamos que resumir essas equações gerais pode ser útil para os profissionais de força e condicionamento para prescrever a carga de treino de acordo com seus objetivos específicos nos programas de TF.

Embora as equações gerais possam fornecer dados acurados para os profissionais de força e condicionamento determinarem qual o percentual relativo à carga de 1RM está sendo levantada na sessão de treino, tem sido sugerido que as equações gerais apresentam algumas desvantagens que podem limitar sua aplicação na rotina de treino (WEAKLEY et al., 2021b). Especificamente, as equações gerais são exercício-dependente e podem diferir mesmo entre as variações do mesmo exercício (i.e., apenas concêntrico ou excêntrico-concêntrico, peso livre ou máquinas). Além disso, estudos prévios observaram que a relação carga-velocidade parece ser específica às características dos participantes (i.e., sexo e idade) (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; GARCÍA-RAMOS; JIMÉNEZ-REYES, 2018; FERNANDES; LAMB; TWIST, 2018; PÉREZ-CASTILLA et al., 2020a; TORREJÓN et al., 2018). Por fim, a estimativa da carga relativa pode ser influenciada pelo dispositivo de medida e o parâmetro de velocidade utilizado (CONCEIÇÃO et al., 2016; GARCÍA-RAMOS et al., 2018b, 2019a; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a). Desta forma, a determinação individual do perfil carga-velocidade tem sido sugerida como uma alternativa à essas limitações e fornecer estimativas mais acuradas da carga relativa nos exercícios resistidos.

A aplicação do perfil carga-velocidade individual consiste em: i) selecionar o limiar mínimo de velocidade (LMV); ii) registrar a velocidade associada contra cargas submáximas; iii) ajustar o modelo de regressão entre os valores de velocidade

associados contra as cargas submáximas e determinar a carga de 1RM como a carga associada ao LMV (GARCÍA-RAMOS et al., 2020a; WEAKLEY et al., 2021b). Contudo, há algumas considerações metodológicas sobre a acurácia da predição da carga de relativa por meio do perfil carga-velocidade individual. Tem sido sugerido previamente que o parâmetro de velocidade, número de cargas usada (i.e., cargas múltiplas [≥ 3 -cargas]) ou método de dois pontos [2-cargas]), a velocidade usada como LMV (i.e., velocidade associada à carga de 1RM [V1RM] ou a velocidade durante a última repetição de uma série até a falha muscular [Vlast]), a utilização do LMV geral ou individual, e o tipo de modelo de regressão utilizado (i.e., linear ou polinomial) são aspectos metodológicos importantes para determinar o perfil carga-velocidade individual com precisão (CAVEN et al., 2020; GARCÍA-RAMOS et al., 2018b, 2020a). Estudos prévios reportaram que essas considerações metodológicas podem afetar a acurácia da estimativa da carga relativa, e ainda podem fornecer dados controversos em função do parâmetro utilizado para modelar a relação carga-velocidade (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c, 2020a; LAKE et al., 2017).

Por causa do número de considerações metodológicas que podem ser usados para determinar a relação carga-velocidade, é necessário ter uma compreensão dos parâmetros mais acurados e viáveis para estimar a carga relativa nos exercícios resistidos para otimizar a implementação do paradigma do TBV entre os profissionais de força e condicionamento. Portanto, os objetivos dessa revisão sistemática foram: i) analisar a acurácia da velocidade do movimento (i.e., medido por meio de transdutores lineares posicionais/velocidade) na determinação da carga relativa nos exercícios resistidos; ii) resumir as equações generalizadas disponíveis na literatura para estimar a carga relativa nos exercícios resistidos em sujeito fisicamente ativo e treinados em força; iii) revisar criticamente as abordagens metodológicas atuais para determinar a carga relativa nos exercícios resistidos por meio da relação carga-velocidade individual. Do ponto de vista prático, o presente estudo poderá auxiliar os profissionais de força e condicionamento para determinar modelos mais acurados e viáveis para prever a carga relativa nos exercícios resistidos baseado no perfil carga-velocidade. Além disso, poderá ser útil identificar algumas lacunas científicas na literatura atual, fornecendo algumas ideias para pesquisas futuras sobre a relação carga-velocidade nos exercícios resistidos.

MÉTODOS

Estratégia de busca

Esta revisão sistemática seguiu as recomendações descritas no Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement para os procedimentos de busca, seleção de estudos, e análises (MOHER et al., 2016). A busca dos estudos foi realizada por dois pesquisadores independentes usando os seguintes banco de dados: Pubmed (Medline), Web of Science™, Scopus, and SPORTDiscus até janeiro de 2021. O período da estratégia de busca variou de 2000-2021. As seguintes sintaxes foram adaptadas para cada banco de dados e aplicadas nos campos de busca do título, resumo e palavras-chave: “Load-velocity profile” OR “Load-velocity” OR “load velocity” OR “force-velocity” OR “movement velocity” OR “bar-velocity” OR “barbell-velocity” OR “barbell velocity” OR “mean velocity” OR “mean propulsive velocity” OR “peak velocity” OR “power-load” com o operador AND às palavras-chave: “1RM” OR “1-RM” OR “one-repetition maximum” OR “1-repetition maximum” OR “loading intensity” OR “relative intensity” OR “relative load” OR “maximal strength” OR “maximum strength” OR “strength assessment” OR “exercise intensity” OR “resistance exercise” OR “weightlifting” OR “prediction” OR “estimation” OR “accuracy” OR “reliability”. Além disso, busca manual e análise de referências foram realizadas para pesquisar outros documentos relevantes (HORSLEY; DINGWALL; SAMPSON, 2011). Os títulos e resumos dos estudos que não forneceram informações suficientes de acordo com o critério de inclusão foram selecionados para análise do texto na íntegra.

Critério de elegibilidade

Os estudos foram incluídos nesta revisão se eles alcançaram os seguintes critérios: a) tipo de publicação: artigos originais publicados em periódicos com revisão por pares na língua inglesa; b) tipo do estudo: delineamento transversal; c) participantes: indivíduos que sejam pelo menos fisicamente ativos e com experiência no TF (> 18 anos de idade e > 1 ano de experiência no TF); d) protocolo do estudo: exercícios resistidos tradicionais tipicamente prescritos em programas com a abordagem da velocidade devem fazer parte do protocolo de exercício (pesos livres, equipamento Smith, ou máquinas); e) desfechos do estudo: pelo menos um parâmetro de velocidade (VM, VPM e VP) deve ter sido utilizada para determinar o perfil carga-velocidade completo (método direto 1RM) ou parcial (estimativa de 1RM) ao invés da

relação força-velocidade; f) dispositivo de avaliação: a velocidade deve ter sido registrada por meio de transdutores lineares posicionais/velocidade validados e com acurácia e reprodutibilidade das medidas aceitáveis; g) os estudos deveriam ter descrito o teste de carga progressiva e análise estatística com informações suficientes sobre o protocolo de estimativa da carga relativa nos exercícios resistidos.

Seleção dos estudos

Dois autores independentes analisaram os títulos e resumos dos estudos, seguidos da leitura do artigo na íntegra. Os estudos foram incluídos por meio de concordância entre dois autores. Discordâncias foram analisadas por um terceiro revisor. Os resultados das buscas nas diferentes bases de dados foram agrupados e as duplicadas foram removidas (usando EndNote X9). A triagem dos estudos foi realizada por meio da plataforma online Rayyan (v. 1.0) (OUZZANI et al., 2016). O diagrama de fluxo PRISMA para resumo da descrição dos procedimentos gerais é apresentado na Figura 7.

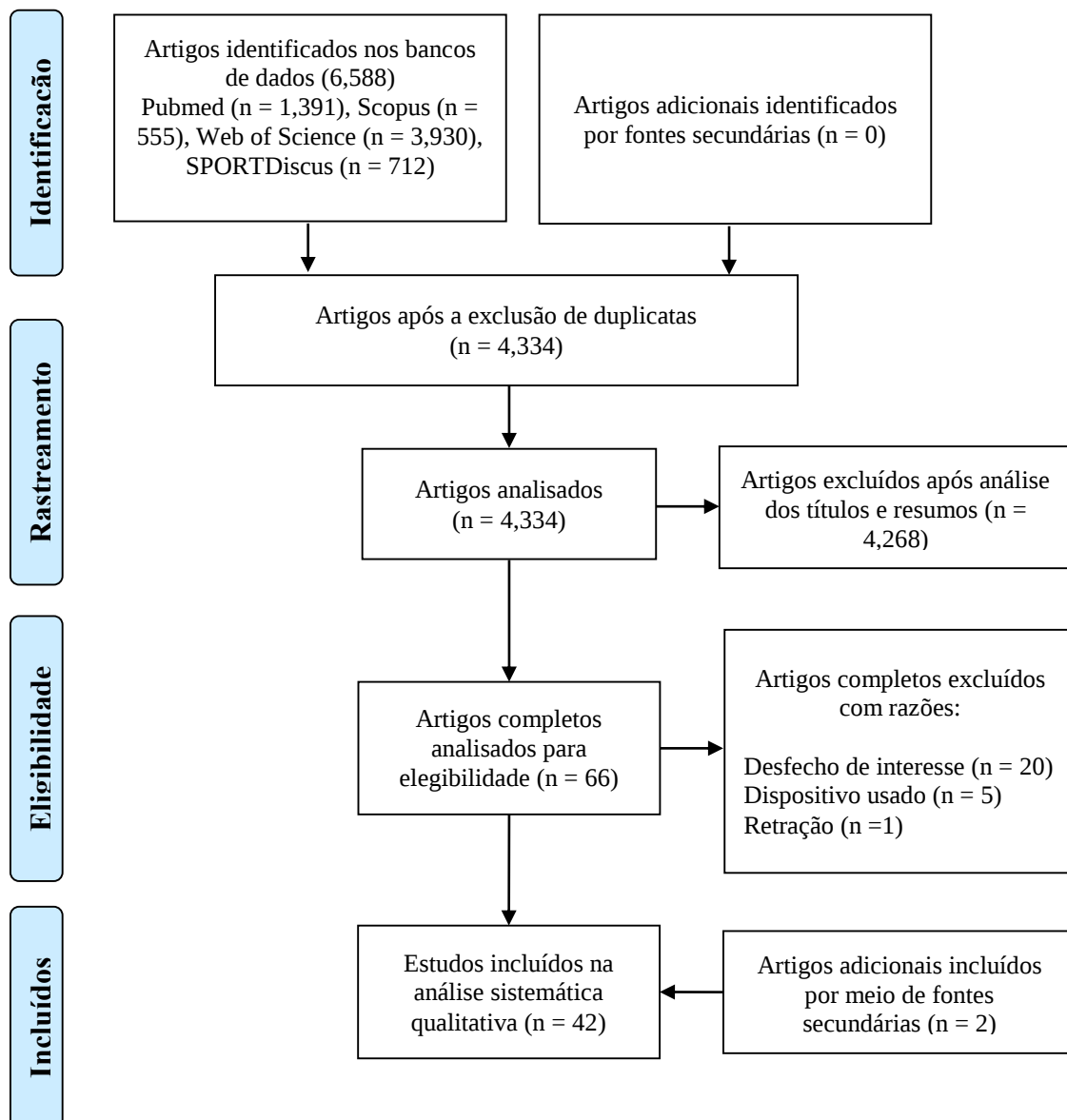


Figura 7. Fluxograma PRISMA para a descrição do processo geral.

Extração dos dados

A extração dos dados foi realizada por um autor, a partir da leitura de cada artigo na íntegra, e um segundo revisor confirmou a extração dos dados. Os dados relacionados ao desenho do estudo, características dos participantes (idade, sexo, população, experiência no treinamento), exercício resistido, desfechos de interesse (parâmetro de velocidade, modelo de regressão e relação carga-velocidade), e dados estatísticos foram extraídos após a leitura na íntegra dos artigos.

Nível da evidência e risco de viés

Dois autores independentes avaliaram a qualidade metodológica dos estudos elegíveis por meio de uma escala modificada para estudos transversais (Down and Black Quality Index Assessment) (DOWNS; BLACK, 1998) como previamente reportado (BUJALANCE-MORENO; LATORRE-ROMÁN; GARCÍA-PINILLOS, 2019). Discordâncias foram resolvidas por um terceiro revisor. A escala original de Downs and Black consiste de 27 itens e o teste-reteste do índice de qualidade e consistência interna foram altos ($r = 0,88$ e $KR-20 = 0,89$, respectivamente) e sua confiabilidade entre avaliadores foi boa ($r = 0,75$) (DOWNS; BLACK, 1998). A versão modificada da escala foi classificada de 1-14 pontos, com maiores escores indicando maior qualidade dos estudos (i.e., soma dos itens). Além disso, o item 1- da escala referindo à “Tem o valor atual de probabilidade sendo reportado (i.e., 0,035 ao invés de $< 0,05$)?”, foi modificado para “Reportar dados suficientes das estatísticas descritas ao invés de reportar apenas o valor de p ”. Considerando que a velocidade máxima intencional e a familiarização aos protocolos dos exercícios podem ser fontes de vieses na acurácia da relação carga-velocidade, nós adicionamos os itens esforço e familiarização na avaliação do risco de viés como previamente reportado (JUKIC et al., 2021). O risco de esforço se refere a se os autores reportaram explicitamente que os participantes foram encorajados a executar a fase concêntrica do movimento na máxima velocidade intencional. Um alto risco de viés foi considerado quando os autores não reportaram essa informação. O risco de familiarização foi considerado se refere a se os participantes foram familiarizados ao protocolo do exercício resistido. Um alto risco de viés foi considerado quando os autores não especificaram que uma sessão de familiarização foi incluída antes do início do estudo, tendo em vista que vieses podem ocorrer pelo fato dos participantes não serem acostumados com os protocolos adotados (i.e., técnica adequada e realizar a repetição como máximo esforço). O índice de qualidade da versão modificada foi obtido pela divisão dos escores individuais de cada estudo por 16 e multiplicado por 100. Estudos com índice de qualidade $> 66,7\%$ foram classificados como baixo risco de viés, entre 50 e $66,6\%$ como moderado risco, e $< 50\%$ foram classificados como alto risco de viés (BATACAN et al., 2017).

RESULTADOS

Resultados da busca

Um total de 6,588 estudo foram identificados nos bancos de dados. Sessenta e seis ($n = 66$) estudos permaneceram após a remoção de duplicadas ($n = 2,254$) e a triagem inicial dos títulos e resumos ($n = 4,268$ foram excluídos). Destes 66 estudos, 26 artigos foram removidos com base nos critérios de inclusão e exclusão. Cinco estudos foram excluídos devido à falta de informações sobre a validação do instrumento de avaliação em comparação a um critério padrão ouro (i.e., câmera 3D de captura de movimento de alta velocidade). Dois estudos foram incluídos por rastreamento de novas publicações. Desta forma, 42 artigos foram incluídos nessa revisão sistemática (Tabelas 3-5).

Quadro 1. Relações carga-velocidade gerais para estimativa da carga de 1RM em exercícios de membros superiores

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)
González-Badillo & Sánchez-Medina (2010a)	120 homens adultos jovens	cc reto “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = 8,4326 (VPM)^2 - 73,501 (VPM) + 112,33$	$R^2 = 0,981$; EPE = 3,56 % 1RM	0,16
				VM	$\%1RM = 7,5786 (VM)^2 - 75,865 (VM) + 113,02$	$R^2 = 0,979$; EPE = 3,77 % 1RM	-
Sánchez-Medina et al. (2014a)	75 atletas homens de elite	Supino reto “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = 11,2988 (VPM)^2 - 78,05 (VPM) + 113,04$	$R^2 = 0,972$; EPE = 4,39 % 1RM	0,17
				VM	$\%1RM = 11,4196 (VM)^2 - 81,904 (VM) + 114,03$	$R^2 = 0,969$; EPE = 4,59 % 1RM	-
		Remada deitada “CON” (Guiado)		VPM	$\%1RM = 13,2596 (VPM)^2 - 93,867 (VPM) + 144,38$	$R^2 = 0,945$; EPE = 5,90 % 1RM	0,52
				VM	$\%1RM = 18,5797 (VM)^2 - 104,182 (VM) + 147,94$	$R^2 = 0,955$; EPE = 5,31 % 1RM	-
Pallarés et al. (2014a)	17 homens treinados em força	Supino reto “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$VPM = 5,164 \cdot 10^{-5} (\%1RM)^2 - 0,0241 (\%1RM) + 2,106$	$R^2 = 0,96$; EPE = 0,10 m/s	0,19
		Supino reto “CON” (Guiado)			$VPM = 4,181 \cdot 10^{-5} (\%1RM)^2 - 0,0195 (\%1RM) + 1,754$	$R^2 = 0,98$; EPE = 0,06 m/s	0,22
Loturco et al. (2017a)	36 atletas homens de elite	Supino reto (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -59,022 (VPM) + 108,21$	$R^2 = 0,969$	0,15
		Supino reto (Livre)			$\%1RM = -62,539 (VPM) + 110,18$	$R^2 = 0,955$	0,18
Sánchez-Moreno et al. (2017)	52 bombeiros homens	Barra fixa “CON”	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -53,472 (VPM) + 110,68$	$r = -0,96$, EPE = 3,15% 1RM	0,20
García-Ramos et al. (2018a)	30 homens fisicamente ativos	Supino reto “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VM	$\%1RM = -55,92 (VM) + 108,8$	$R^2 = 0,974$, EPE = 4,38% 1RM	0,18
		Supino reto “CON” (Guiado)			$\%1RM = -69,62 (VM) + 110,3$	$R^2 = 0,966$, EPE = 4,95% 1RM	0,16
		Arremesso no supino reto “EXC-CON” (Guiado)			$\%1RM = -55,9 (VM) + 109,6$	$R^2 = 0,979$, EPE = 3,96% 1RM	0,19
		Arremesso no supino reto “CON” (Guiado)			$\%1RM = -65,00 (VM) + 108,6$	$R^2 = 0,969$, EPE = 4,71% 1RM	0,15

Quadro 1. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)
García-Ramos et al. (2018b)	30 homens fisicamente ativos	Arremesso no supino reto “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	%1RM = -44,57 VPM + 104,6	R ² = 0,967, EPE = 4,91% 1RM	0,13
				VM	%1RM = -56,09 VM + 109,5	R ² = 0,981, EPE = 3,80% 1RM	0,18
				VP	%1RM = -34,77 VP + 109,9	R ² = 0,955, EPE = 5,77% 1RM	0,33
		Arremesso no supino reto “CON” (Guiado)		VPM	%1RM = -57,02 VPM + 105,8	R ² = 0,957, EPE = 5,56% 1RM	0,13
				VM	%1RM = -64,78 VM + 108,6	R ² = 0,969, EPE = 4,76% 1RM	0,15
				VP	%1RM = -34,90 VP + 111,8	R ² = 0,960, EPE = 5,36% 1RM	0,38
Balsalobre-Fernández et al. (2018)	39 adultos treinados em força (H= 26, M=13)	Desenvolvimento de ombros “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	VPM = 0,0156 (%1RM) + 1,7561	R ² = 0,909, EPE = 0,15 m/s	0,19
Torrejón et al. (2018)	28 adutos fisicamente ativos (H=14, M=14)	Supino reto “EXC-CONC” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VM	H: VM = - 0,0165 (%1RM) + 1,81 M: VM = -0,0148 (%1RM) + 1,72	H: R ² = 0,95 M: R ² = 0,94	H: 0,17 M: 0,21
Loturco et al. (2021a)	30 atletas homens de elite	Remada inclinada (Livre)	TLV (T-Force®)	VPM	%1RM = -67,346 (VPM) + 130,14	R ² = 0,901, EPE = 6,5% 1RM	0,51
				VM	%1RM = -73,452 (VM) + 132,74	R ² = 0,908, EPE = 6,3% 1RM	0,51
				VP	%1RM = -43,104 (VP) + 128,05	R ² = 0,899, EPE = 6,6% 1RM	0,79
		Remada inclinada (Livre)		VPM	%1RM = -74,048 (VPM) + 142,2	R ² = 0,799, EPE = 9,9% 1RM	0,62
				VM	%1RM = -77,667 (VM) + 142,8	R ² = 0,796, EPE = 10,0% 1RM	0,61
				VP	%1RM = -47,425 (VP) + 142,87	R ² = 0,786, EPE = 10,3% 1RM	0,98
		Remada inclinada (Guiado)		VPM	%1RM = -73,219 (VPM) + 144,96	R ² = 0,897, EPE = 6,9% 1RM	0,64
				VM	%1RM = -78,868 (VM) + 146,84	R ² = 0,890, EPE = 7,1% 1RM	0,63
				VP	%1RM = -48,59 (VP) + 146,95	R ² = 0,867, EPE = 7,8% 1RM	1,03
García-Ramos et al. (2018d)	11 homens levantadores de peso	Supino reto “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	VPM = -0,012 (%1RM) + 1,610	R ² = 0,973, EPE = 0,07 m/s	0,13
				VM	VM = -0,014 (%1RM) + 1,515	R ² = 0,977, EPE = 0,06 m/s	0,14
				VP	VP = -0,024 (%1RM) + 2,712	R ² = 0,951, EPE = 0,18 m/s	0,27
		Supino reto arqueado “CON” (Guiado)		VPM	VPM = -0,014 (%1RM) + 1,555	R ² = 0,979, EPE = 0,06 m/s	0,16
				VM	VM = -0,013 (%1RM) + 1,483	R ² = 0,975, EPE = 0,06 m/s	0,17
				VP	VP = -0,025 (%1RM) + 2,728	R ² = 0,936, EPE = 0,16 m/s	0,30
Pestaña-Melero et al. (2018)	30 homens fisicamente ativos	Supino reto “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VM	VM = 0,000051 (%1RM) ² – 0,020 (%1RM) + 1,713	R ² = 0,973	-
					VM = -0,014 (%1RM) + 1,553	R ² = 0,966	-
		Supino reto “CON” (Guiado)			VM = 0,000042 (%1RM) ² – 0,019 (%1RM) + 1,690	R ² = 0,979	-
					VM = -0,014 (%1RM) + 1,559	R ² = 0,975	-

Quadro 1. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)
Martínez-Cava et al. (2019b)	42 homens fisicamente ativos	Supino reto completo “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = 11,74 (VPM)^2 - 82,96 (VPM) + 115,6$	$R^2 = 0,960$, EPE = 0,07 m/s	0,21
				VM	$\%1RM = 10,20 (VM)^2 - 84,34 (VM) + 116,2$	$R^2 = 0,966$	-
		Supino reto 2/3 “CON” (Guiado)		VPM	$\%1RM = 26,02 (VPM)^2 - 112,46 (VPM) + 120,9$	$R^2 = 0,965$, EPE = 0,07 m/s	0,20
				VM	$\%1RM = 28,277 (VM)^2 - 119,1 (VM) + 122,6$	$R^2 = 0,961$	-
		Supino reto 1/3 “CON” (Guiado)		VPM	$\%1RM = 61,60 VPM^2 - 165,93 VPM + 125,56$	$R^2 = 0,935$, EPE = 0,07 m/s	0,17
				VM	$\%1RM = 67,677 (VM)^2 - 177,55 (VM) + 128,1$	$R^2 = 0,945$	-
García-Ramos et al. (2019a)	18 homens treinados em força	Remada deitada “CON” (Livre)	TLV (T-Force®)	VPM	$VPM = -0,00050 (\%1RM)^2 + -0,019 (\%1RM) + 1,88$	$R^2 = 0,937$	0,47
					$VPM = -0,0125 (\%1RM) + 1,722$	$R^2 = 0,929$	0,50
				VM	$VM = -0,00075 (\%1RM)^2 + -0,022 (\%1RM) + 1,94$	$R^2 = 0,946$	0,46
					$VM = -0,0125 (\%1RM) + 1,704$	$R^2 = 0,930$	0,51
				VP	$VP = -0,00076 (\%1RM)^2 + -0,046 (\%1RM) + 3,63$	$R^2 = 0,973$	0,83
					$VP = -0,0237 (\%1RM) + 3,068$	$R^2 = 0,946$	0,70
Rodiles-Guerrero et al. (2020)	26 homens fisicamente ativos	Supino reto “CON” (Máquina)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = 3,79 (VPM)^2 - 74,49 (VPM) + 112,87$	$R^2 = 0,972$, EPE = 4,58% 1RM	0,17
Hernández-Belmonte et al. (2021)	48 homens fisicamente ativos	Desenvolvimento de ombros “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = 10,428 (VPM)^2 - 73,583 (VPM) + 114,46$	$R^2 = 0,973$, EPE = 4,13% 1RM	0,19
				VM	$\%1RM = 10,592 (VM)^2 - 77,083 (VM) + 115,35$	$R^2 = 0,973$, EPE = 4,14% 1RM	0,19
				VP	$\%1RM = 9,6445 (VP)^2 - 65,272 (VP) + 127,21$	$R^2 = 0,961$, EPE = 5,07% 1RM	0,45
Ortega-Rodríguez et al. (2020)	14 homens fisicamente ativos	Barra fixa pronada “CON” (Pega estreita)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -50,967 (VPM) + 111,57$	$R^2 = 0,884$, SEE = 3,99% 1RM	0.17
		Barra fixa pronada “CON” (Pegada livre)			$\%1RM = -46,888 (VPM) + 110,41$	$R^2 = 0,843$, EPE = 4,80% 1RM	-

Quadro 1. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)
Pérez-Castilla et al. (2020a)	20 homens fisicamente ativos	Supino reto – pegada estreita “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VM	$VM = -0,015 (\%1RM) + 1,661$	$R^2 = 0,968$, EPE $\leq 5,9\%$ 1RM	0,18
		Supino reto – pegada média “CON” (Guiado)			$VM = -0,015 (\%1RM) + 1,636$	$R^2 = 0,967$, EPE $\leq 5,9\%$ 1RM	0,16
		Supino reto – pegada aberta “CON” (Guiado)			$VM = -0,015 (\%1RM) + 1,623$	$R^2 = 0,965$, EPE $\leq 5,9\%$ 1RM	0,17
		Supino reto - pegada livre (Guiado)			$VM = -0,015 (\%1RM) + 1,645$	$R^2 = 0,955$, EPE $\leq 5,9\%$ 1RM	0,16
Pareja-Blanco et al. (2020a)	50 adultos fisicamente ativos (H=25, M=25)	Supino reto “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	H: $\%1RM = -12,941 (VPM)^2 - 51,895 (VPM) + 115,747$ M: $\%1RM = -84,293 (VPM)^2 - 7,008 (VPM) + 113,309$	H: $R^2 = 0,927$; EPE = 5,93% 1RM M: $R^2 = 0,954$; EPE = 4,06% 1RM	H: 0,16 M: 0,17

Nota: CON = concêntrico; EXC-CON = excêntrico-concêntrico; TLV = transdutor linear de velocidade TLP = transdutor linear de posição; VPM = velocidade propulsiva média; VM = velocidade média; VP = velocidade pico; %1RM = percentual relativo à carga de 1RM; 1RM = uma repetição máxima; V1RM = velocidade associada à carga de 1RM; EPE = erro padrão da estimativa; H = homens; M = mulheres.

Quadro 2. Relações carga-velocidade gerais para estimativa da carga de 1RM em exercícios de membros inferiores

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)
Pallarés et al. (2014a)	17 homens treinados em força	Agachamento completo “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$VPM = 2,615 \cdot 10^{-5} (\%1RM)^2 - 0,01151 (\%1RM) + 1,777$	$R^2 = 0,95$; EPE = 0,08 m/s	0,37
		Agachamento completo “CON” (Guiado)			$VPM = 1,810 \cdot 10^{-6} (\%1RM)^2 - 0,0102 (\%1RM) + 1,416$	$R^2 = 0,95$; EPE = 0,06 m/s	0,39
Conceição et al. (2016a)	15 atletas de atletismo	Agachamento completo “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -71,684 (VPM) + 121,03$	$R^2 = 0,95$	0,33
				VP	$VP = -0,0141 (\%1RM) + 2,372$	$R^2 = 0,94$	-
		Meio agachamento “CON” (Guiado)		VPM	$\%1RM = -80,372 (VPM) + 125,19$	$R^2 = 0,96$	0,33
				VP	$VP = -0,0139 (\%1RM) + 2,372$	$R^2 = 0,97$	-
		Leg Press 45°		VPM	$\%1RM = -55,509 (VPM) + 109,29$	$R^2 = 0,96$	0,19
				VP	$VP = -0,0252 (\%1RM) + 3,045$	$R^2 = 0,96$	-
Loturco et al. (2016a)	64 atletas homens de elite	Meio agachamento (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -105,05 (VPM) + 131,75$	$R^2 = 0,966$	0,31
Sánchez-Medina et al. (2017)	80 homens fisicamente ativos	Agachamento completo “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -5,961 (VPM)^2 - 50,71 (VPM) + 117,0$	$R^2 = 0,954$; EPE = 4,02% 1RM	0,32
				VM	$\%1RM = -12,87 (VM)^2 - 46,31 (VM) + 116,3$	$R^2 = 0,948$; EPE = 4,31% 1RM	0,32
				VP	$\%1RM = -10,85 (VP)^2 - 25,10 (VP) + 130,3$	$R^2 = 0,792$; EPE = 8,57% 1RM	1,04
Ruf et al. (2018a)	11 homens fisicamente ativos	Deadlift (Livre)	TLP (GymAware®)	VM	$VM = -1,245 (\%1RM) + 1,503$	$r = -0,986$	-
De Hoyo et al. (2019)	102 homens levantadores de peso recreacionais	Hip Thrust (Livre)	TLV (T-Force®)	VPM	$\%1RM = -92,29 (VPM) + 123,21$	$R^2 = 0,94$, EPE = 7,01% 1RM	0,24
				VM	$\%1RM = -77,74 (VM) + 116,30$	$R^2 = 0,94$, EPE = 7,36% 1RM	0,28
Chéry & Ruf (2019)	10 homens treinados em força	Deadlift “CON” (Livre)	TLP (GymAware®)	VM	$VM = -0,0126 (\%1RM) + 1,5019$	$R^2 = 0,978$	0,21
				VP	$VP = -0,0212 (\%1RM) + 2,5624$	$R^2 = 0,964$	0,39
			TLP (Tendo Sports®)	VM	$VM = -0,0125 (\%1RM) + 2,3751$	$R^2 = 0,970$	-
				VP	$VP = -0,0126 (\%1RM) + 2,466$	$R^2 = 0,963$	-
García-Pinillos et al. (2019)	19 levantadores de peso	Meio agachamento “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	$VPM = -0,0082 (\%1RM) + 1,2228$	$R^2 = 0,863$	-
				VM	$VM = -0,0071 (\%1RM) + 1,1256$	$R^2 = 0,885$	-
				VP	$VP = -0,00111 (\%1RM) + 2,0798$	$R^2 = 0,870$	-

Quadro 2. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)
Martínez-Cava et al. (2019a)	52 homens fisicamente ativos	Agachamento completo (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	%1RM = 4,468 (VPM) ² – 96,223 (VPM) + 127,51	R ² = 0,96	0,30
				VM	%1RM = – 12,266 (VM) ² – 82,567 (VM) + 124,75	R ² = 0,95	-
		Agachamento paralelo (Guiado)		VPM	%1RM = 24,413 (VPM) ² – 133,80 (VPM) + 139,53	R ² = 0,94	0,30
				VM	%1RM = 9,548 (VM) ² – 123,46 (VM) + 137,74	R ² = 0,94	-
		Meio agachamento (Guiado)		VPM	%1RM = 54,421 (VPM) ² – 181,42 (VPM) + 147,79	R ² = 0,92	0,30
				VM	%1RM = 44,314 (VM) ² – 180,00 (VM) + 148,53	R ² = 0,92	-
Morán-Navarro et al. (2021a)	20 homens fisicamente ativos	Deadlift “CON” (Livre)	TLV (T-Force®)	VPM	%1RM = 3,129 (VPM) ² – 99,908 (VPM) + 124,452	R ² = 0,935, EPE = 6,29% 1RM	0,25
				VM	%1RM = 3,129 (VM) ² – 82,178 (VM) + 120,38	R ² = 0,935, EPE = 6,29% 1RM	0,25
				VP	%1RM = 2,631 (VP) ² – 52,449 (VP) + 120,907	R ² = 0,919, EPE = 7,09% 1RM	0,42
Pérez-Castilla et al. (2020c)	20 homens fisicamente ativos	Agachamento “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	VPM = -0,011 (%1RM) + 1,725	R ² = 0,957, EPE = 0,072 m·s ⁻¹	0,34
		Agachamento CMJ (Guiado)			VPM = -0,014 (%1RM) + 1,436	R ² = 0,949, EPE = 0,060 m·s ⁻¹	0,34
		Agachamento “CON” (Guiado)			VPM = -0,008 (%1RM) + 1,129	R ² = 0,920, EPE = 0,050 m·s ⁻¹	0,34
		Squat Jump (Guiado)			VPM = -0,010 (%1RM) + 1,305	R ² = 0,879, EPE = 0,082 m·s ⁻¹	0,35
Benavides-Ubric et al. (2020a)	50 homens fisicamente ativos	Deadlift (Livre)	TLV (T-Force®)	VPM	VPM = -0,0128 (%1RM) + 1,5954	R ² = 0,915, EPE = 0,074 m·s ⁻¹	0,33
				VM	VM = -0,0114 (%1RM) + 1,4709	R ² = 0,913, EPE = 0,066 m·s ⁻¹	0,33
				VP	VP = -0,0224 (%1RM) + 2,8195	R ² = 0,931, EPE = 0,111 m·s ⁻¹	0,59
Pareja-Blanco et al. (2020a)	50 adultos fisicamente ativos (H= 25, M= 25)	Agachamento completo “EXC-CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	H: %1RM = – 27,966 (VPM) ² – 39,090 (VPM) + 113,119 M: %1RM = – 42,196 (VPM) ² – 31,018 (VPM) + 112,937	H: R ² = 0,925; EPE = 5,99% 1RM M: R ² = 0,913; EPE = 5,68% 1RM	M: 0,33 W: 0,30
Jukic et al. (2020a)	20 homens fisicamente ativos	Deadlift “CON” (Fitas)	TLP (GymAware®)	VM	%1RM = -70,92 (VM) + 117,8	R ² = 0,948, EPE = 6,38 %1RM	0,28
		Deadlift “CON” (Sem fitas)			%1RM = -73,84 (VM) + 124,7	R ² = 0,951, EPE = 6,18 %1RM	0,37

Quadro 2. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Equação Preditiva	Estatística Descritiva	V1RM (m/s)	
Thompson et al. (2020a)	10 levantadores de peso (H = 8, M = 2)	Agachamento completo “EXC-CON” (livre)	TLP (GymAware®)	VM	VM = -0,012 (%1RM) + 1,531	r = 0,96; EPE = 0,09 m/s	-	
					VM = -0,000039 (%1RM) ² - 0,0068 (%1RM) + 1,385	r = 0,96; EPE = 0,09 m/s		
				VP	VP = -0,013 (%1RM) + 2,148	r = 0,83; EPE = 0,22 m/s		
					VP = -0,000016 (%1RM) ² – 0,015 (%1RM) + 2,207	r = 0,83; EPE = 0,22 m/s		
		Power Clean		VM	VM = -0,0072 (%1RM) + 1,531	r = 0,89; EPE = 0,08 m/s		
					VM = -0,000029 (%1RM) ² - 0,0032 (%1RM) + 1,571	r = 0,90; EPE = 0,08 m/s		
				VP	VP = -0,012 (%1RM) + 2,951	r = 0,83; EPE = 0,16 m/s		
					VP = -0,000054 (%1RM) ² – 0,0041 (%1RM) + 2,706	r = 0,83; EPE = 0,16 m/s		

Nota: CON = concêntrico; EXC-CON = excêntrico-concêntrico; TLV = transdutor linear de velocidade TLP = transdutor linear de posição; VPM = velocidade propulsiva média; VM = velocidade média; VP = velocidade pico; %1RM = percentual relativo à carga de 1RM; 1RM = uma repetição máxima; V1RM = velocidade associada à carga de 1RM; EPE = erro padrão da estimativa; H = homens; M = mulheres.

Quadro 3. Acurácia de diferentes métodos na estimativa da carga de 1RM baseada na relação carga-velocidade individual.

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Métodos			Estatísticas Descritivas	
					LMV	Cargas	Modelo de Regressão	1RM: Atual vs. Predito	
Lake et al. (2017a)	12 homens fisicamente ativos	Deadlift “CON” (Livre)	TLP (Chronojump®)	VM	Vlast (70%1RM)	6-cargas (65-90% 1RM)	Linear	Vies = 16,3 kg; LdC = -14,1 a 46,7 kg	
				VM	Vlast (80%1RM)			Vies = 23,8 kg; LdC = 0,4 a 47,1 kg	
García-Ramos et al. (2018c)	30 homens fisicamente ativos	Supino reto “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VPM	G-V1RM (0,17)	2-cargas (46 e 77% 1RM)	Linear	r = 0,96; Vies = 0,5 ± 3,8 kg	
						[X] Geral – 0,5 m/s		r = 0,96; Vies = 1,8 ± 3,6 kg	
						[X] Geral – 1,0 m/s		r = 0,87; Vies = 10,8 ± 6,3 kg	
				VM		2-cargas (46 e 77% 1RM)		r = 0,96; Vies = 0,2 ± 3,7 kg	
						[X] Geral – 0,5 m/s		r = 0,96; Vies = 1,8 ± 3,6 kg	
						[X] Geral – 1,0 m/s		r = 0,85; Vies = 11,4 ± 6,8 kg	
		Supino reto “EXC-CON” (Guiado)		VPM		2-cargas (46 e 77% 1RM)		r = 0,98; Vies = -0,4 ± 3,0 kg	
						[X] Geral – 0,5 m/s		r = 0,97; Vies = -4,9 ± 3,5 kg	
						[X] Geral – 1,0 m/s		r = 0,88; Vies = -13,5 ± 6,9 kg	
				VM		2-cargas (46 e 77% 1RM)		r = 0,98; Vies = -2,3 ± 3,1 kg	
						[X] Geral – 0,5 m/s		r = 0,97; Vies = -5,5 ± 3,6 kg	
						[X] Geral – 1,0 m/s		r = 0,86; Vies = -11,3 ± 7,4 kg	
Ruf et al. (2018a)	11 homens fisicamente ativos	Deadlift (Livre)	TLP (GymAware®)	VM	I-V1RM	3-cargas (20-60% 1RM)	Linear	r = -0,98 a -0,99	Vies = -8,1 kg
						3-cargas (40-80% 1RM)			Vies = -8,7 kg
						3-cargas (60-90% 1RM)			Vies = -4,2 kg
						4-cargas (20-80% 1RM)			Vies = -7,5 kg
						4-cargas (40-90% 1RM)			Vies = -5,6 kg
						5-cargas (20-90% 1RM)			Vies = -5,6 kg
						Pérez-Castilla et al. (2019b)			11 homens fisicamente ativos
TLP (Chronojump®)	r = 0,97; Vies = 4,8 ± 2,8 kg								
TLP (Speed4Lift®)	5-cargas (45-85% 1RM)	r = 0,95; Vies = 3,7 ± 2,2 kg							
	2-cargas (45 e 85% 1RM)	r = 0,96; Vies = 3,2 ± 2,1 kg							
	5-cargas (45-85% 1RM)	r = 0,97; Vies = 3,8 ± 3,0 kg							
	2-cargas (45 e 85% 1RM)	r = 0,97; Vies = 4,1 ± 3,1 kg							
Hughes et al. (2019)	20 homens fisicamente ativos	Agachamento paralelo (Livre)	TLP (GymAware®)	VM	I-V1RM	Linear	Vies = -10,3 kg (p < 0,05)		
							Vies = -13,7 kg (p < 0,05)		
							Vies = -6,7 kg (p < 0,05)		
García-Ramos et al. (2019b)	26 homens fisicamente ativos	Remada deitada “CON” (Livre)	TLV (T-Force®)	VM	-	Linear	r = 0,93; Vies = 3,4 ± 5,0 kg		
					-		r = 0,94; Vies = 0,4 ± 5,1 kg		
					G-V1RM (0,48)		4-cargas (~49-82% 1RM)	r = 0,93; Vies = 2,4 ± 5,2 kg	
							2-cargas (~49 e ~82% 1RM)	r = 0,93; Vies = -0,8 ± 5,3 kg	

Quadro 3. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Métodos			Estatísticas Descritivas					
					LMV	Cargas	Modelo de Regressão	1RM: Atual vs, Predito					
García-Ramos et al. (2020a)	86 homens fisicamente ativos	Supino reto “CON” (Guiado)	TLV (T-Force®)	VM	G-V1RM (0,17)	4-cargas (45-90% 1RM)	Linear	r = 0,99; Viés = 2,6 ± 1,9 kg					
						2-cargas (45 e 90% 1RM)	Polinomial	r = 0,96; Viés = 3,5 ± 3,5 kg					
					I-V1RM	4-cargas (45-90% 1RM)	Linear	r = 0,99; Viés = 2,6 ± 1,9 kg					
						2-cargas (45 e 90% 1RM)	Polinomial	r = 0,98; Viés = 2,7 ± 2,4 kg					
					VLast	4-cargas (45-90% 1RM)	Linear	r = 0,99; Viés = 2,6 ± 2,4 kg					
						2-cargas (45 e 90% 1RM)	Polinomial	r = 0,99; Viés = 3,0 ± 2,4 kg					
		Supino reto “EXC-CON” (Guiado)			G-V1RM (0,17)	4-cargas (45-90% 1RM)	Linear	r = 0,96; Viés = 4,1 ± 4,0 kg					
						2-cargas (45 e 90% 1RM)	Linear	r = 0,99; Viés = 3,1 ± 2,4 kg					
					I-V1RM	4-cargas (45-90% 1RM)	Linear	r = 0,98; Viés = 2,6 ± 2,1 kg					
						2-cargas (45 e 90% 1RM)	Polinomial	r = 0,97; Viés = 3,8 ± 3,1 kg					
					VLast	4-cargas (45-90% 1RM)	Linear	r = 0,98; Viés = 3,3 ± 3,0 kg					
						2-cargas (45 e 90% 1RM)	Polinomial	r = 0,98; Viés = 2,5 ± 2,3 kg					
		Caven et al. (2020a)			17 mulheres treinadas em força	Supino reto (Livre)	TLP (GymAware®)	VM	G-V1RM (0,22)	8-cargas (40-90% 1RM)	Linear	r = 0,98; Viés = 3,2 ± 3,1 kg	
										2-cargas (40 e 90% 1RM)		Linear	r = 0,98; Viés = 3,2 ± 3,1 kg
									I-V1RM	8-cargas (40-90% 1RM)		r = 0,98; Viés = 3,2 ± 3,1 kg	
										2-cargas (40 e 90% 1RM)		Linear	r = 0,98; Viés = 3,2 ± 2,6 kg
						Agachamento completo (Livre)			G-V1RM (0,36)	8-cargas (20-90% 1RM)		Linear	r = 0,98; Viés = 3,1 ± 2,8 kg
										2-cargas (20 e 90% 1RM)		Polinomial	r = 0,97; Viés = 3,1 ± 2,9 kg
I-V1RM	8-cargas (20-90% 1RM)		Linear	r = 0,98; Viés = 3,1 ± 2,9 kg									
	2-cargas (20 e 90% 1RM)		Linear	r = 0,94; Viés = 2,6 ± 1,7 kg									
Benavides-Ubric et al. (2020a)	50 homens fisicamente ativos		Deadlift (Livre)	TLV (T-Force®)					VPM	G-V1RM		Linear	r = 0,84; Viés = 3,8 ± 4,1 kg
									VM				r = 0,97; Viés = 2,1 ± 1,6 kg
		VP			r = 0,89; Viés = 3,6 ± 3,6 kg								
					r = 0,86; Viés = 7,8 ± 5,2 kg								
					r = 0,76; Viés = 9,7 ± 7,8 kg								
					r = 0,95; Viés = 4,9 ± 9,7 kg								
		r = 0,93; Viés = 6,3 ± 5,0 kg											
							r = 0,90; LoA = -14,8 a 18,3 kg						
							r = 0,97; LoA = -6,4 a 9,6 kg						
							r = 0,88; LoA = 14,7 a 21,9 kg						
							r = 0,97; LoA = -7,6 a 12,8 kg						
							r = 0,91; LoA = -12,1 a 20,0 kg						
							r = 0,98; LoA = -4,9 a 12,0 kg						

Quadro 3. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Métodos			Estatísticas Descritivas
					LMV	Cargas	Modelo de Regressão	1RM: Atual vs, Predito
Pérez-Castilla et al. (2020b)	20 homens fisicamente ativos	Pegada fechada Supino reto (Guiado)	TLV (T-Force®)	VM	G-V1RM (0,17)	2-cargas (~46 e ~85% 1RM)	Linear	r = 0,98; EPE = 3 kg
		Pegada média Supino reto (Guiado)				2-cargas (~46 e ~85% 1RM)		r = 0,97; EPE = 3 kg
		Pegada aberta Supino reto (Guiado)				2-cargas (~46 e ~85% 1RM)		r = 0,98; EPE = 3 kg
		Pegada livre Supino reto (Guiado)				2 Ps (~46 e ~85% 1RM)		r = 0,96; EPE = 4 kg
Perez-Castilla et al. (2021)	16 homens fisicamente ativos	Supino reto "EXC-CON" (Livre)	TLV (T-Force®)	VM (Mais rápida)	G-V1RM (0,17)	5-cargas (~25-85% 1RM)	Linear	r = 0,99; Bias = 3,7 ± 2,9% 1RM
					I-V1RM Pre (0,17)			r = 0,99; Bias = 3,2 ± 2,6% 1RM
					I-V1RM Day (0,16)			r = 0,99; Bias = 3,6 ± 2,9% 1RM
				VM (Média 2-3 Reps)	G-V1RM (0,17)			r = 0,99; Bias = 3,3 ± 2,7% 1RM
					I-V1RM Pre (0,17)			r = 0,99; Bias = 2,7 ± 2,2% 1RM
					I-V1RM Day (0,16)			r = 0,99; Bias = 3,5 ± 2,4% 1RM

Quadro 3. Continuação

Referências	Amostra	Exercícios	Dispositivo	Parâmetros	Métodos			Estatísticas Descritivas
					LMV	Cargas	Modelo de Regressão	1RM: Atual vs, Predito
Jukic et al. (2020b)	18 homens treinados em força	Deadlift “CON” (Fitas)	TLP (GymAware®)	VM	G-V1RM (0,23)	5-cargas (20-90% 1RM)	Polinomial	r = 0,80; Viés = 15,4 ± 13,8 kg
					G-V1RM (0,23)	5-cargas (20-90% 1RM)	Linear	r = 0,90; Viés = 12,4 ± 11,3 kg
					G-V1RM (0,23)	2-cargas (40 e 90% 1RM)	Linear	r = 0,93; Viés = 12,7 ± 9,4 kg
					I-V1RM	5-cargas (20-90% 1RM)	Polinomial	r = 0,83; Viés = 15,5 ± 14,9 kg
					I-V1RM	5-cargas (20-90% 1RM)	Linear	r = 0,86; Viés = 16,3 ± 15,7 kg
					I-V1RM	2-cargas (40 e 90% 1RM)	Linear	r = 0,89; Viés = 16,0 ± 14,2 kg
		Deadlift “CON” (Sem fitas)			G-V1RM (0,37)	5-cargas (20-90% 1RM)	Polinomial	r = 0,92; Viés = 9,8 ± 7,7 kg
					G-V1RM (0,37)	5-cargas (20-90% 1RM)	Linear	r = 0,93; Viés = 7,3 ± 6,6 kg
					G-V1RM (0,37)	2-cargas (40 e 90% 1RM)	Linear	r = 0,92; Viés = 8,1 ± 8,5 kg
					I-V1RM	5-cargas (20-90% 1RM)	Polinomial	r = 0,98; Viés = 6,6 ± 6,0 kg
					I-V1RM	5-cargas (20-90% 1RM)	Linear	r = 0,96; Viés = 6,6 ± 5,1 kg
					I-V1RM	2-cargas (40 e 90% 1RM)	Linear	r = 0,98; Viés = 6,6 ± 5,3 kg

Nota: CON = concêntrico; EXC-CON = excêntrico-concêntrico; TLV = transdutor linear de velocidade TLP = transdutor linear de posição; VPM = velocidade propulsiva média; VM = velocidade média; VP = velocidade pico; LMV = limiar mínimo de velocidade; %1RM = percentual relativo à carga de 1RM; 1RM = uma repetição máxima; V1RM = velocidade associada à carga de 1RM; EPE = erro padrão da estimativa; H = homens; M = mulheres.

Características gerais

As informações gerais dos 42 estudos incluídos nessa revisão sistemática estão apresentadas nas Tabelas 3-5. O número agrupado de participantes dos estudos incluídos na análise qualitativa foi 1.445. O número de participantes em cada estudo variou entre 10 a 120 com um tamanho médio amostral de $32,1 \pm 26,1$ indivíduos. A maioria dos estudos ($n = 37$) incluíram homens, enquanto apenas quatro estudos incluíram ambos os sexos, e um estudo recrutou apenas mulheres. Em relação à experiência no treinamento, 34 estudos incluíram sujeitos fisicamente ativos com experiência em TF (i.e., praticantes recreacionais em força e atletas amadores), e oito estudos recrutaram atletas de alto nível. Dos estudos incluídos nessa revisão, 32 artigos forneceram relações carga-velocidade gerais, enquanto 12 estudos reportaram relações carga-velocidade individuais. Onze estudos ($n = 11$) que investigaram a relação carga-velocidade individual incluíram a V1RM e apenas dois estudos utilizaram como LMV a Vlast. Vinte e quatro ($n = 24$) estudos utilizaram exercícios de membros superiores, 16 incluíram exercícios de membros inferiores, e dois estudos usaram ambos os tipos de exercícios. Vinte e quatro ($n = 24$) englobaram exercícios em máquina, 16 estudos incluíram exercícios com peso livre, e dois estudos investigaram ambos os tipos de exercícios. A maioria dos estudos incluíram os exercícios de supino reto ($n = 17$) e agachamento ($n = 8$). Em relação aos parâmetros de velocidade, a maioria dos estudos registraram exclusivamente a VM ($n = 15$), nove estudos registram apenas a VPM, seis estudos incluíram ambas a VM e VPM, nove estudos registraram a VM, VPM e VP, dois estudos incluíram a MV e PV e um estudo reportou a VPM e VP. Vinte e oito ($n = 28$) estudos avaliaram as relações carga-velocidade por meio de modelos de regressão lineares, nove estudos usaram regressões polinomiais de segunda-ordem e cinco estudos usaram ambos os modelos de regressão.

Qualidade metodológica

O resumo do índice de qualidade de cada estudo incluído nessa revisão sistemática é apresentado no Quadro 4. A escala Downs and Black apresentou um escore médio de 99,7%, variando de 81,8% a 100% de um total de 11 itens.

Quadro 4. Análise do Índice de Qualidade Downs & Black modificado para cada item e escore total.

Referências	Índice de Qualidade Downs & Black Modificado (1-11 scores)												Classificação (%)
	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Escore Total	
González-Badillo; Sanchez-Medina (2010)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Sánchez-Medina et al. (2014)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Palláres et al. (2014)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Loturco et al. (2017a)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	9	81,8
Sanchez-Moreno et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
García-Ramos et al. (2018a)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10	90.9
García-Ramos et al. (2018b)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10	90.9
Balsalobre-Fernández et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Torrejón et al. (2018)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10	90.9
Loturco et al. (2021a)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	9	81.8
García-Ramos et al. (2018d)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pestaña-Melero et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Martínez-Cava et al. (2019b)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10	90.9
García-Ramos et al. (2019a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Rodiles-Guerrero et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Hernández-Belmonte et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pérez-Castilla et al. (2020a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Ortega-Rodríguez et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pareja-Blanco et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Conceição et al. (2016)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Loturco et al. (2016a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Sanchez-Medina et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Ruf et al. (2018)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10	90.9
de Hoyo et al. (2019)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10	90.9

Quadro 4. Continuação.

Referências	Índice de Qualidade Downs & Black Modificado (1-11 scores)											Escore Total	Classificação (%)
	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11		
Chéry and Ruf (2019)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10	90.9
García-Pinillos et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Martínez-Cava et al. (2019a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Moran-Navarro et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pérez-Castilla et al. (2020c)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Benavides-Ubric et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Jukic et al. (2020a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Thompson et al. (2020a)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	10	90.9
Lake et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
García-Ramos et al. (2018c)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pérez-Castilla et al. (2019b)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Hughes et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
García-Ramos et al. (2019b)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
García-Ramos et al. (2020a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Caven et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pérez-Castilla et al. (2020b)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Jukic et al. (2020b)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100
Pérez-Castilla et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100

Note: 0: Não, 1: Sim, U: Incapaz de determinar (recebeu um escore 0); Item 1 = hipóteses/objetivos claros; Item 2 = desfechos analisados claramente descritos; Item 3 = características dos participantes claramente descritas; Item 4 = principais achados claramente descritos; Item 5 = medidas de variabilidade aleatória descritas; Item 6 = dados estatísticos suficientes ao invés de apenas reportar o valor de “p”; Item 7 = análises realizadas conforme o plano inicial; Item 8 = estatística apropriada; Item 9 = medidas de desfecho válidas e reprodutíveis; Item 10 = vies do esforço; Item 11 = vies de familiarização.

Relações carga-velocidade gerais

Os dados das equações gerais de carga-velocidade são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Dos 32 estudos que investigaram a relação carga-velocidade, 17 estudos incluíram exercícios de membros superiores (Quadro 1), 13 estudos usaram exercícios de membros inferiores (Quadro 2), e dois estudos incluíram ambos os tipos de exercícios. Em relação aos exercícios de membros superiores, o exercício supino e suas variações foram os mais investigados. A relação carga-velocidade também foi investigada em outros exercícios de membros superiores como o desenvolvimento de ombros, remada pronada e barra fixa pronada. A maioria dos estudos reportaram um $R^2 \geq 0,94$ (EPE entre: 3,56% a 5,93% 1RM). Dois estudos reportaram um $R^2 < 0,90$ (EPE entre: 3,99% a 10,3% 1RM). No geral, o EPE da velocidade do movimento foi $< 0,10$ m/s. Três estudos reportaram EPE na velocidade do movimento $\geq 0,10$ m/s.

Em relação aos exercícios de membros inferiores, o agachamento e suas variações foram os exercícios mais investigados. Além disso, os exercícios *leg press*, *deadlift*, *hip-thrust*, e *power clean* também foram estudados. A maioria dos estudos reportaram um $R^2 > 0,91$ (EPE entre: 4,02% a 7,36% 1RM), mas em alguns dados o EPE foi $> 7,0\%$ 1RM (7,01% a 8,57% 1RM). No geral, o EPE da velocidade do movimento foi $< 0,10$ m/s, mas em alguns dados o EPE foi $\geq 0,10$ m/s.

Tipo de exercício resistido (máquinas e pesos livres)

Dos 32 estudos que investigaram as equações carga-velocidade gerais, 20 investigaram exercícios realizados na máquina, 12 estudos incluíram exercícios com pesos livres e dois estudos usaram ambos os tipos de exercícios. Em relação aos exercícios realizados na máquina, os exercícios mais investigados foram o supino reto e agachamento. As relações carga-velocidade também foram estudadas em outros exercícios na máquina como a remada pronada, desenvolvimento de ombros e *leg press*. Considerando os exercícios com pesos livres, as relações carga-velocidade foram investigadas nos exercícios supino reto, remada, agachamento, barra fixa, *power clean*, *hip thrust* e *deadlift*. No geral, relações carga-velocidade muito fortes foram encontradas para ambos exercícios na máquina (R^2 entre: 0,87 a 0,98; EPE entre: 3,56 a 8,57% 1RM) e pesos livres (R^2 entre: 0,78 a 0,97; EPE entre: 3,15

a 10,3% 1RM). A maioria dos estudos reportaram um EPE < 7% 1RM. O EPE da velocidade do movimento variou entre 0,05 a 0,18 m/s (exercícios na máquina) e 0,06 a 0,11 m/s (exercícios com pesos livres). Três estudos incluindo exercícios com pesos livres reportaram um $R^2 < 0,90$. Dois estudos que compararam a acurácia das relações carga-velocidade entre os exercícios na máquina e com pesos livres mostraram que a velocidade do movimento foi capaz de determinar acuradamente o %1RM em ambos os tipos de exercícios, mas cada exercício apresentou relação carga-velocidade específica.

Técnica de execução dos exercícios resistidos (Concêntrico vs. excêntrico-concêntrico)

Vinte e três ($n = 23$) estudos reportaram a técnica de execução dos exercícios resistidos (concêntrico [CON] vs. excêntrico-concêntrico [EXC-CON]) utilizada para determinar a relação carga-velocidade geral (Tabelas 1-2).

Em relação aos exercícios de membros superiores, nove estudos incluíram uma pausa entre as fases excêntricas e concêntricas do movimento (i.e., CON), três estudos não impuseram uma pausa entre as fases de transição do levantamento (i.e., EXC-CON) e quatro estudos incluíram ambas as técnicas de execução. Considerando os exercícios de membros inferiores, cinco estudos incluíram uma pausa entre as fases excêntricas e concêntricas do levantamento, três estudos utilizaram a técnica EXC-CON e dois estudos usaram ambas as técnicas de execução. No geral, os estudos que compararam diretamente as técnicas CON e EXC-CON reportaram relações carga-velocidades muito forte para ambas as técnicas CON (R^2 entre: 0,88 a 0,98; EPE entre: 4,71% a 5,56% 1RM) e EXC-CON (R^2 entre: 0,95 a 0,98; EPE entre: 3,80 a 5,77% 1RM), mas cada técnica de levantamento apresentou perfis carga-velocidade distintos. Especificamente, maiores velocidades de movimento foram reportadas quando a técnica EXC-CON foi realizada.

Relações carga-velocidade específicas ao sexo

A maioria dos estudos investigando a relação carga-velocidade geral recrutaram participantes do sexo masculino ($n = 28$) e quatro estudos incluíram ambos os sexos. Dois estudos compararam as relações carga-velocidade entre os sexos em exercícios de membros superiores e um estudo incluiu ambos

exercícios de membros superiores e inferiores. Em dois estudos, homens e mulheres foram agrupados na análise da relação de carga-velocidade. No geral, esses estudos reportaram relações carga-velocidade muito forte para ambos os sexos, mas a velocidade alcançada para cada %1RM foi maior para os homens ($p < 0,05$). As equações carga-velocidade gerais específicas para mulheres foram fornecidas em apenas dois estudos, os quais incluíram os exercícios supino reto e agachamento completo. Nesses estudos, o R^2 variou entre 0,92 a 0,95 (homens) e 0,91 a 0,94 (mulheres). Dois estudos plotaram ambos os sexos na relação carga-velocidade e encontraram dados menos acurados ($R^2 < 0,91$; e EPE entre 0,08 a 0,22 m/s).

Tipo de parâmetros de velocidade (VM, VPM e VP)

Os parâmetros de velocidade mais utilizados para ajustar as relações carga-velocidade foram a VPM ($n = 24$) e VM ($n = 23$), enquanto 12 estudos registraram a VP. As relações carga-velocidade ajustadas pelo VPM variaram entre: $R^2 = 0,80$ a $0,98$ e EPE = 3,15% a 7,01% 1RM; VM variaram entre: $R^2 = 0,80$ a $0,98$ e EPE = 3,77% a 7,36% 1RM; e VP variaram entre: $R^2 = 0,79$ a $0,96$ e EPE = 3,56% a 8,57% 1RM. Nove estudos ajustaram as relações carga-velocidade por meio da VPM, VM e VP. No geral, todos os parâmetros de velocidade (VPM, VM e VP) forneceram relações carga-velocidade fortemente lineares (R^2 entre: 0,79 a 0,98), com diferenças negligenciáveis entre os parâmetros. Por outro lado, um estudo apresentou relações mais fracas e maiores erros para a VP ($R^2 = 0,79$ e EPE = 8,57% 1RM) quando comparado com a VM ($R^2 = 0,95$ e EPE = 4,31% 1RM) e VPM ($R^2 = 0,95$ e EPE = 4,02% 1RM).

Modelos de regressão: Polinomial de segunda-ordem e linear

Dos 32 estudos que investigaram as relações carga-velocidade gerais, 20 estudos usaram a regressão linear, enquanto que nove estudos utilizaram o modelo de regressão polinomial de segunda-ordem. No geral, relações carga-velocidade muito fortes foram encontradas para ambos os modelos linear ($R^2 = 0,79$ a $0,98$; EPE = 3,15% a 10,3% 1RM) e polinomial de segunda-ordem ($R^2 = 0,79$ a $0,98$; EPE = 3,56% a 8,57% 1RM). Três estudos incluíram ambos os modelos linear e polinomial de segunda-ordem para ajustar as relações carga-

velocidade. Dois estudos que compararam diretamente a acurácia dos modelos de regressão reportaram R^2 muito forte para ambos os modelos linear ($R^2 = 0,93$ a $0,97$) e polinomial de segunda-ordem ($R^2 = 0,94$ a $0,98$). Além disso, um estudo demonstrou forte coeficiente de correlação para os modelos linear ($r = 0,89$ a $0,96$) e polinomial de segunda-ordem ($r = 0,90$ a $0,96$) nos exercícios de agachamento com pesos livres e *power clean*, sem diferença significativa entre os modelos de regressão ($p > 0,05$).

Relações carga-velocidade individuais

Doze ($n = 12$) estudos investigaram a acurácia da predição de 1RM por meio de relações carga-velocidade individuais (Quadro 3). Desses 12 estudos, os exercícios resistidos mais investigado foram o supino e suas variações e o *deadlift*. As relações carga-velocidade individuais também foram investigadas nos exercícios agachamento. No geral, os erros absolutos entre o 1RM real e predito foram < 10 kg. Três estudos incluindo exercícios de membros inferiores com pesos livres reportaram erros absolutos entre o 1RM real e predito > 10 kg.

Número de cargas usadas no teste progressivo

O número de cargas para ajustar as relações carga-velocidade individuais variou entre 2-8 incrementos (Quadro 3). Oito estudos usaram o método de dois pontos para estimar o 1RM, em sua maioria no exercício de supino reto. A acurácia do método de dois pontos também foi investigada nos exercícios remada pronada, agachamento e *deadlift*. Cinco estudos compararam a acurácia da predição de 1RM entre os métodos de dois pontos e de múltiplas cargas (> 2 cargas). Quatro estudos demonstraram um erro aceitável (< 5 kg) na predição de 1RM pelo método de dois pontos, e sem diferenças em comparação aos métodos de múltiplas cargas (i.e., 4-8 cargas). Um estudo encontrou erro absolutos maior entre o 1RM atual e predito (~ 15 kg) por meio do método de dois pontos no exercício de *deadlift* com a utilização de tiras. Contudo, a acurácia da predição de 1RM não aumentou quando cargas múltiplas foram utilizadas para ajustar o modelo (i.e., 5 cargas). As cargas mais direcionadas para a velocidade variaram entre 40-50% 1RM, enquanto que as cargas mais direcionadas para força máxima variaram entre 70-90% 1RM.

Limiar mínimo de velocidade (LMV)

Dos 12 estudos que investigaram as relações carga-velocidade individuais, cinco estudos utilizaram a V1RM geral, dois estudos usaram a V1RM individual, três estudos utilizaram ambos V1RM geral e individual, um estudo usou a Vlast e um estudo incluiu V1RM geral, individual e Vlast. No geral, a maioria dos estudos que utilizaram a V1RM como LMV apresentaram um erro absoluto < 10 kg entre o 1RM atual e predito, mas em alguns casos o erro foi > 10 kg. Nos estudos que compararam o V1RM geral e individual, a acurácia da predição do 1RM não foi aumentada quando o V1RM individual foi usado ao invés do geral. Por outro lado, foi demonstrado que a Vlast fornece dados menos acurados para a estimativa do 1RM do que ambos os V1RM geral e individual.

DISCUSSÃO

Essa revisão sistemática teve como objetivo investigar a acurácia das relações carga-velocidade geral e individual para estimar a carga de 1RM nos exercícios resistidos. Os principais achados do presente estudo foram: (i) houve uma relação muito forte entre a velocidade do movimento e as cargas relativas nos exercícios resistidos, independente do parâmetro de velocidade e modelo de regressão (linear e polinomial de segunda-ordem); (ii) as relações carga-velocidade são específicas para cada exercício e suas variações e o sexo dos indivíduos; (iii) relações carga-velocidade individuais forneceram ajustes ainda melhores do que as equações gerais, independentemente do número de cargas. A velocidade de 1RM geral e individual forneceram estimativas mais acuradas da carga de 1RM em comparação com o Vlast. Portanto, as relações carga-velocidade podem ser utilizadas por profissionais de força e condicionamento como uma abordagem acurada e viável para prescrever e ajustar a carga de 1RM nos exercícios resistidos.

Relações carga-velocidade gerais

As relações carga-velocidade gerais foram investigadas em exercícios de membros superiores ($n = 19$) e inferiores ($n = 15$). No geral, a carga de 1RM foi estimada acuradamente pela velocidade do movimento em ambos os tipos de exercícios. Em relação aos exercícios de membros superiores, as relações de

carga-velocidade foram investigadas nos exercícios de supino e suas variações, desenvolvimento de ombros, remada pronada e barra fixa pronada, no qual relações carga-velocidade bastantes lineares foram reportadas (R^2 entre: 0,84 a 0,98). O supino reto e suas variações foram os exercícios de membros superiores mais investigados ($n = 15$). O número mais alto de investigações que incluíram o supino reto pode estar relacionado a suas características simples aos praticantes (LOTURCO et al., 2017a) e eficiência para aumentar o desempenho da força muscular de membros superiores (RODRÍGUEZ-ROSELL et al., 2020a). A maioria dos estudos reportaram relações carga-velocidade muito fortes no supino reto ($R^2 > 0,93$). Por exemplo, González-Badillo e Sánchez-Medina (2010) encontraram uma relação quase que perfeita entre a velocidade do movimento e %1RM ($R^2 = 0,98$; EPE < 4%) para o exercício de supino reto realizado no equipamento guiado. Além disso, foi demonstrado que a velocidade do movimento foi altamente estável após um período de seis semanas de TF, que resultou em um aumento médio de 9,3% na carga de 1RM.

A validação cruzada da equação de González-Badillo e Sánchez-Medina (2010) foi investigada por García-Ramos et al. (2018c) usando duas cargas absolutas (0,5 m/s [$\sim 80\%$ 1RM] e 1,0 m/s [$\sim 50\%$ 1RM]). Os autores encontraram uma relação muito forte ($r = 0,96$) sem diferenças entre a carga de 1RM real e predita no supino reto (apenas CON) quando cargas altas ($\sim 80\%$ 1RM) foram utilizadas para ambos parâmetros de VPM ($r = 0,88$; bias = 1,6 kg) e VM ($r = 0,94$; bias = 1,7 kg). Por outro lado, quando cargas mais leves ($\sim 50\%$ 1RM) foram utilizadas, uma diferença relativamente grande foi observada entre a carga de 1RM atual e predita para ambos os parâmetros de VPM ($r = 0,96$; bias = 10,7 kg) e VM ($r = 0,96$; bias = 11,8 kg). De forma similar, García-Ramos et al. (2019b) reportaram alta concordância entre a carga de 1RM atual e predita obtida por meio das equações de Loturco et al. (2021a) e Sanchez-Medina et al. (2014) no exercício de remada pronada quando cargas altas ($\sim 80\%$ 1RM; bias = 0,4 kg e 3,5 kg, respectivamente) foram utilizadas, mas não para cargas leves ($\sim 50\%$ 1RM viés = 10,6 e 14,7 kg, respectivamente). Além disso, a estimativa da carga de 1RM usando a carga mais próximas de 80% 1RM foi altamente reprodutível entre dias para ambas as equações (LOTURCO et al., 2021a; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014) (CCI = 0,91 [0,77 a 0,96]). As maiores diferenças em cargas leves encontradas nos estudos mencionados pode ser explicada pela maior

variabilidade entre os sujeitos para a velocidade alcançada contra cargas leves (GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; PESTAÑA-MELERO et al., 2018). Portanto, parece que para obter estimativas mais acuradas da carga de 1RM por meio das equações gerais seria importante considerar a utilização de cargas mais pesadas ($\geq 70\%$ 1RM). Estudos futuros são necessários para investigar a validação cruzada das equações carga-velocidade gerais disponíveis utilizando um intervalo de cargas submáximas para testar a validade e capacidade de generalização das equações para outras populações.

Em relação aos exercícios de membros inferiores, tem sido sugerido que a velocidade do movimento não deve ser utilizada para determinar a carga de 1RM em exercícios como o agachamento ou *deadlift*, o que pode estar associado com a maior complexidade do padrão de movimento em comparação com exercícios de membros superiores (i.e., supino reto) (BANYARD et al., 2018; WEAKLEY et al., 2021b). Contudo, dados das relações carga-velocidade gerais apresentaram relações muito fortes entre %1RM e a velocidade do movimento durante os exercícios de agachamento (R^2 entre: 0,94 a 0,97, na maioria dos casos), *deadlift* (R^2 entre: 0,91 a 0,99), *leg press* 45° ($R^2 = 0,96$) e *hip thrust* ($R^2 = 0,94$). O agachamento e *deadlift* estão entre os exercícios de membros inferiores com orientação de aplicação da força vertical mais prescritos nos programas de TF para aumentar a capacidade de força dos músculos extensores e flexores do joelho (HELD et al., 2020; NIGRO; BARTOLOMEI, 2020). Por outro lado, o *hip thrust* (i.e., orientação de aplicação da força horizontal) tem sido incorporado em diversas rotinas de TF para aumentar a força dos músculos extensores do quadril (DE HOYO et al., 2019). Tem sido demonstrado que esses aumentos da força nos membros inferiores podem ser transferidos positivamente para o aumento do desempenho físico (i.e., saltos, aceleração e sprints) (MENDIGUCHIA et al., 2015; NIGRO; BARTOLOMEI, 2020; SEITZ et al., 2014; SUCHOMEL; NIMPHIUS; STONE, 2016). De acordo com as relações carga-velocidade muito fortes encontradas nesses exercícios ($R^2 \geq 0,91$, na maioria dos casos), profissionais de força e condicionamento podem determinar com grande precisão a carga dos exercícios por meio da velocidade do movimento obtida durante repetições únicas realizadas no esforço máximo. Contudo, vale destacar que na maioria dos estudos (CONCEIÇÃO et al., 2016; GARCÍA-PINILLOS et al., 2019; LOTURCO et al., 2016a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a;

PALLARÉS et al., 2014; PAREJA-BLANCO; WALKER; HÄKKINEN, 2020), o exercício de agachamento foi realizado no equipamento guiado.

Thompson et al. (2020a) foram os primeiros a investigar a relação carga-velocidade geral no agachamento realizado com pesos livres e encontraram relações mais fracas entre %1RM e a velocidade do movimento (r entre: 0,83 a 0,96) e variações moderadas a alta entre os indivíduos. No entanto, precauções devem ser tomadas ao interpretar esses dados já que homens e mulheres foram agrupados na relação carga-velocidade e por causa do baixo número de participantes recrutados no estudo (homens = 8 e mulheres = 2). Portanto, se a relação carga-velocidade poderia ser usada para determinar a carga de 1RM no agachamento com pesos livres ainda é incerto e precisa de investigações mais detalhadas.

Tipo de exercício (Máquina e pesos livres)

A maioria dos estudos ($n = 26$) incluídos nessa revisão sistemáticas usaram exercícios na máquina. Uma consideração importante para a acurácia das medidas cinemáticas dos encoders é o deslocamento perpendicular da barra no levantamento, o que pode explicar o maior número de investigações utilizando a barra guiada em comparação com os exercícios com pesos livres (LOTURCO et al., 2021a). Contudo, os programas de TF comumente empregam ambos os tipos de exercícios; logo, é importante para os profissionais de força e condicionamento entender se essas variações nos exercícios podem resultar em relações carga-velocidade distintas. As relações carga-velocidade no exercício de remada pronada foram investigadas em barra guiada (SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014) e pesos livres (LOTURCO et al., 2021a). Nesses estudos, relações carga-velocidade muito fortes foram reportadas (barra guiada [$R^2 = 0,94$ a $0,95$; EPE = 5,31% a 5,90% 1RM]; e pesos livres [$R^2 = 0,90$ a $0,91$; EPE = 6,3% a 6,5 % 1RM]), independentemente do tipo de exercício. Além disso, Loturco et al. (2017a) investigaram as relações carga-velocidade no exercício supino reto em barra guiada e pesos livres, e não encontraram diferenças significativas entre a carga de 1RM atual e predita entre os tipos de exercícios (barra guiada [$R^2 = 0,97$]; 1RM atual = $118,1 \pm 20,5$ e 1RM predita = $117,4 \pm 20,7$; e pesos livres [$R^2 = 0,95$]; 1RM atual = $109,7 \pm 21,4$ e 1RM predita = $108,6 \pm 22,0$). Vale destacar que, a velocidade do movimento associada com a carga de 1RM no exercício

supino reto na barra guiada foi menor ($V1RM = 0,15$ m/s) do que com pesos livres ($V1RM = 0,18$ m/s), o que pode estar relacionado à maior carga absoluta levantada com a barra guiada comparado com os pesos livres (118,1 kg vs. 109,7 kg, respectivamente). De forma similar, Loturco et al. (2021a) reportaram relações carga-velocidade muito fortes para o exercício remada pronada na barra guiada ($R^2 > 0,86$) e pesos livres ($R^2 \geq 0,79$), independentemente do nível de força dos participantes. O melhor ajuste do modelo observado na barra guiada pode ser explicado pelo deslocamento horizontal limitado da barra em comparação com os pesos livres. Contudo, não foram encontradas diferenças relevantes entre a carga de 1RM atual e predita entre as variações da remada pronada (% erro < 5%). Coletivamente, os dados indicaram que a velocidade do movimento pode estimar acuradamente a carga de 1RM em ambos exercícios com barra guiada e com pesos livres, mas o perfil carga-velocidade distinto sugere que equações específicas para cada tipo de exercício devem ser utilizadas para estimar a carga de 1RM.

Vale destacar que, apenas um estudo (THOMPSON et al., 2020a) investigou a relação carga-velocidade no agachamento com pesos livres. Logo, são necessários estudos futuros que incluam distintas variações do agachamento com pesos livres (i.e., amplitude de movimentação e técnica de execução), assim como outros exercícios e suas variações (i.e., desenvolvimento de ombros).

Técnica de execução dos exercícios resistidos (Concêntrico vs. excêntrico-concêntrico)

Os estudos que investigaram a relação carga-velocidade utilizaram protocolos inserindo uma pausa entre as fases excêntricas e concêntricas do movimento (CON; $n = 22$) ou sem (EXC-CON; $n = 12$). Pallarés et al. (2014) reportaram uma relação muito forte entre a velocidade da barra e %1RM nos exercícios supino reto e agachamento completo, independentemente da técnica de execução realizada. Contudo, a velocidade do movimento alcançada em um intervalo de cargas submáximas foi maior para o EXC-CON no supino reto (30% a 75% 1RM) e agachamento (30% a 90% 1RM) em comparação a execução CON, mesmo com a fase excêntrica sendo realizada de forma controlada (i.e., 0,45 a 0,65 m/s). Considerando que o desempenho na fase inicial da porção

concêntrica do movimento é otimizado quando precedida de um rápido alongamento da musculara (i.e., ação excêntrica) em comparação a realizar a ação concêntrica apenas devido a participação do ciclo alongamento-encurtamento (CORMIE; MCGUIGAN; NEWTON, 2010; PALLARÉS et al., 2014), é possível assumir que ações excêntricas mais rápidas deve acentuar as diferenças entre as técnicas de execução.

García-Ramos et al. (2018a) reportaram relações muito fortes entre a velocidade da barra e %1RM ($R^2 > 0,96$; EPE = 3,96% a 4,95% 1RM) em quatro variações do supino reto realizadas num equipamento guiado (i.e., supino CON, supino com arremesso, supino EXC-CON e supino com arremesso EXC-CON), mas diferenças relativamente grandes foram encontradas entre as técnicas de execução (i.e., a fase excêntrica do movimento foi realizada na máxima velocidade) em um amplo intervalo de cargas submáximas (20% a 95% 1RM). De forma similar, Pérez-Castilla et al. (2020c) reportaram relações fortes entre a velocidade da barra e o %1RM em quatro variações do exercício agachamento (i.e., meio agachamento e agachamento com salto CON ou EXC-CON), mas as relações carga-velocidade foram específicas à técnica de execução, no qual velocidades maiores foram alcançadas num amplo intervalo de cargas submáximas (30% a 95% 1RM) quando a fase excêntrica do movimento foi realizada na máxima velocidade. Isto tem importantes aplicações práticas para os profissionais de força e condicionamento em relação a selecionar a técnica de execução do movimento mais apropriada de acordo com seus objetivos específicos no treino. Enquanto que a técnica apenas CON é comumente utilizada para melhorar o desempenho muscular concêntrico, a execução EXC-CON tem sido empregada em diversas rotinas de TF devido à sua maior especificidade com as atividades diárias e tarefas relacionadas ao esporte que dependem do ciclo de alongamento-encurtamento (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2021).

No geral, a velocidade da barra pode estimar acuradamente a 1RM em ambas as técnicas de execução (i.e., CON e EXC-CON), mas as relações carga-velocidade são específicas da técnica utilizada. Esses dados indicam que a mesma velocidade da barra pode representar uma grande diferença no %1RM dependendo da técnica de execução usada (i.e., VPM de 0.90 m/s é associada

à uma carga de 30% 1RM no meio agachamento CON e 50% 1RM na variação EXC-CON).

Relações carga-velocidade específicas ao sexo

As relações carga-velocidade generalizadas têm sido investigadas quase que exclusivamente em homens ($n = 28$ de 32 estudos) com um número limitado de evidências disponíveis sobre a estimativa da 1RM em mulheres. Embora a relação carga-velocidade seja capaz de estimar com grande precisão a 1RM em homens e mulheres, deve ser destacado que cada sexo apresenta perfis carga-velocidade distintos. Torrejón et al. (2018) compararam os perfis carga-velocidade entre os sexos no exercício supino reto e encontraram uma inclinação mais acentuada na relação carga-velocidade nos homens do que nas mulheres (i.e., $-0,0165$ versus $-0,0148$). Os homens alcançaram maiores velocidade contra carga leves, enquanto que as mulheres alcançaram maiores velocidade contra cargas mais pesadas (homens = $0,17$ m/s versus mulheres = $0,21$ m/s). Este perfil carga-velocidade distinto pode explicar o maior EPE e variação entre os sujeitos reportados em estudos prévios (BALSALOBRE-FERNÁNDEZ; GARCÍA-RAMOS; JIMÉNEZ-REYES, 2018; THOMPSON et al., 2020a), no qual homens e mulheres foram agrupados nas análises.

Recentemente, Pareja-Blanco et al. (2020) investigaram a validação e validação cruzada da relação carga-velocidade generalizada nos exercícios agachamento e supino reto na máquina. Os autores reportaram que os homens alcançaram maiores velocidade de barra contra cargas leve a moderadas para o supino reto ($< 75\%$ 1RM) e cargas leves a pesada no agachamento ($\leq 95\%$ 1RM). Estes dados podem explicar os maiores erros reportados quando a equação dos homens foi aplicada nas mulheres. Por outro lado, quando a equação desenvolvida para as mulheres (i.e., validação) foi usada em outro grupo de mulheres (i.e., validação cruzada) não foram observadas diferenças entre os erros absolutos e nível de concordância entre os grupos das mulheres. Coletivamente, estes dados destacam que equações específicas para cada sexo devem ser desenvolvidas para fornecer estimativas mais acuradas da 1RM já que o erro de uma equação geral desenvolvida para homens pode aumentar se ela for utilizada em mulheres. Além disso, as equações gerais baseadas na relação carga-velocidade específicas para mulheres foram investigadas apenas

em três exercícios resistidos (i.e., supino reto, agachamento e desenvolvimento de ombros) (GARCÍA-RAMOS; SUZOVIC; PÉREZ-CASTILLA, [s.d.]; PAREJA-BLANCO; WALKER; HÄKKINEN, 2020; TORREJÓN et al., 2018). Portanto, mais estudos incluindo mulheres e outros exercícios resistidos (i.e., *deadlift*, remada pronada e *hip thrust*) são necessários para incorporar a abordagem do TBV em mulheres.

Parâmetro de velocidade (VM, VPM e PV)

O parâmetro de velocidade usado para ajustar a relação carga-velocidade é uma das considerações metodológicas mais importantes relacionada ao paradigma do TBV. A VM (i.e., velocidade média registrada durante toda a porção concêntrica do movimento), VPM (i.e., a porção da fase concêntrica do movimento em que a aceleração da barra é maior do que a aceleração da gravidade) e PV (pico instantâneo da velocidade registrado durante a fase concêntrica) podem ser utilizadas para ajustar a relação carga-velocidade (GARCÍA-RAMOS et al., 2018b; SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). A maioria dos estudos incluíram a VM (n = 24), seguido da VPM (n = 22) e PV (n = 11). No geral, os nossos resultados demonstraram que todos os parâmetros de velocidade forneceram relações carga-velocidade muito fortes (R^2 intervalo = 0,79 a 0,98) e EPE aceitável ($\leq 5\%$ 1RM), apesar de que cada parâmetro resultou em relações carga-velocidade distintas. Portanto, parece que nenhum parâmetro é mais apropriado do que o outro para estimar o %1RM (CHÉRY; RUF, 2019; GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; HERNÁNDEZ-BELMONTE et al., 2021; MORÁN-NAVARRO et al., 2021). Contudo, os profissionais de força e condicionamento devem considerar que quando cargas leves a moderadas são levantadas, uma parte considerável da fase concêntrica é destinada a desacelerar a barra (i.e., fase de frenagem) (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014; SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Nesse sentido, indivíduos mais fortes irão experimentar maior fase de frenagem, o que pode subestimar seu verdadeiro potencial neuromuscular se a VM for usada, enquanto que poderá superestimar a capacidade dos indivíduos mais fracos (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Quanto maior a fase de frenagem no levantamento, maior será a diferença entre a VPM e VM (GONZÁLEZ-BADILLO;

SÁNCHEZ-MEDINA, 2010). Portanto, tem sido sugerido que a VPM deva ser preferida em relação a VM para monitorar a velocidade da barra para evitar subestimar a real capacidade neuromuscular do indivíduo (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2017; SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Por outro lado, caso a VPM não seja fornecida pelo dispositivo, a VM e a VP podem ser utilizadas para determinar com grande precisão a 1RM.

Modelos de regressão: Polinomial de segunda-ordem ou linear

A acurácia das relações carga-velocidade tem sido investigada em diversos exercícios resistidos usando modelos de regressão polinomiais ou lineares. Por exemplo, González-Badillo; Sanchez-Medina (2010) investigaram a relação carga-velocidade por meio da regressão polinomial no exercício supino reto guiado (CON) usando a VPM e VM. Por outro lado, García-Ramos et al. (2018a) analisaram a relação carga-velocidade no exercício supino reto guiado usando a VM para ajustar o modelo de regressão linear. Em ambos os estudos (GARCÍA-RAMOS et al., 2018a; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010), uma relação muito forte entre a velocidade da barra e %1RM foi reportada ($R^2 \geq 0.97$ e $EPE < 5\%$). Além disso, García-Ramos et al. (2019a) demonstraram que a diferença entre os modelos linear ($R^2 = 0,93$ a $0,95$) e polinomial ($R^2 = 0,93$ a $0,97$) foram triviais para o exercício remada pronada com pesos livres, independentemente dos parâmetros de velocidade usado (i.e., VPM, VM e PV). De forma similar, Pestaña-Melero et al. (2018) encontraram que as relações carga-velocidade são muito fortes no exercício supino reto (i.e., CON e EXC-CON) para ambos os modelos de regressão linear ($R^2 = 0,97$ a $0,98$) e polinomial ($0,97$ a $0,98$).

Coletivamente, estes dados demonstraram que as relações carga-velocidade podem estimar com grande precisão a 1RM, independentemente do modelo de regressão adotado. Nesse sentido, profissionais de força e condicionamento devem selecionar o modelo mais apropriados de acordo com sua preferência, mas tem sido sugerido que a regressão linear é mais simples de incorporar na rotina de treinamento do que o modelo polinomial (GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; PESTAÑA-MELERO et al., 2018).

Relação carga-velocidade individual

Número de incrementos no teste progressivo de carga

O número de incrementos para determinar a relação carga-velocidade individual nos exercícios resistidos variaram entre 2-8 cargas (i.e., ≥ 3 -cargas [método de múltiplo pontos] e 2-cargas [método de dois pontos]). O entendimento dos efeitos do número de incrementos na acurácia da relação carga-velocidade é importante para os profissionais de força e condicionamento incorporarem a abordagem do TBV em suas rotinas de treino. Já que a relação carga-velocidade é muito forte (CONCEIÇÃO et al., 2016; GARCÍA-RAMOS et al., 2018b; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010), tem sido sugerido que a velocidade da barra registrada contra apenas duas cargas (i.e., método de dois pontos) deve ser suficiente para ajustar a relação carga-velocidade individual (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c; GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). A premissa por trás dessa abordagem é aumentar o tempo-eficiência das relações da carga-velocidade no âmbito prático. García-Ramos et al. (2018c) encontraram que a relação carga-velocidade individual usando o método de dois pontos foi mais preciso (erros absolutos = -2,3 a 0,5 kg) do que equação geral prévia no exercício de supino reto (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010), especialmente quando carga leve foi usada (~50% 1RM; erros absolutos = 11,4 a -11,3 kg), mas não para carga pesada (~80% 1RM; erros absolutos = 1,8 a -5,5 kg). Além disso, quatro de cinco estudos (CAVEN et al., 2020; GARCÍA-RAMOS et al., 2019b, 2020a; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019b) incluídos nesta revisão apresentaram uma precisão aceitável (erro absoluto < 5 kg) para a estimativa da 1RM sem diferença para o método de múltiplos pontos (i.e., 4-8 incrementos). Esta ausência de diferença estatística entre os métodos de dois pontos e múltiplos pontos parece suportar a hipótese prévia de que incluir cargas moderadas devem resultar em desfechos similares devido a relação muito forte entre a velocidade da barra e %1RM (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018).

Estes resultados têm importante aplicação prática como um método válido e tempo-eficiente para estimar a 1RM. Por exemplo, considerando a flutuação diária nos níveis de força muscular, os profissionais de força e condicionamento pode usar o método de dois pontos durante a rotina de aquecimento para ajustar a prescrição da carga de acordo com o estado de prontidão diária do indivíduo.

Contudo, deve ser destacado que cargas extremas dentro do espectro da curva carga-velocidade (i.e., $\leq 50\%$ e $\geq 90\%$ 1RM) apresentaram baixa reprodutibilidade, provavelmente devido a participação da variação biológica ao longo das repetições (i.e., a capacidade do indivíduo replicar perfeitamente duas condições com o mesmo desempenho físico) (WEAKLEY et al., 2021a). Por outro lado, cargas variando de 45-85% 1RM parecem ser mais reprodutíveis (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a). Nesse sentido, os pontos mais enviesados para a velocidade são próximos de 50% 1RM, enquanto que os pontos mais enviesados para a força variam entre 70-90% 1RM (Quadro 1). Portanto, os profissionais de força e condicionamento podem selecionar 2-4 cargas variando entre 50-85% 1RM para estimar a carga do exercício a partir da relação carga-velocidade individual.

Embora os dados desta revisão pareçam suportar o uso do método de dois pontos como uma abordagem rápida, não-fatigante e válida para estimar a 1RM nos exercícios resistidos, os profissionais de força e condicionamento devem levar em consideração que a maioria dos estudos nesta revisão (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c, 2020a; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019b, 2020a) incluíram exercícios de membros superior e realizados em máquina (i.e., supino reto e remada pronada), enquanto que apenas dois estudos (CAVEN et al., 2020; JUKIC et al., 2020b) incluíram exercícios de membros inferiores e com pesos livres (i.e., agachamento e *deadlift*). Portanto, mais estudos incluindo diferentes exercícios resistidos e suas variações (i.e., CON e EXC-CON, amplitude de movimento e pesos livres) são necessários para suportar nossos resultados preliminares.

Tipos de limiar mínimo de velocidade (LMV)

Uma importante consideração metodológica para estabelecer as relações carga-velocidade é selecionar a LMV para estimar a 1RM. Tipicamente, as relações carga-velocidade são ajustadas pela velocidade da barra contra cargas submáximas (i.e., 3-8 cargas [método de múltiplos pontos] ou 2 cargas [método de dois pontos]). Independentemente do número de incrementos e modelo de regressão usado, a 1RM é estimada como a carga associada com a V1RM ou a Vlast. Nesse sentido, é importante determinar o LMV mais apropriado para fornecer estimativas mais acuradas da 1RM. Onze dos doze estudos que

investigaram a acurácia das relações carga-velocidade individuais usaram a V1RM como critério, enquanto que apenas dois estudos usaram a Vlast (GARCÍA-RAMOS et al., 2020a; LAKE et al., 2017). Desses estudos, foi observado que a V1RM forneceu estimativas mais acuradas da 1RM do que a Vlast. Por exemplo, Lake et al. (2017) usaram a velocidade da barra obtida na última repetição até a falha (i.e., Vlast a 70% e 80% 1RM) como critério e encontraram erros grandes entre a 1RM predita e real no exercício de *deadlift* (erros absolutos e [limites de concordância] = 16,3 [-14,1 a 46,7 kg] e 23,8 [0,47 a 47,1 kg] para 70% e 80% 1RM, respectivamente). Por outro lado, Ruf et al. (2018) reportaram menores erros absolutos na estimativa da 1RM selecionando a V1RM como critério no exercício de *deadlift* (erros absolutos variaram entre 3,4 e 7,5 kg). Vale destacar, que apenas um estudo (GARCÍA-RAMOS et al., 2020a) comparou diretamente a acurácia da estimativa da 1RM entre a V1RM e Vlast. García-Ramos et al. (2020a) analisaram a acurácia da relação carga-velocidade individual em duas variações do supino reto (CON e EXC-CON) e encontraram que a Vlast foi significativamente menos acurada ($p = 0,03$) do que a V1RM geral e individual para estimar a 1RM. Este maior erro absolutos encontrado para a Vlast pode ser explicado pela sua baixa reprodutibilidade e baixa correlação entre a Vlast e V1RM ($r < 0,4$), indicando que ambos os critérios não devem ser utilizados de forma intercambiável (GARCÍA-RAMOS et al., 2020b). Embora a reprodutibilidade de ambos V1RM e Vlast ainda seja controversa, os achados desta revisão sugerem que a V1RM deve ser selecionada como um critério mais apropriado para determinar a relação carga-velocidade individual (i.e., maior acurácia e menos fatigante) em comparação à Vlast.

Em relação a V1RM, há duas formas de ajustar as relações carga-velocidade, a V1RM geral e (i.e., a média da V1RM baseada em grupo) ou o V1RM individual. Nove estudos usaram a V1RM geral, enquanto que seis estudos incluíram a V1RM individual para estimar a 1RM. Além disso, três estudos (CAVEN et al., 2020; GARCÍA-RAMOS et al., 2020a; JUKIC et al., 2020b) compararam diretamente a acurácia da V1RM geral e individual. No geral, estes estudos reportaram que a estimativa da 1RM não foi significativamente melhorada quando a V1RM individual foi usada ao invés da V1RM geral para os exercícios supino reto (GARCÍA-RAMOS et al., 2020a), *deadlift* (JUKIC et al., 2020b) e agachamento (CAVEN et al., 2020). Caven et al.

(2020) compararam a predição da V1RM geral e individual em atletas femininas e não encontraram diferenças nos erros absolutos para os exercícios supino reto (geral = 2,6 a 3,8 kg e individual = 2,1 a 3,6 kg) e agachamento (geral = 7,8 a 9,7 kg e individual = 4,9 a 6,3 kg). De forma similar, Jukic et al. (2020b) encontraram erros absolutos similares entre a 1RM predita e real quando a V1RM geral e individual foram plotadas na relação carga-velocidade no exercício *deadlift* sem fitas (geral = 7,3 a 9,8 kg e individual = 6,6 kg) e com fitas (geral = 12,4 a 15,4 kg versus individual = 15,5 a 16,3 kg). Estes achados podem ser explicados pela baixa variabilidade intra- e entre-sujeitos para a velocidade alcançada na 1RM (GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; PESTAÑA-MELERO et al., 2018). Coletivamente, estes dados sugerem que profissionais de força e condicionamento devem estimar a 1RM usando a V1RM geral como um procedimento tempo-eficiente e menos fatigante já que esforços máximos no levantamento não serão necessários em nenhum momento. A V1RM reportada nessa revisão (Tabelas 3-4) podem ser úteis para os profissionais de força e condicionamento para ajustar as relações carga-velocidade.

APLICAÇÕES PRÁTICAS E DIREÇÕES FUTURAS

A relação carga-velocidade pode ser implementada como uma ferramenta prática e viável para auxiliar os profissionais de força e condicionamento para determinar se a carga prescrita para uma determinada sessão de treina representa o nível atual de esforço (%1RM) que foi planejada. Utilizar a velocidade da barra para prescrever e monitorar a carga do exercício fornece diversas vantagens que devem ser mencionadas:

1. A velocidade da barra pode determinar a %1RM que está sendo levantada durante uma única repetição realizada ao máximo esforço possível dentro da série, reduzindo a necessidade de realizar testes que consomem mais tempo e são mais fatigantes (i.e., 1RM ou xRMs);
2. O parâmetro de velocidade para cada exercício resistido pode ser selecionado de antemão de acordo com o estímulo aplicado ao praticante/atleta de acordo com o objetivo da sessão de treino e seu estado de prontidão;
3. A abordagem baseada na velocidade fornece dados objetivos para determinar como seus praticantes estão respondendo ao treino levando

em consideração a flutuação diária nos níveis de força sem perturbar sua rotina de treino;

4. Profissionais de força e condicionamento devem considerar que as relações carga-velocidade são específicas para cada exercício resistido e suas variantes, parâmetro de velocidade e sexo. Portanto, as equações gerais resumidas nessa revisão devem ser selecionadas antecipadamente considerando estes fatores;
5. As relações carga-velocidade individuais podem ser desenvolvidas para cada praticante/atleta para fornecer ajustes da carga ainda mais precisos considerando as mesmas condições que serão realizadas na sua rotina de treinamento;
6. As relações carga-velocidade podem ser ajustadas usando 2-4 cargas submáximas (50-85% 1RM), V1RM geral e usando o modelo de regressão linear para obter uma estimativa mais rápida e acurada da 1RM.

A partir dessa revisão, é recomendado que:

1. Estudos futuros são necessários para investigar a validação cruzada das equações carga-velocidade gerais em outras populações (i.e., atletas de elite) e dispositivos de medida (i.e., *T-Force*, *GymAware*, *Speed4Lifts*) usando um amplo intervalo de cargas submáximas para um melhor entendimento da capacidade de extrapolação das equações previamente publicadas;
2. As relações carga-velocidade foram investigadas quase que exclusivamente em homens adultos treinados. Mais investigações são necessárias em mulheres e adolescentes com diferentes níveis de experiência no TF para auxiliar os profissionais de força e condicionamento a incorporar a abordagem baseada na velocidade na sua rotina de treino;
3. Considerando que o deslocamento linear da barra é um aspecto importante para a acurácia da relação carga-velocidade, a maioria dos estudos foram conduzidos em equipamentos guiados. Contudo, para ampliar o uso da abordagem baseada na velocidade, mais investigações usando pesos livres e exercícios unilaterais são necessárias (i.e., agachamento e suas variações).

CONCLUSÕES

Esta revisão sistemática encontrou que a velocidade da barra pode ser utilizada para estimar a 1RM com grande precisão em diversos exercícios resistidos multi-articulares. As relações fortes entre carga-velocidade reportada nesse estudo permitem os profissionais de força e condicionamento a prescrever e ajustar a carga do exercício diariamente. Desta forma, a abordagem baseada na velocidade é sugerida como uma alternativa válida, rápida e simples a avaliação direta de 1RM e RMs. O modelo de regressão e número de cargas usados para ajustar as relações carga-velocidade têm efeito negligenciável na acurácia do modelo. Contudo, as relações carga-velocidade parecem ser específicas para cada exercício e suas variações, parâmetro de velocidade e sexo. Portanto, os profissionais de força e condicionamento devem considerar essas variáveis quando implementarem o paradigma do TBV em suas rotinas de treinamento.

4.2 Artigo 2 - Análise da relação carga-velocidade e carga-potência nos exercícios de agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal

Resumo

O objetivo do presente estudo foi analisar a relação carga-velocidade e carga-potência nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal. Vinte e cinco ($n = 25$) homens treinados em força (idade = $23,7 \pm 2,8$ anos) realizaram um teste de carga progressiva na máxima velocidade intencional para determinar a carga de uma repetição máxima (1RM). A velocidade média propulsiva (VPM) durante a fase concêntrica do movimento foi registrada por meio de um *encoder* linear. A relação carga-velocidade e carga-potência foram modeladas por meio de regressão linear e polinomial de segunda-ordem, respectivamente. A carga de 1RM, VPM (30-80% 1RM) e potência mecânica (30-90% 1RM) foram maiores para o exercício *deadlift* em comparação com o agachamento ($p < 0,05$). Relação muito forte entre a velocidade do movimento e a carga relativa foi encontrada para ambos os exercícios agachamento ($R^2 = 0.963$) e *deadlift* ($R^2 = 0.967$). Para ambos os exercícios, o perfil carga-velocidade individual forneceu estimativas mais acuradas do 1RM ($R^2 > 0.98$). A carga referente à potência mecânica máxima (Pmax) foi $64,6 \pm 2,9\%$ 1RM (agachamento) e $59,6 \pm 1,1\%$ 1RM (*deadlift*). Houve um intervalo amplo de cargas em que a potência mecânica não foi diferente da Pmax (agachamento: 40-80% 1RM; *deadlift*: 50-70% 1RM). Em conclusão, a relação carga-velocidade e carga-potência podem auxiliar os profissionais de força e condicionamento para monitorar e autorregular a carga dos exercícios agachamento e *deadlift* de acordo com o paradigma do treino baseado em velocidade.

Palavras-chave: cinemática, exercício resistido, treinamento baseado em velocidade, potência mecânica, teste de força.

Abstract

The aim of this study was to analyze the load-velocity and load-power relationships in the free-weight back-squat (BSQ) and hexagonal bar deadlift (HBD) exercises. Twenty-five ($n = 25$) resistance-trained men (age = 23.7 ± 2.8 years old) performed a progressive load test at maximal intended velocity to determine their BSQ and HBD one-repetition maximum (1RM). Mean propulsive velocity (MPV) during the concentric phase of the lift was recorded through a linear encoder. Load-velocity and load-power relationships were analyzed by fitting linear regression and second-order polynomial to data, respectively. Maximum strength (1RM), MPV (30-80% 1RM), and power output (30-90% 1RM) were higher for HBD compared to BSQ exercise ($p < 0.05$). A very strong relationship between MPV and relative intensity was reported for both BSQ ($R^2 = 0.963$) and HBD ($R^2 = 0.967$) exercises. The load that maximizes power output (P_{max}) was $64.6 \pm 2.9\%$ (BSQ) and $59.6 \pm 1.1\%$ (HBD) 1RM. There was a range of loads at which power output was not different than P_{max} (BSQ: 40-80% 1RM; HBD: 50-70% 1RM). In conclusion, the load-velocity and load-power relationships might assist strength and conditioning coaches to monitor and prescribe exercise intensity in the BSQ and HBD exercises using the velocity-based training approach.

Keywords: kinematic; resistance exercise; velocity-based training; power output; strength testing.

INTRODUÇÃO

A carga do exercício é uma das variáveis de prescrição mais importante no treino de força (TF) para aumentar a força muscular (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005). A carga associada com uma repetição máxima (1RM) e o número máximo de repetições (RMs) estão entre os principais parâmetros de referência para determinar a carga do exercício (BIRD; TARPENNING; MARINO, 2005; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010). Embora a avaliação direta da carga de 1RM e RMs sejam consideradas válidas e eficazes para a prescrição da carga no TF (SUCHOMEL et al., 2021; THOMPSON et al., 2020b), seu uso é frequentemente associado com algumas desvantagens que podem limitar a sua implementação na rotina de treino dos praticantes (i.e., alto consumo de tempo, flutuações diárias, rápidas adaptações ao TF) (DANKEL et al., 2017; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; RICHENS; CLEATHER, 2014; SUCHOMEL et al., 2021).

O treinamento baseado em velocidade (TBV) tem sido proposto como uma alternativa viável ao método tradicional de prescrição de carga (1RM ou RMs) para fornecer informações em tempo real para auxiliar a prescrição e ajuste da carga do exercício em diversos exercícios resistidos devido a relação inversa e muito forte entre a carga do exercício e a velocidade do movimento (R^2 : 0,94 a 0,98) (CONCEIÇÃO et al., 2016; GARCÍA-RAMOS; SUZOVIC; PÉREZ-CASTILLA, [s.d.]; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; JUKIC et al., 2020a). A relação carga-velocidade permite aos profissionais de força e condicionamento determinar facilmente qual o %1RM está sendo levantado pelo registro da velocidade da barra durante uma única repetição realizada no esforço máximo (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Esses dados destacam a necessidade para investigações adicionais da relação carga-velocidade nos exercícios resistidos comumente empregados nos programas de TF para implementar com sucesso a abordagem do TBV.

O agachamento livre e *deadlift* estão entre os exercícios resistidos mais comuns usados para aumentar a capacidade de força dos músculos extensores e flexores do joelho (NIGRO; BARTOLOMEI, 2020). Diferentes formas de exercício (i.e., equipamento guiado vs. peso livre, amplitude de movimento, e tipo de equipamento) produzem respostas cinemáticas e relações carga-

velocidade distintas (LOTURCO et al., 2017a, 2021a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; RODILES-GUERRERO; PAREJA-BLANCO; LEÓN-PRADOS, 2020). Por exemplo, estudos prévios mostraram que modificar a amplitude do agachamento (i.e., completa vs. meia) resultou em diferentes padrões biomecânicos, desenvolvimento de força, e respostas cinemáticas (CONCEIÇÃO et al., 2016; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a). A relação carga-velocidade nos exercícios agachamento guiado e *deadlift* com barra tradicional já foram descritos previamente (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; JUKIC et al., 2020a; LOTURCO et al., 2016a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021; PÉREZ-CASTILLA et al., 2020c). Contudo, as relações carga-velocidade e carga-potência nas variações do agachamento (i.e., peso livre) e *deadlift* com barra hexagonal são limitadas.

Apesar da popularidade de ambos exercícios agachamento e *deadlift* entre os profissionais de força e condicionamento e praticantes de TF, para o nosso conhecimento, nenhum estudo comparou as respostas cinemáticas entre estes dois exercícios. De uma perspectiva mecânica, alterar a posição da barra pode modificar as respostas cinemáticas e cinéticas no levantamento (LOCKIE et al., 2018; SWINTON et al., 2011, 2012). Por exemplo, quando uma carga externa é colocada sobre os ombros para realizar o agachamento, um maior braço de momento devido a quantidade de inclinação do tronco pode resultar em menor eficiência do deslocamento vertical da barra no levantamento (SWINTON et al., 2012). De um ponto de vista prático, as equações fornecidas nesse estudo poderão permitir os profissionais de força e condicionamento a incorporar o paradigma do TBV para os exercícios de agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal.

Outra importante aplicação do registro da velocidade da barra é a determinação das cargas que maximizam a potência mecânica, definida como “zona ótima de potência” (LOTURCO et al., 2020), por meio da relação carga-potência (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021). Há evidências suportando a efetividade do treinamento na “zona ótima de potência” para aumentar a força muscular (LOTURCO et al., 2016b, 2020). Identificar esses intervalos de cargas pode auxiliar os profissionais de força e condicionamento em determinar os limites superiores e inferiores de cargas

capazes de produzir alta potência mecânica ao invés de utilizar apenas uma única “carga ótima” (LOTURCO et al., 2020).

Diante do exposto, os objetivos do presente estudo foram: (i) determinar a acurácia da velocidade do movimento para estimar a carga de 1RM por meio das relações carga-velocidade geral e individual nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal; e (ii) comparar a relação carga-velocidade e carga-potência de ambos exercícios em homens treinados em força. De acordo com a relação carga-velocidade muito forte reportada previamente (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; CONCEIÇÃO et al., 2016; MORÁN-NAVARRO et al., 2021), foi desenvolvida a hipótese de que a velocidade do movimento iria estimar acuradamente o 1RM, com a relação carga-velocidade individual resultando em estimativas mais acuradas do que as equações gerais. Além disso, devido as diferentes características mecânicas entre os exercícios (SWINTON et al., 2012), ainda foi criada a hipótese de que as relações carga-velocidade e carga-potência seriam exercício-dependente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Participantes

Vinte e cinco homens treinados em força com idade entre 18-30 anos (idade = $23,7 \pm 2,8$ anos; massa corporal = $81,3 \pm 8,4$ kg; altura = $1,77 \pm 0,1$ m) participaram voluntariamente nesse estudo. Todos os participantes tinham experiência no TF de $4,4 \pm 1,3$ anos, com uma frequência de treino de 2-5 sessões por semana nos últimos 12 meses, e eram capazes de realizar ambos os exercícios com a técnica correta. Todos os participantes não apresentaram lesões musculares durante o período do estudo. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa local e seguiu a Declaração de Helsinque. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Delineamento do estudo

Os participantes foram requeridos a comparecer as instalações para as avaliações em três visitas, com ~48h separando as visitas 1 e 2, e pelo menos 1 semana de recuperação entre as visitas 2 e 3. A primeira visita englobou uma sessão de familiarização (2 séries de 8 e 6 repetições com 40 e 60 kg para ambos os exercícios), e as visitas 2 e 3 incluíram a avaliação do teste de 1RM para os

exercícios de agachamento e *deadlift* (ordem randomizada) usando um *encoder* linear para registrar as variáveis mecânicas. Cada visita foi precedida por um aquecimento padronizada (10 min), que incluiu alongamento dinâmicos e mobilidade articular (3 min), corridas leves (5 min), e uma série de aquecimento específico para cada exercício (1 série de 8 repetições com 40 kg [agachamento] e 43 kg [*deadlift*], separados por dois minutos de recuperação). Os participantes foram requeridos a comparecer cada visita num estado de boa recuperação (i.e., ≥ 8 horas de sono, manter os hábitos alimentares e evitar exercícios físicos vigorosos e bebidas contendo álcool e cafeína nas últimas 24h que antecederam os testes). As sessões do teste foram realizadas das 14:00 as 18:00 h, no mesmo horário do dia para cada indivíduo (± 1 hora).

Procedimentos dos testes

Após o aquecimento, os indivíduos repousaram durante 2 min antes de iniciar o teste de carga progressiva (1RM). A carga inicial do teste foi de 30 kg e 43 kg para o agachamento e *deadlift*, respectivamente. Carga aumentou em 20 kg até alcançar uma velocidade média propulsiva (VPM) de 0,8 m/s e 0,6 m/s para o agachamento e *deadlift*, respectivamente, seguidos de incrementos de 10-5 kg (VPM = 0,8-0,5 m/s e 0,6-0,4 m/s para o agachamento e *deadlift*, respectivamente), e 5-1 kg até a carga de 1RM ser determinada. Três repetições foram realizadas para cargas leves (VPM $> 0,8$ m/s), duas para moderadas (VPM = 0,5-0,8 m/s), e uma para pesadas (VPM $< 0,5$ m/s), com um período de recuperação entre séries de 2 min para cargas leves, 3 min para moderadas e 4 min para pesadas. Cada participante recebeu feedback em tempo real da velocidade da barra e encorajamento verbal para realizar o esforço máximo a cada repetição. A VPM mais rápida em cada série foi registrada para análise.

A fase excêntrica do movimento foi executada de maneira contínua e controlada (2-3 s) com uma pausa momentânea ($\sim 1,5$ s) entre a transição da fase excêntrica para a concêntrica para minimizar a contribuição do efeito do ciclo alongamento-encurtamento e fornecer dados mais acurados para ambos os exercícios (PALLARÉS et al., 2014). A duração da fase excêntrica e isométrica foi ritmada pelo investigador principal. Isso foi previamente praticado durante a sessão de familiarização. Flexão plantar do tornozelo foi permitida ao final do movimento para as cargas leves e moderadas em ambos os exercícios, mas não

foi permitido perder contato com o solo (i.e., saltar). Se a repetição falhasse em atender esses critérios, a série foi descartada e repetida após 3 min de recuperação. Isso foi supervisionado visualmente por um dos pesquisadores examinando a técnica apropriada do levantamento durante o teste.

O agachamento foi realizado de acordo com recomendações prévias (PÉREZ-CASTILLA et al., 2020c). Os participantes começaram de uma posição em pé, com os joelhos e quadril completamente estendidos, a posição do pé aproximadamente na largura dos ombros e ligeiramente para fora. Essa posição foi individualmente ajustada e replicada em cada repetição. Desta posição, os participantes flexionaram o joelho até $\sim 90^\circ$ (determinado por uma banda elástica colocada paralelamente ao solo por um tripé) e estenderam completamente os membros inferiores ao final do levantamento. O exercício de *deadlift* com barra hexagonal começou com a barra no solo com uma pegada alta seguindo recomendações prévias (LOCKIE et al., 2018). Os ombros deveriam estar alinhados com a pegada e o quadril mais baixo do que os ombros. A posição dos pés afastada aproximadamente na largura dos ombros, com ambos os pés apontando ligeiramente para fora. Desta posição, os participantes foram instruídos a se manter em posição ereta com os joelhos completamente estendidos e ombros retraídos por 1,5 s (extensão completa dos braços, joelho e quadril) ao final do levantamento. A barra foi posicionada no solo por 1,5 s antes da transição da fase excêntrica e concêntrica. Cintos e fitas de empunhaduras não foram permitidos (JUKIC et al., 2020a).

Equipamento de medição e registro dos dados

Um transdutor linear de posição (Speed4lifts®, Madrid, Espanha) foi acoplado a barra para medir a cinemática durante o levantamento. O sistema mede o deslocamento do cabo em resposta a mudanças na posição da barra durante a fase concêntrica do movimento com uma taxa de frequência de 100 Hz (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020). Os dados de velocidade registrado se referem a VPM (i.e., porção da fase concêntrica em que a aceleração medida $[\alpha]$ é maior do que a aceleração da gravidade $[\alpha \geq -9,81 \text{ m/s}^2]$) (SANCHEZ-MEDINA; PEREZ; GONZALEZ-BADILLO, 2010). Para calcular a potência mecânica, a velocidade da barra (VPM) e o peso do sistema (barra + anilhas multiplicado pela aceleração da gravidade $[\alpha]$) foram considerados (PICERNO et al., 2016):

$$P = (carga\ levantada \cdot \alpha) \cdot VPM$$

O sistema Speed4Lifts® v.4.1 demonstrou ser válido e reproduzível para registrar a velocidade do movimento para cargas moderadas e altas, com um erro absoluto abaixo do critério máximo aceitável (< 5% 1RM) (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a).

Análise estatística

Foram utilizadas estatísticas descritivas para calcular média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (%CV), erro padrão da estimativa (EPE), e intervalo de confiança (IC 95%) das medidas. As relações carga-velocidade e carga-potência foram analisadas por meio de modelos de regressão linear e polinomial de segunda-ordem em todos os pontos registrados, respectivamente. Os ajustes dos modelos foram analisados por meio do coeficiente de determinação (R^2) e seus respectivos IC 95%.

A acurácia da relação carga-velocidade geral foi obtida usando a carga mais próxima de 80% 1RM e cargas entre 30-80% 1RM foram usadas para estimar a carga de 1RM pela relação carga-velocidade individual (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020). O limiar de velocidade mínimo considerado foi o limite superior da V1RM obtido pela equação geral (i.e., agachamento [0,31 m/s] e *deadlift* [0,30 m/s] para estimar a carga de 1RM por meio da relação carga-velocidade individual (Tabela 3). Após determinar o percentual relativo a carga de 1RM relacionada a carga selecionada (~80% 1RM) por meio da equação geral, a seguinte equação foi aplicada para determinar a carga de 1RM (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c):

$$1RM = \frac{Carga\ (Kg) \times 100}{\%1RM}$$

O teste t pareado foi utilizado para comparar a VPM obtida em cada carga relativa a 1RM entre os exercícios. A concordância entre o 1RM atual e predito foi avaliado por meio do coeficiente de correlação intra-classe, plotagem de Bland-Altman e seus limites de concordância 95%. Uma análise de variância (ANOVA) de duas vias (exercício x carga) foi usada para comparar a potência mecânica em diferentes cargas relativas ao 1RM e massa corporal. Teste de *Bonferroni* a posteriori foi utilizado para identificar as comparações por pares. As

análises foram realizadas no software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, IBM Corporation®, Nova York, EUA). O nível de significância estabelecido foi de 5%.

RESULTADOS

A carga de 1RM dos 25 participantes incluídos nesse estudo foi $123,20 \pm 13,63$ kg (agachamento) e $149,00 \pm 19,77$ kg (*deadlift*). A carga de 1RM normalizada pela massa corporal dos participantes foi de $1,54 \pm 0,24$ (agachamento) e $1,86 \pm 0,29$ (*deadlift*). O número médio de tentativas durante o teste progressivo foi de 8,3 cargas (intervalo: 7-10) para o agachamento e 8,5 tentativas (intervalo: 7-10) para o *deadlift*.

Relação carga-velocidade

A Figura 8 mostra os resultados da regressão linear, modelando a VPM contra cada carga relativa %1RM para ambos os exercícios agachamento e *deadlift* para todos os pontos registrados (agachamento = 210; e *deadlift* = 211). Uma relação carga-velocidade inversa e muito forte foi encontrada para os exercícios agachamento ($R^2 = 0,963$; EPE = 4,84%) e *deadlift* ($R^2 = 0,967$; EPE = 4,42%). A relação carga-velocidade individual forneceu melhores ajustes para ambos os exercícios agachamento ($R^2 = 0,983 \pm 0,01$) e *deadlift* ($R^2 = 0,989 \pm 0,01$) em comparação com as equações gerais.

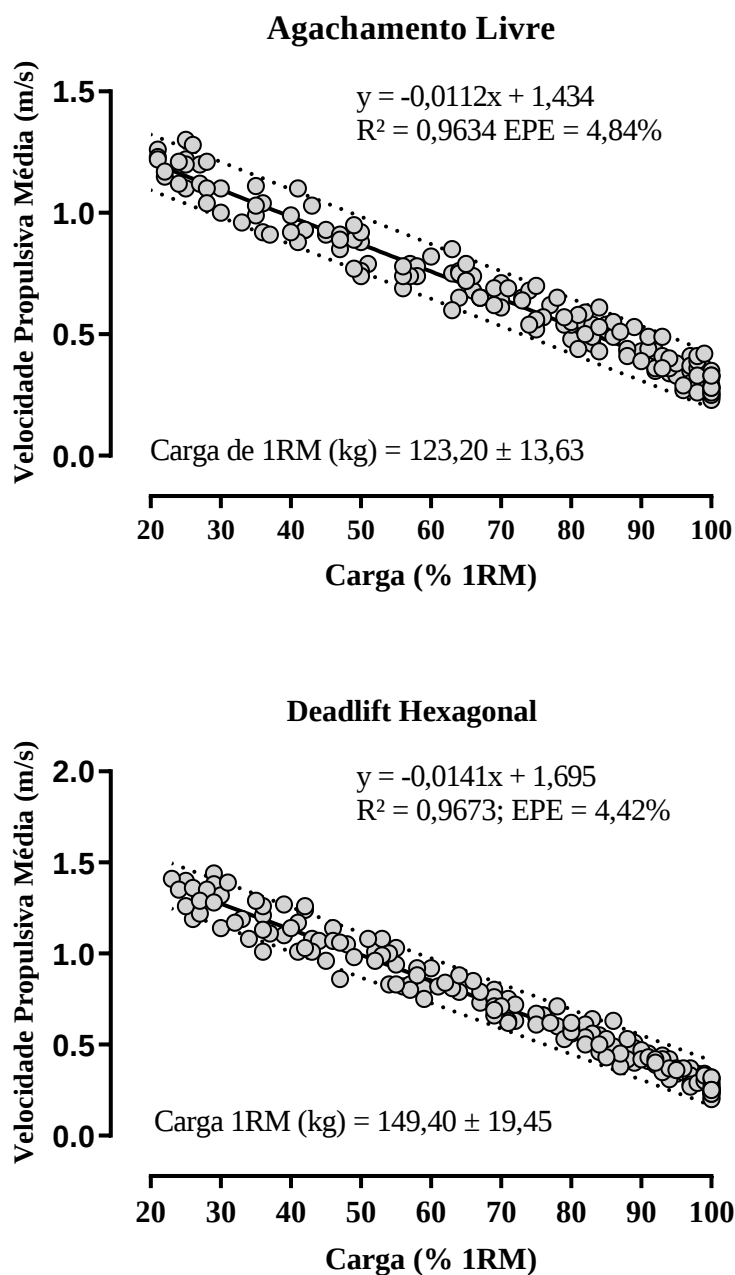


Figura 8. Relação carga-velocidade geral para os exercícios agachamento livre e *deadlift* hexagonal. Linha sólida mostra a curva ajustada aos dados e as linhas pontilhadas indicam o intervalo de confiança 95%.

A plotagem de Bland-Altman mostrou alta concordância entre o 1RM atual e predito para ambos os exercícios agachamento (CCI = 0,968; 95% IC = 0,928 a 0,986) e *deadlift* (CCI = 0,981; 95% IC = 0,831 a 0,994), usando equações gerais (Figura 9). A relação carga-velocidade individual mostrou maior concordância do que a equação geral para ambos os exercícios agachamento

(CCI = 0,987; 95% IC = 0,785 a 0,997) e *deadlift* (CCI = 0,989; 95% IC = 0,810 a 0,997).

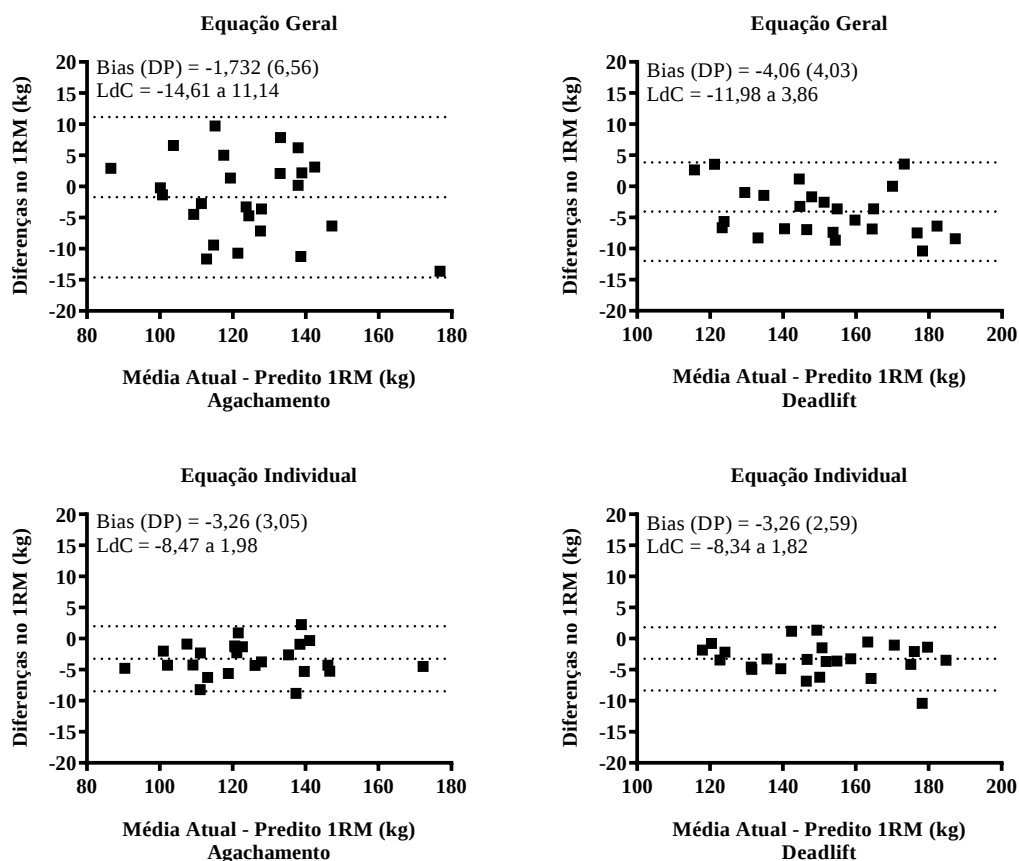


Figura 9. Plotagem de Bland-Altman entre a carga de 1RM atual e predita obtida pela relação carga-velocidade geral e individual para os exercícios agachamento livre e *deadlift* hexagonal. DP = desvio padrão; LC = limites de concordância.

Predição da carga relativa por meio da velocidade média propulsiva

As seguintes equações foram obtidas pela regressão linear para estimar a carga de 1RM nos exercícios de agachamento e *deadlift*:

Carga do agachamento (%1RM) = $-85,638 \text{ VPM} + 125,43$ ($R^2 = 0,963$; $EPE = 4,84\%$)

Carga do deadlift (%1RM) = $-68,648 \text{ VPM} + 118,79$ ($R^2 = 0,967$; $EPE = 4,42\%$)

Dados da VPM e coeficiente de variação entre-sujeitos alcançados para cada carga relativa de 30% até 1RM obtidos pela relação carga-velocidade geral,

em incrementos de 5% 1RM, são apresentados na Tabela 3. A VPM alcançada em cargas abaixo de 80% 1RM foram maiores para o exercício *deadlift* ($p < 0,05$) em comparação ao agachamento.

Relação carga-potência

A carga que maximizou a potência mecânica (P_{max}) foi $64,6 \pm 2,9\%$ 1RM (CV = 4,56%) e $59,6 \pm 1,1\%$ 1RM (CV = 1,83%) para o agachamento e *deadlift*, respectivamente (Figura 10). Contudo, não foi encontrada diferença estatística para um amplo intervalo de cargas submáximas para o agachamento (40-80% 1RM) e *deadlift* (50-70% 1RM) em comparação a P_{max} ($p > 0,05$). Maior potência mecânica foi encontrada para o *deadlift* em comparação ao agachamento em na maioria das cargas submáximas (30-90% 1RM; $p < 0,05$) (Figura 10a). Além disso, a P_{max} relativa ao percentual de massa corporal dos participantes foi $95,7 \pm 10,4\%$ (CV = 10,86%) e $106,4 \pm 10,9\%$ (CV = 10,25%) para o agachamento e *deadlift*, respectivamente. Apesar disso, não foi observada diferença estatística para um amplo intervalo de percentual de massa corporal para o agachamento (~65-123%) e *deadlift* (~80-132%) em comparação a P_{max} ($p > 0,05$) (Figura 10b).

Tabela 3. Velocidade média propulsiva alcançada em cargas relativas ao 1RM nos exercícios agachamento e *deadlift* (Média e desvio padrão).

Agachamento Livre				Deadlift Hexagonal			
Carga (%1RM)	VPM (m/s)	95% IC (m/s)	CV (%)	VPM (m/s)	95% IC (m/s)	CV (%)	P-Valor
30	1,09 ± 0,07	1,06 a 1,12	6,60	1,29 ± 0,12	1,24 a 1,33	8,95	< 0,001
35	1,03 ± 0,07	1,00 a 1,06	6,54	1,21 ± 0,11	1,17 a 1,26	8,83	< 0,001
40	0,97 ± 0,06	0,95 a 1,00	6,47	1,14 ± 0,10	1,10 a 1,18	8,70	< 0,001
45	0,92 ± 0,06	0,90 a 0,94	6,40	1,07 ± 0,09	1,03 a 1,11	8,55	< 0,001
50	0,86 ± 0,05	0,84 a 0,89	6,33	1,00 ± 0,08	0,97 a 1,03	8,39	< 0,001
55	0,81 ± 0,05	0,79 a 0,83	6,26	0,93 ± 0,08	0,90 a 0,96	8,21	< 0,001
60	0,75 ± 0,05	0,73 a 0,77	6,20	0,86 ± 0,07	0,83 a 0,88	8,00	< 0,001
65	0,70 ± 0,04	0,68 a 0,71	6,15	0,78 ± 0,06	0,76 a 0,81	7,78	< 0,001
70	0,64 ± 0,04	0,62 a 0,66	6,11	0,71 ± 0,05	0,69 a 0,73	7,54	< 0,001
75	0,58 ± 0,04	0,57 a 0,60	6,12	0,64 ± 0,05	0,62 a 0,66	7,29	0,001
80	0,52 ± 0,03	0,52 a 0,54	6,19	0,57 ± 0,04	0,55 a 0,59	7,04	0,017
85	0,47 ± 0,03	0,46 a 0,48	6,37	0,50 ± 0,03	0,48 a 0,51	6,85	0,120
90	0,42 ± 0,03	0,40 a 0,43	6,73	0,43 ± 0,03	0,42 a 0,44	6,84	0,537
95	0,36 ± 0,03	0,35 a 0,37	7,40	0,36 ± 0,03	0,34 a 0,37	7,28	0,872
100	0,30 ± 0,03	0,29 a 0,31	8,57	0,29 ± 0,02	0,28 a 0,30	8,75	0,334

VPM = velocidade média propulsiva; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação.

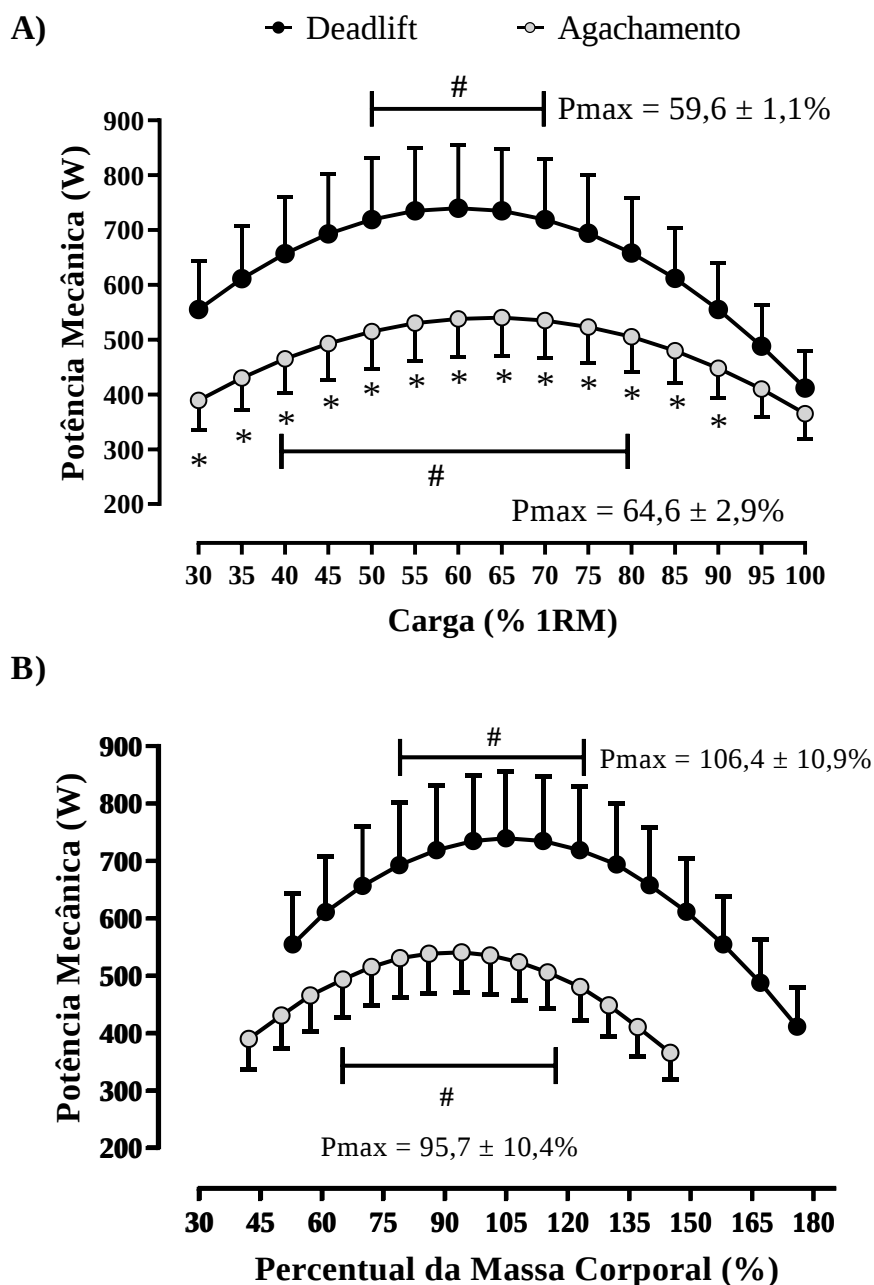


Figura 10. Relação carga-potência para os exercícios agachamento livre e *deadlift* hexagonal de acordo com a carga relativa ao 1RM (A) e percentual da massa corporal (B) P_{max} = carga que maximizou a potência mecânicas; # = intervalos de cargas em que a potência mecânica não foi diferente da P_{max} ; * = diferença significativa entre os exercícios para a mesma carga relativa.

DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo foram: (a) a relação carga-velocidade em ambos exercícios agachamento e *deadlift* foi fortemente linear, o que permite prescrição acurada da carga a partir da velocidade do movimento; (b) a

relação carga-velocidade e carga-potência foram exercício-dependente e o *deadlift* hexagonal apresentou maiores resultados de cinemáticas em um amplo intervalo de cargas submáximas ($< 90\%$ 1RM); (c) as cargas que maximizaram a potência mecânica foram $\sim 66\%$ 1RM para o agachamento e $\sim 60\%$ 1RM para o *deadlift*, contudo, não foram observadas diferenças estatísticas para um amplo intervalo de cargas submáximas para o agachamento (40-80% 1RM) e *deadlift* (50-70% 1RM) em comparação a Pmax.

A relação carga-velocidade muito forte nos exercícios agachamento livre e *deadlift* hexagonal ($R^2 > 0,96$; EPE $< 5\%$ 1RM) confirmam a nossa primeira hipótese de que a velocidade do movimento pode estimar acuradamente o 1RM. Essa afirmação é reforçada pelo baixo CV encontrada para a VPM alcançada em cada carga relativa ao 1RM ($< 10\%$) e a alta concordância entre o 1RM atual e predito (CCI $> 0,96$) em ambos exercícios. A diferença na VPM entre os incrementos de 5% 1RM foi $\sim 0,06$ m/s (agachamento) e $\sim 0,07$ m/s (*deadlift*). Do ponto de vista prático, isso significa que mudanças na velocidade da barra de $\pm 0,06$ m/s (agachamento) e $\pm 0,07$ m/s (*deadlift*) podem representar a necessidade de ajustar a carga de treino ($\pm 5\%$ 1RM).

A forte relação carga-velocidade nos exercícios de agachamento guiado (CONCEIÇÃO et al., 2016; LOTURCO et al., 2016a; MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a) e *deadlift* tradicional (BENAVIDES-UBRIC et al., 2020; JUKIC et al., 2020a; MORÁN-NAVARRO et al., 2021) já foram descritos, e o presente estudo estendeu o conhecimento para as suas variações (i.e., peso livre e com barra hexagonal, respectivamente). Realizar o agachamento no equipamento guiado limita o deslocamento horizontal da barra no levantamento, o que pode aumentar a predição do modelo (LOTURCO et al., 2021a). Apesar disso, nossos achado mostraram que a abordagem baseada na velocidade também pode ser utilizada para estimar a carga de 1RM no agachamento livre ($R^2 = 0,96$). De forma similar, para o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a mostrar que a velocidade da barra pode estimar a carga de 1RM na variação do *deadlift* com barra hexagonal ($R^2 = 0,96$). Considerando que o agachamento livre e o *deadlift* com barra hexagonal são comumente prescritos nos programas de TF para aumentar a força de membros inferiores (HELD et al., 2020; NIGRO; BARTOLOMEI, 2020), nossos resultados têm importante aplicação prática ao fornecer equações gerais para auxiliar os profissionais de força e condicionamento para incorporar o paradigma do TBV nesses exercícios.

A relação carga-velocidade individual apresentou um ajuste ligeiramente melhor (mas não relevante) do modelo ($R^2 > 0,98$ vs $R^2 > 0,96$, para a equação geral). Isso não é surpresa já que as equações gerais não consideram diferenças nas características dos sujeitos que podem afetar as variáveis cinemáticas durante o levantamento (i.e., idade e perfil antropométrico) (FERNANDES; LAMB; TWIST, 2018; PÉREZ-CASTILLA et al., 2020a). Contudo, em termos práticos, é importante considerar o quão relevante essas ligeiras diferenças entre as relações carga-velocidade individual e geral são em relação à prescrição de treino ou ajuste da carga. Por exemplo, estudos prévios já demonstraram a eficiência das equações gerais para induzir adaptações de força muscular (PAREJA-BLANCO et al., 2017b; RISCART-LÓPEZ et al., 2021). No ambiente prático, os profissionais de força e condicionamento buscam implementar métodos válidos para prescrever a carga do exercício, mas também abordagens simples e fáceis para determinar como os seus praticantes estão respondendo ao treinamento. Consequentemente, nós sugerimos que as equações gerais fornecidas no presente estudo podem ser seguramente usadas para prescrever e ajustar a carga do exercício como uma abordagem amigável e de economia de tempo.

Confirmando a segunda hipótese do estudo, a relação entre %1RM e a velocidade do movimento foi exercício-dependente ($\leq 80\%$ 1RM; $p < 0,05$). O exercício *deadlift* produziu maior potência mecânica em um amplo intervalo de cargas submáximas em comparação ao agachamento (30-90% 1RM; $p < 0,05$). Portanto, a força aplicada contra cargas leves-moderadas foi maior durante o exercício *deadlift*, já que menor %1RM maior a diferença de VPM entre os dois exercícios. Essa diferença na velocidade da barra pode ser explicada pela posição vantajosa da carga externa no levantamento quando o *deadlift* hexagonal é realizado (i.e., posição do tronco mais ereta, deslocamento horizontal da barra reduzido e menor braço de resistência) comparado com a barra posicionada nos ombros para realizar o agachamento (LOCKIE; LAZAR, 2017; SWINTON et al., 2011, 2012). Portanto, parece que o *deadlift* com barra hexagonal pode ser prescrito para alterar o padrão do movimento, exigências musculares e cinemáticas durante os programas de TF. Estudos futuros são necessários para investigar como essas vantagens cinemáticas podem traduzir em adaptações adicionais ao treinamento.

Apesar da clara diferença nas repostas mecânicas entre os exercícios, foi observado que as cargas associadas com a Pmax ocorreram em cargas relativas bem

próximas para o agachamento ($\sim 65\%$ 1RM; VPM = $\sim 0,70$ m/s) e *deadlift* ($\sim 60\%$ 1RM; VPM = $\sim 0,86$ m/s). Contudo, as cargas entre 40-80% 1RM (agachamento) e 50-70% 1RM (*deadlift*) não foram diferentes estatisticamente em relação a Pmax (Figura 3). Esses dados suportam fortemente os achados de estudo prévios em que a potência mecânica foi bastante similar em um amplo intervalo de cargas leves-moderadas em outros exercícios resistidos como o supino reto (20-60% 1RM) (SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014), bench pull (20-70% 1RM) (SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014), *deadlift* tradicional (40-80% 1RM) (MORÁN-NAVARRO et al., 2021) e agachamento guiado (25-85% 1RM) (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2019a). Esses resultados levantam alguns questionamento sobre o quanto de atenção tem sido dado para a determinação de uma única “carga ótima” (LOTURCO et al., 2017b; PALLARÉS et al., 2014; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014). Isso é suportado por estudos prévios que demonstraram melhoras na capacidade de força e potência por meio do uso de um amplo intervalo de carga moderadas (55-70% 1RM) (RODRÍGUEZ-ROSELL et al., 2021) a cargas pesadas (70-85% 1RM) (PAREJA-BLANCO et al., 2017b). Do ponto de vista prático, esses dados podem ser utilizados para a prescrição da carga nos exercícios de acordo com o objetivo individual do programa de TF (i.e., ênfase na aplicação de força contra altas ou baixas cargas).

Embora haja um número crescente de dispositivos disponíveis para mensurar variáveis cinemáticas nos exercícios resistidos, eles podem não ser acessíveis para muitos praticantes de TF. Quando esses dispositivos não estejam disponíveis, uma possível alternativa para os profissionais de força e condicionamento é prescrever a carga de treino baseado no percentual da massa corporal dos praticantes (LOTURCO et al., 2017b). Ao plotar a potência mecânica pelo percentual de massa corporal dos indivíduos, os dados mostraram que o percentual de massa corporal que maximizou a potência mecânica foi $95,7 \pm 10,4\%$ (CV = 10,86%) e $106,4 \pm 10,9\%$ (CV = 10,25%) para o agachamento e *deadlift*, respectivamente. Apesar da variabilidade moderada entre os sujeitos, os resultados também não mostraram diferenças estatísticas na potência mecânica para um amplo intervalo de percentual de massa corporal em ambos exercícios agachamento (65-123% da massa corporal) e *deadlift* (80-132% da massa corporal). Então, embora uma avaliação mais objetiva seja necessária, essa abordagem pode ser considerada uma alternativa mais viável e prática para os profissionais de força e condicionamento prescreverem a carga do exercício quando esses dispositivos não estejam disponíveis (LOTURCO et al., 2017b).

Apesar das novidades do presente estudo, algumas limitações devem ser mencionadas. Os participantes são treinados em força (população capaz de levantar $\sim 1,5 \times$ [agachamento] e $\sim 1,8 \times$ [deadlift] sua massa corporal), o que limita a extrapolação dos achados para indivíduos com maior experiência no TF e níveis de força. Além disso, apenas homens foram incluídos no estudo e futuras investigações devem analisar a relação carga-velocidade e carga-potência em mulheres. Apenas transdutores lineares de posição foram utilizados para mensurar variáveis cinemáticas no estudo e seria relevante utilizar sistemas de análise de movimento e ativação muscular para fornecer a entendimento mais detalhado do padrão biomecânico e de ativação muscular durante o levantamento entre os exercícios investigados.

Do ponto de vista prático, o uso da velocidade do movimento investigado no presente estudo pode auxiliar os profissionais de força e condicionamento na prescrição e monitoramento da carga do treino dos seus praticantes em tempo real e de forma regular. Por exemplo, uma VPM alvo pode ser escolhida antecipadamente durante o aquecimento de acordo com o objetivo específico da sessão de treino. Além disso, o intervalo de cargas leves-moderadas que produziram potência mecânica similar a Pmax levanta alguns questionamentos sobre a efetividade de determinar uma única “carga ótima” para o desenvolvimento da força e potência muscular. Coletivamente, esses dados podem auxiliar os profissionais de força e condicionamento para implementar a velocidade do movimento como uma abordagem viável para estimar acuradamente as cargas dos exercícios investigados. Por fim, se dispositivos como os transdutores lineares não estiverem disponíveis, os profissionais de força e condicionamento podem usar o percentual da massa corporal dos indivíduos como uma alternativa para prescrever a carga dos exercícios, mesmo considerando a variabilidade moderada entre os sujeitos.

CONCLUSÕES

Em resumo, nós encontramos que a relação carga-velocidade geral foi fortemente linear, o que permite a predição acurada da carga de 1RM a partir da velocidade do movimento registrada durante uma única repetição realizada no esforço máximo. Além disso, o *deadlift* com barra hexagonal induziu maior potência mecânica do que o agachamento, mas o intervalo de cargas submáximas que maximizaram a potência mecânica ocorreu em cargas %1RM bem próximas. Portanto, os profissionais de força e condicionamento podem usar as relações carga-velocidade e

carga-potência fornecidas nesse estudo como uma abordagem rápida e fácil para prescrever e ajustar a carga do exercício regularmente durante os programas de TF.

4.3 Artigo 3. Efeitos da seleção das cargas na estimativa da carga de uma repetição máxima em exercícios de membros inferiores a partir da relação carga-velocidade individual

Resumo

O objetivo do presente foi comparar o efeito do número de cargas submáximas (2-, 3-, 4- e 6-cargas) na estimativa de uma repetição máxima a partir da relação carga-velocidade individual nos exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal. Vinte e cinco homens treinados em força (idade: $23,7 \pm 2,8$ anos; massa corporal: $81,3 \pm 8,4$ kg; razão 1RM/massa corporal: agachamento – $1,54 \pm 0,24$ e *deadlift* $1,86 \pm 0,29$) completaram duas avaliações direta da carga de 1RM nos exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal em ordem randomizada. Um *encoder* linear registrou a velocidade propulsiva da barra durante um teste incremental para determinar a relação carga-velocidade individual. A relação carga-velocidade individual a partir de 2, 3, 4 e seis cargas submáximas estimaram a carga de 1RM. Comparações entre o 1RM real e predito pelos quatro métodos de cargas submáximas foram conduzidas para avaliar a acurácia dos modelos. Diferenças estatísticas entre o 1RM atual e predito foram encontradas para o exercício agachamento usando os métodos de 2-cargas ($p = 0,046$; erro absoluto = $6,69 \pm 4,39$ kg; TE = -0,23; pequeno), 3-cargas ($p = 0,022$; erro absoluto = $6,56 \pm 4,18$ kg; TE = -0,24; pequeno); 4-cargas ($p = 0,030$; erro absoluto = $5,39 \pm 3,51$ kg; TE = -0,22; pequeno) e 6-cargas ($p < 0,001$; erro absoluto = $3,52 \pm 2,38$ kg; TE = -0,17; trivial). Não foram encontradas diferenças entre o 1RM atual e predito para o exercício *deadlift*, independentemente, do método de predição usado ($p > 0,05$; erro absoluto $\leq 5,6$ kg; TE $< 0,20$; trivial). Não foram observadas diferenças entre os métodos de predição ($p > 0,05$). Predições acuradas da carga de 1RM podem ser obtidas nos exercícios agachamento e *deadlift* a partir da relação carga-velocidade individual por meio de diferentes cargas submáximas (2-6 cargas). O método de 6-cargas é recomendado para predições mais acuradas, enquanto que 2-, 3-, 4-cargas são alternativas mais rápidas e menos fatigantes.

Palavras-chave: força dinâmica máxima, treino de força, treino resistido, treinamento baseado em velocidade.

INTRODUÇÃO

A carga máxima que pode ser levantada em única repetição (1RM) é tradicionalmente usada como um parâmetro para a quantificação e prescrição da carga no treino de força (TF) (KRAEMER; RATAMESS, 2004). A avaliação direta da carga de 1RM inclui um teste de tentativa e erro com cargas incrementais até uma repetição incompleta devido à falha muscular concêntrica (BROWN; WEIR, 2001). Embora a avaliação direta da carga de 1RM ser amplamente recomendada como uma referência para prescrever as cargas durante o programa de TF (CORMIE; MCGUIGAN; NEWTON, 2011; KAWAMORI; HAFF, 2004; KRAEMER; RATAMESS, 2004), essa abordagem tradicional apresenta algumas limitações para sua implementação de forma regular. Por exemplo, o teste de 1RM é impraticável em grupos de praticantes devido a sua aplicação que consome muito tempo e induz fadiga excessiva que podem potencialmente comprometer o estado de prontidão do indivíduo nas sessões de treino subsequentes (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018; GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). Nesse sentido, o uso de métodos indiretos para estimar a carga de 1RM baseada na relação carga-velocidade torna possível superar algumas das desvantagens associadas ao método tradicional (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; MCBURNIE et al., 2019). Nessa abordagem, a carga de 1RM é estimada por meio do registro da velocidade da barra por meio de dispositivos tecnológicos (i.e., transdutores lineares) contra cargas submáximas (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; MCBURNIE et al., 2019).

A estimativa da carga de 1RM através da relação carga-velocidade tem sido amplamente investigada nos últimos anos (MCBURNIE et al., 2019; WEAKLEY et al., 2021b). Nestas investigações, uma relação linear inversa e quase perfeita tem sido reportada entre a velocidade do movimento e a carga relativa (%1RM) em diversos exercícios resistidos como, o agachamento (CONCEIÇÃO et al., 2016; GANTOIS et al., 2023; LOTURCO et al., 2016a), *deadlift* (GANTOIS et al., 2023; MORÁN-NAVARRO et al., 2021), *leg press* (CONCEIÇÃO et al., 2016), *hip-thrust* (DE HOYO et al., 2019), supino reto (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010; LOTURCO et al., 2017a; SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014), remada deitada (SÁNCHEZ-MEDINA et al., 2014), remada inclinada (LOTURCO et al., 2021a) e barra fixa (MUÑOZ-LÓPEZ et al., 2017). Estes estudos propuseram o uso de equações

gerais para estimar a carga de 1RM por meio da velocidade obtida contra uma determinada carga submáxima (CONCEIÇÃO et al., 2016; DE HOYO et al., 2019; GANTOIS et al., 2023; GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010). Contudo, a relação carga-velocidade é específica para cada exercício (CONCEIÇÃO et al., 2016; GANTOIS et al., 2023; LOTURCO et al., 2021a), técnica de execução (e.g., presença ou ausência do ciclo alongamento-encurtamento) (PÉREZ-CASTILLA et al., 2020c) e características individuais dos praticantes (GARCÍA-RAMOS; SUZOVIC; PÉREZ-CASTILLA, [s.d.]). Estas limitações podem comprometer a acurácia e aplicação das equações gerais para estimar a carga de 1RM (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018; MCBURNIE et al., 2019; WEAKLEY et al., 2021b). Aplicar a relação carga-velocidade individual para estimar a carga de 1RM é uma alternativa metodológica capaz de superar essas desvantagens das equações gerais (BANYARD et al., 2018; GARCÍA-RAMOS et al., 2019a; MCBURNIE et al., 2019).

Estudo prévios indicaram que as relações carga-velocidade individuais têm alta acurácia e reprodutibilidade para estimar a carga de 1RM (GARCÍA-RAMOS et al., 2019b, 2019a; GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). A relação carga-velocidade individual é frequentemente determinada pelo registro da velocidade contra cargas submáximas que variam entre duas ou mais cargas (BANYARD et al., 2018; ÇETIN et al., 2022; GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). A depender do número de cargas usada para desenvolver o perfil carga-velocidade, o método pode consumir mais tempo, ser mais exaustivo e impraticável para o treino de grandes grupos ou ajustar regularmente a carga de treino (i.e., diária/semanalmente) (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c; GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). Considerando que a relação carga-velocidade individual tem um forte relação linear, aplicar modelos de regressão a partir de menor número de cargas (2-, 3- ou 4-cargas) representa uma alternativa prática e tempo eficiente (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c; GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018), já que a estimativa da carga de 1RM permanece acurada.

A acurácia da estimativa da carga de 1RM a partir da relação carga-velocidade individual com diferentes cargas já foi investigada nos exercícios supino reto (PÉREZ-CASTILLA et al., 2020b), desenvolvimento de ombros (SORIANO et al., 2022), *deadlift* tradicional (ÇETIN et al., 2022) e agachamento (ÇETIN et al., 2022). Contudo, os efeitos do número de cargas na acurácia da estimativa da carga de 1RM a partir da relação carga-velocidade individual não é completamente entendida. Por exemplo, parece que os dados sobre a acurácia na estimativa da carga de 1MR são

controversos quando comparados entre exercícios de membros superiores e inferiores. O método de 2-cargas e cargas múltiplas (> 3 cargas) apresentaram alta acurácia na estimativa da carga de 1RM durante exercícios de membros superiores, sem diferenças entre eles (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c; GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). Por outro lado, o método de 3-, 4- e ≥ 5 -cargas podem não ser acurados para estimar a carga de 1RM no exercício de agachamento (BANYARD et al., 2018). No exercício *deadlift* tradicional, os métodos de 2-cargas ou cargas múltiplas apresentaram erros de estimativa maior do que 5 kg (JUKIC et al., 2020b). Mais recentemente, Çetin et al. (2022) compararam variações do método de 2-cargas (40-60%, 40-80%, 40-90%, 60-80% e 60-90% 1RM) vs 4-cargas nos exercícios de agachamento e *deadlift* tradicional. No agachamento, o método de cargas múltiplas ($R^2 = 0,77$) e variações do método de 2-cargas à 60-80% 1RM ($R^2 = 0,84$) e 40-90% 1RM ($R^2 = 0,70$) apresentaram correlações fortes, enquanto que a variação de 2-cargas a 40-60% 1RM apresentou correlações quase perfeitas com a carga de 1RM atual ($R^2 = 0,96$). No *deadlift*, o método de cargas múltiplas ($R^2 = 0,86$) e variações de 2-cargas a 40-80% 1RM ($R^2 = 0,81$) e 60-80% 1RM ($R^2 = 0,73$) apresentaram correlações muito fortes com a 1RM atual. As outras variações do método de 2-cargas 40-90% 1RM ($R^2 = 0,94$) e 60-90% 1RM ($R^2 = 0,91$) apresentaram correlações quase perfeitas com a 1RM atual ($R^2 \geq 0,96$). Nesse sentido, os autores sugeriram usar os métodos de cargas múltiplas e 2-cargas com cargas relativas mais altas (i.e., $\sim 90\%$ 1RM) para estimar a carga de 1RM.

Apesar de alguns estudos prévios terem investigado a validade dos métodos de carga múltiplas e 2-cargas para estimar a carga de 1RM em exercícios de membros inferiores (ÇETIN et al., 2022; JUKIC et al., 2020b), não é do nosso conhecimento, estudos que compararam os efeitos da seleção de diferentes cargas submáximas (2-, 3-, ≥ 4 -cargas) na estimativa da carga de 1RM nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal no mesmo estudo. O número de cargas empregadas na relação carga-velocidade individual tem importantes aplicações práticas já que pode ser uma alternativa prática e tempo-eficiente aos profissionais de força e condicionamento para estimar acuradamente a carga de 1RM. Portanto, o presente estudo tem como objetivo comparar a acurácia de quatro métodos com diferentes cargas submáximas (2-, 3-, 4- e 6-cargas) na estimativa da carga de 1RM a partir da relação carga-velocidade individual nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal. Devido à alta linearidade da relação carga-velocidade, foi levantada

a hipótese de que a adição de pontos intermediários não melhoraria a precisão da relação modelada (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018).

MÉTODOS

Delineamento do estudo

O presente estudo é caracterizado por um delineamento transversal e comparou a acurácia de diferentes métodos de predição da carga de 1RM a partir da relação carga-velocidade individual nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal. A velocidade da barra foi registrada contra diferentes cargas relativas (%1RM) durante um teste progressivo até a carga de 1RM. As velocidades registradas e suas respectivas cargas relativas foram usadas para determinar o perfil carga-velocidade completo dos indivíduos. Os participantes compareceram às salas de condicionamento em três visitas não-consecutivas, separadas por ~48 horas entre as visitas 1 e 2, e pelo menos uma semana entre as visitas 2 e 3. Antes das avaliações da carga de 1RM, os participantes realizaram uma sessão de familiarização aos procedimentos do estudo e protocolos dos exercícios (2 séries de 8 [40 kg] e 6 [60 kg] repetições para ambos os exercícios). As duas visitas restantes incluíram a avaliação direta da carga de 1RM nos exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal em uma ordem de apresentação aleatória. A avaliação da carga de 1RM foi precedida por um protocolo de aquecimento padronizado (~10 min) e começou após um período de 2 minutos de recuperação passiva. Todos os participantes foram requisitados a chegar em cada visita em um estado de boa recuperação (i.e., ~8 horas de sono e manter os hábitos nutricionais regulares) e se abster de qualquer forma de exercício físico vigoroso e bebidas alcoólicas nas 24 horas que antecederam o protocolo de avaliação. As sessões do teste ocorreram na mesma hora do dia para cada participante (± 1 hora) para evitar efeitos do ciclo circadiano (CHTOUROU et al., 2012).

Participantes

Vinte e cinco homens adultos treinados em força com idade entre 18-30 anos (idade = $23,7 \pm 2,8$ anos; massa corporal = $81,3 \pm 8,4$ kg; altura = $1,77 \pm 0,1$ m) participaram do estudo. O processo de amostragem foi intencional e não-probabilístico. Todos os participantes tinham experiência prévia com o treino de força ($4,4 \pm 1,3$ anos, com uma frequência de treino de 2-5 sessões por semana) e podiam

realizar os exercícios agachamento e deadlift com barra hexagonal com técnica adequada. As razões 1RM/massa corporal foram $1,54 \pm 0,24$ (agachamento) e $1,86 \pm 0,29$ (deadlift com barra hexagonal). Os participantes não tinham lesões musculares ou articulares prévias nos últimos seis meses que antecederam o início dos procedimentos do estudo. Um comitê de ética e pesquisa da universidade local aprovou o presente estudo (nº 4.085.259). Os procedimentos do estudo seguiram as recomendações contidas na Declaração de Helsinque (2013). Após serem informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo, todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Procedimentos de avaliação

Os procedimentos dos testes seguiram protocolos previamente publicados (GANTOIS et al., 2023). Os participantes realizaram um teste progressivo até a carga de 1RM em ambos os exercícios de agachamento e deadlift com barra hexagonal. O teste de 1RM foi conduzido 2 minutos após a realização de um protocolo de aquecimento padronizado. Os testes começaram com uma carga externa fixa de 30 kg e 43 kg para os exercícios de agachamento e deadlift com barra hexagonal, respectivamente. As cargas foram aumentadas em 20 kg até alcançar uma VPM de 0,8 m/s e 0,6 m/s para o meio agachamento e deadlift hexagonal, respectivamente, seguidos de incrementos menores de 10-5 kg (VPM = 0,8-0,5 m/s e 0,6-0,4 m/s para o agachamento e deadlift) e 5-1 kg até determinar a carga de 1RM. Para cargas leves (VPM > 0,8 m/s) foram realizadas três repetições, duas repetições para carga moderadas (VPM = 0,8-0,5 m/s) e uma repetição para cargas pesadas (VPM < 0,5 m/s). O período de recuperação entre séries foi de 2 min para cargas leves, 3 min para moderadas e 4 minutos para cargas pesadas (JUKIC; TUFANO, 2020). O número médio de tentativas durante o teste de 1RM foi 8,3 cargas (intervalo: 7-10 cargas) para o agachamento e 8,5 tentativas (intervalo: 7-10 cargas) para o deadlift com barra hexagonal. Apenas a repetição mais rápida registrada pela VPM de cada carga foi usada para as análises subsequentes (GONZÁLEZ-BADILLO; SÁNCHEZ-MEDINA, 2010).

O exercício agachamento foi realizado com o tronco em posição ereta com os pés posicionados na largura dos ombros e ligeiramente para fora. A barra foi colocada

na porção superior do músculo trapézio. A partir dessa posição, os participantes agacharam até o quadril ficar paralelo ao solo (determinado por uma banda elástica e tripé), e então, estenderam completamente as pernas ao final do levantamento (FONSECA et al., 2020).

Durante o *deadlift* com barra hexagonal, o levantamento começou com a barra apoiada no solo; e então, os participantes foram instruídos a levantar a barra evitando um contra movimento do quadril. Uma pegada alta autoselecionada alinhada ao ombro foi utilizada e mantida em cada repetição. Os pés foram posicionados na largura dos ombros, com os pés apontando ligeiramente para fora (LOCKIE; LAZAR, 2017). A partir dessa posição, os participantes levantaram a barra até alcançar uma posição ereta com os joelho e quadril completamente estendidos e os ombros retraídos (extensão completa dos braços, joelhos e quadril) ao final do levantamento, o que deveria ser mantido por 1,5 s para validar o levantamento. Cintos e tiras de punho não foram permitidos.

Em ambos os exercícios, a fase excêntrica do movimento foi executada em uma maneira contínua e controlada (2-3 s) com uma pausa momentânea (barra mantida isometricamente [agachamento] e barra apoiada ao solo [*deadlift*]) antes de completar a fase concêntrica do levantamento na máxima velocidade intencional após um comando verbal fornecido pelo pesquisador principal do estudo). Esta pausa teve como objetivo minimizar a contribuição do efeito rebote e aumentar a reprodutibilidade das medidas (PALLARÉS et al., 2014). Os participantes foram instruídos a manter os pés em contato com o solo (i.e., não saltar), enquanto a flexão plantar ao final do movimento foi permitida (PAREJA-BLANCO; WALKER; HÄKKINEN, 2020). Cada participante recebeu feedback em tempo real sobre a velocidade da barra e foram encorajados a realizar todas as repetições com o máximo esforço na fase concêntrica do levantamento.

Aquisição e análise dos dados

Um transdutor linear posicional validado (Speed4lifts, Madrid, Espanha) registrou a VPM de todas as repetições (WEAKLEY et al., 2021a). O cabo do dispositivo foi acoplado no lado direito da barra entre a empunhadura e as anilhas usando uma tira de velcro. A VPM durante o levantamento foi registrada a uma taxa de frequência de 100 Hz (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020). Os dados obtidos pelo dispositivo foram transmitidos por meio de uma conexão *bluetooth* para um *Smartphone Android* usando o aplicativo *Speed4Lift®* v.4.1. Reprodutibilidade

aceitável intra- e entre-sessões para cargas moderada a pesadas foram reportadas previamente para esse dispositivo (MARTÍNEZ-CAVA et al., 2020; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a).

Os dados de 2-cargas (~40% e ~80% 1RM), 3-cargas (~40%, 60% e 80% 1RM), 4-cargas (~40%, 50%, 70% e 80% 1RM) e 6-cargas (~30-80% 1RM) foram usados para modelar as relações carga-velocidade individuais. As duas cargas mais distantes foram selecionadas para modelar a relação carga-velocidade por meio do método de 2-cargas conforme recomendações prévias (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). Devido à alta linearidade da relação carga-velocidade, tem sido sugerido que usar carga intermediárias não iria melhorar a acurácia do modelo; sendo assim, nós incluímos uma (3-cargas) e duas (4-cargas) cargas intermediárias para investigar essa hipótese. As cargas intermediárias usadas no presente estudo foram similares à estudos prévios que examinaram a relação carga-velocidade individual em outros exercícios resistidos multi-articulares (CAVEN et al., 2020; JANICIJEVIC et al., 2021; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a). Dados descritivos das cargas e VPM do presente estudo são apresentados na Tabela 4. O limiar mínimo de velocidade (LMV) utilizado para estimar a carga de 1RM (agachamento = 0,30 m/s e *deadlift* = 0,29 m/s) para cada modelo de regressão linear foram baseado em um estudo prévio (GANTOIS et al., 2023). O uso da velocidade associada à carga de 1RM (V1RM) geral é um procedimento válido e viável para estimar a carga de 1RM em ambos os métodos de cargas múltiplas e 2-cargas (GARCÍA-RAMOS et al., 2019b). Além disso, foi previamente demonstrado que o uso do V1RM geral resultou em estimativas comparáveis na carga de 1RM do que o V1RM individual em outros exercícios resistidos (CAVEN et al., 2020; JANICIJEVIC et al., 2021; JUKIC et al., 2020b).

Tabela 4. Dados descritivo das cargas empregadas para determinar a relação carga-velocidade individual.

Exercício	Modelo de Predição	Carga Relativa (%1RM)	Carga Absoluta (kg)	Carga Relativa (% Massa Corporal)	VPM (m/s)
Agachamento	2-cargas	40%	47,8 ± 8,5 (30,0 a 70,0)	57,8 ± 9,9 (33,7 a 78,7)	1,00 ± 0,07
		80%	100,5 ± 14,9 (80,0 a 140,0)	121,1 ± 13,7 (109,8 a 157,3)	0,50 ± 0,05
	3-cargas	40%	-	-	-
		60%	79,6 ± 11,8 (60,0 a 100,0)	95,8 ± 10,0 (80,4 a 118,6)	0,66 ± 0,06
		80%	-	-	-
	4-cargas	40%	-	-	-
		50%	70,2 ± 9,1 (50,0 a 90,0)	85,0 ± 11,4 (70,4 a 101,1)	0,80 ± 0,06
		70%	91,4 ± 12,1 (70,0 a 120,0)	110,5 ± 13,1 (94,1 a 134,8)	0,62 ± 0,05
		80%	-	-	-
	6-cargas	30-80%	-	-	-
Deadlift	2-cargas	40%	60,4 ± 8,6 (43,0 a 83,0)	73,1 ± 10,6 (50,6 a 92,2)	1,12 ± 0,10
		80%	122,1 ± 15,1 (93,0 a 143,0)	147,4 ± 14,6 (121,1 a 168,5)	0,55 ± 0,06
	3-cargas	40%	-	-	-
		60%	87,3 ± 13,1 (63,0 a 103,0)	105,6 ± 14,9 (74,1 a 137,3)	0,87 ± 0,09
		80%	-	-	-
	4-cargas	40%	-	-	-
		50%	80,4 ± 8,6 (63,0 a 103)	97,4 ± 11,6 (74,1 a 114,4)	0,94 ± 0,09
		70%	104,6 ± 14,6 (83,0 a 123,0)	126,3 ± 14,9 (97,6 a 153,8)	0,70 ± 0,06
		80%	-	-	-
	6-cargas	30-80%	-	-	-

Dados entre parênteses representam os valores mínimos e máximos.

Análise estatística

Os dados são apresentados em média e desvio padrão ($\pm$). As relações carga-velocidade foram modeladas por meio da regressão linear usando uma planilha de excel customizada (Windows versão 10.0). A validade dos métodos de predição em

comparação com a carga de 1RM atual foi analisada a partir da magnitude das mudanças absoluta, tamanho do efeito (TE), coeficiente de correlação intra-classe (CCI) e plotagem de Bland-Altman. O teste t para amostra pareada foi usado para comparar a carga de 1RM atual e predita. O *d* de Cohen foi adotado como medida de TE e calculado a partir da razão entre a diferença média e o desvio padrão da diferença (DANKEL; LOENNEKE, 2021). A magnitude do TE foi interpretada como a seguir: trivial $\leq 0,20$; $0,20 < \text{pequeno} \leq 0,50$; $0,50 < \text{moderado} < 0,80$; e $0,80 < \text{grande}$ (COHEN, 1988). A validade dos métodos de predição foi analisada pelo CCI e plotagem de Bland-Altman e seu intervalo de concordância de 95%. As análises estatísticas foram realizadas usando o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS versão 21 para Windows). O nível de significância adotado foi de $p < 5\%$.

RESULTADOS

A Figura 11 apresenta os erros absolutos médios e individuais entre a carga de 1RM atual e predita para os diferentes métodos de predição para os exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal. Houve diferenças estatísticas entre a carga de 1RM atual e predita para o exercício agachamento usando o método de 2-cargas ($p = 0,046$; TE = -0,23; pequeno), 3-cargas ($p = 0,22$; TE = -0,24; pequeno); 4-cargas ($p = 0,030$; TE = -0,22; pequeno) e 6-cargas ($p < 0,001$; TE = -0,17; trivial). Não houve diferenças entre os métodos de predição ($p > 0,05$). Em relação ao exercício *deadlift*, não houve diferença estatísticas entre as cargas de 1RM atual e predito, independentemente do método de predição adotado ($p > 0,05$; TE $< 0,20$; trivial).

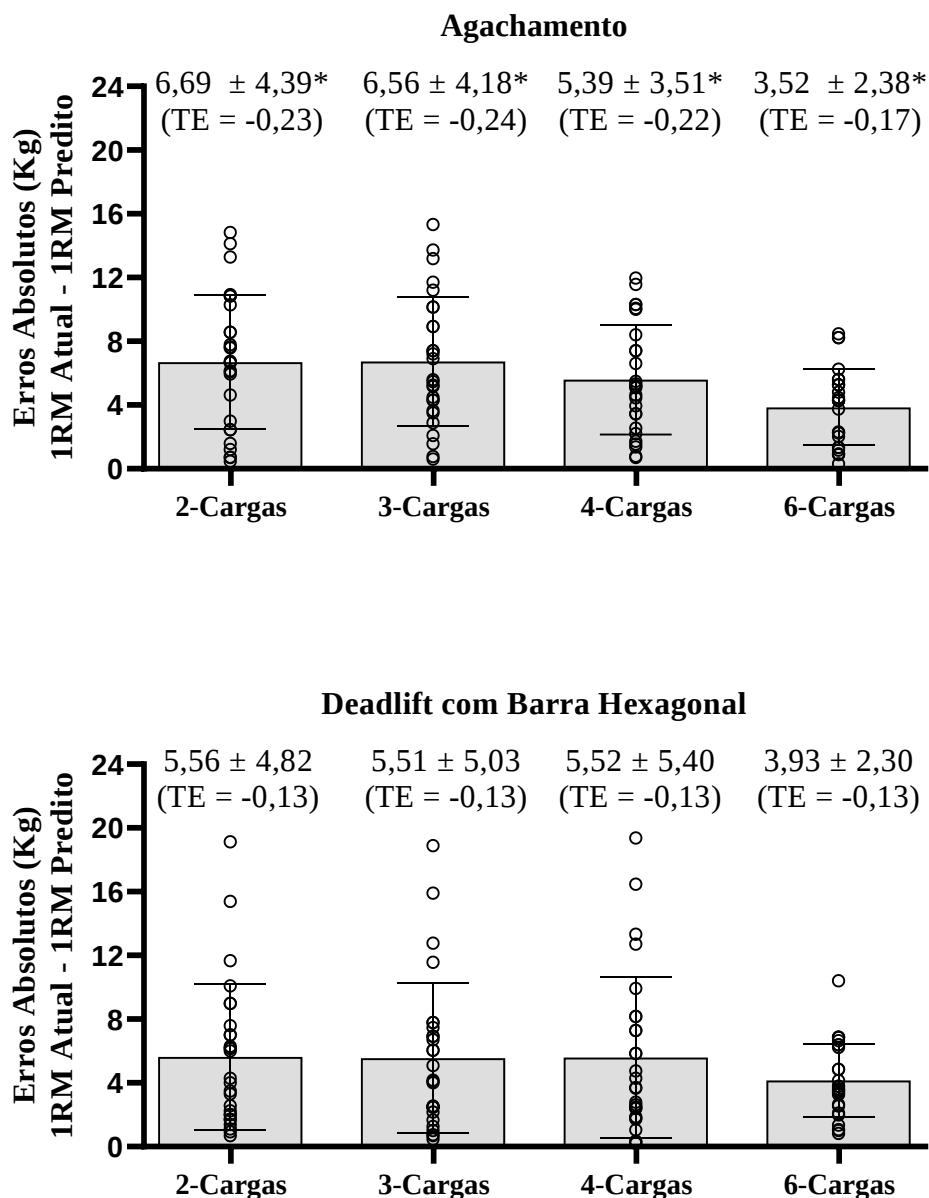


Figura 11. Erros absolutos médios e individuais entre as cargas de 1RM atual e predita pelos diferentes métodos de predição durante os exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal. * = estatisticamente diferente da carga de 1RM atual ($p < 0,05$); TE = tamanho do efeito.

O viés sistemático e o intervalo de concordância de 95% entre a carga de 1RM atual e predita usando diferentes método de predição para os exercícios agachamento e *deadlift* são apresentados na Figura 12 e 13, respectivamente. A plotagem de Bland-Altman demonstrou altos níveis de concordância entre as cargas de 1RM atual e predita durante o agachamento usando o método de 2-cargas (CCI = 0,96; 95% IC =

0,84 a 0,98), 3-cargas (CCI = 0,96; 95% IC = 0,83 a 0,98), 4-cargas (CCI = 0,97; 95% IC = 0,81 a 0,99), e 6-cargas (CCI = 0,98; 95% IC = 0,81 a 0,99) (Figura 12). De forma similar, altos níveis de concordância foram encontrados para o exercício deadlift usando os métodos de 2-cargas (CCI = 0,97; 95% IC = 0,93 a 0,99), 3-cargas (CCI = 0,97; 95% IC = 0,93 a 0,99), 4-cargas (CCI = 0,97; 95% IC = 0,92 a 0,99), e 6-cargas (CCI = 0,98; 95% IC = 0,93 a 0,99) (Figura 13).

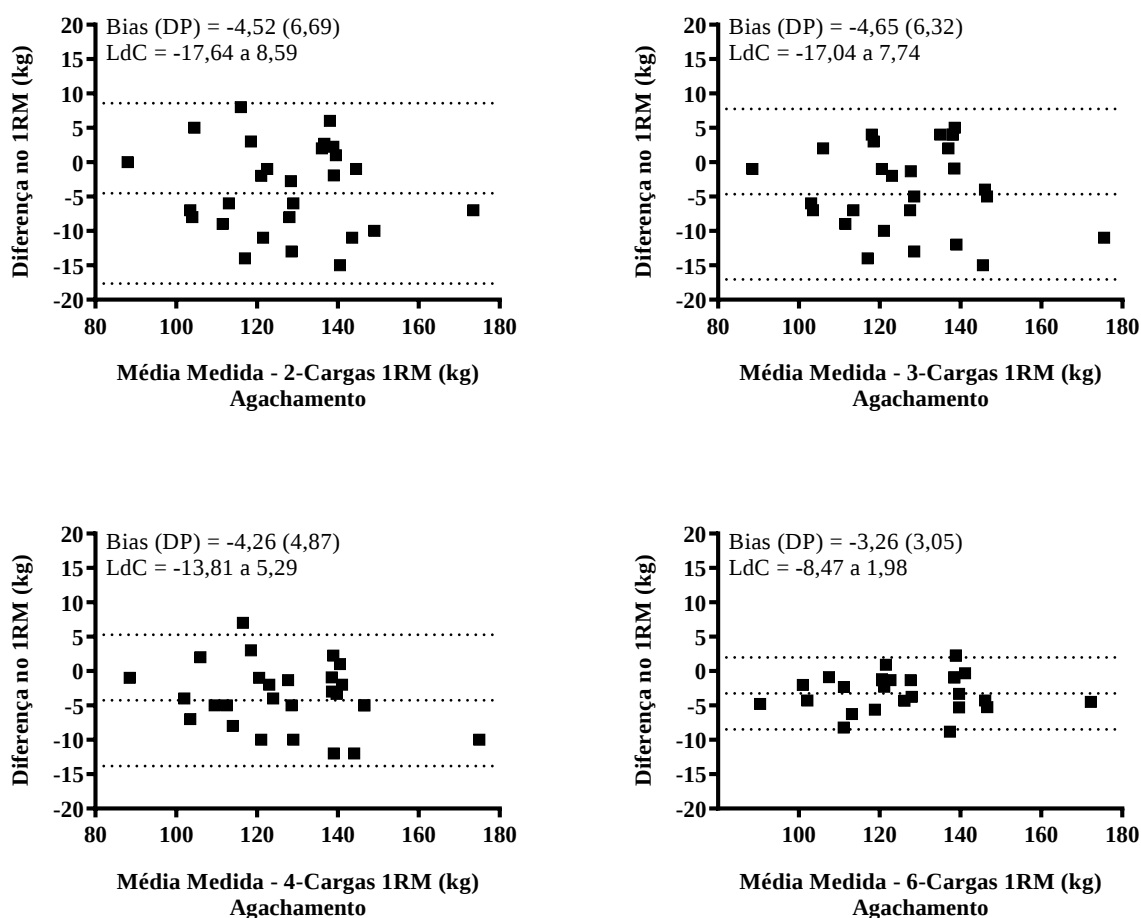


Figura 12. Plotagem de Bland-Altman entre as cargas de 1RM atual e predita por diferentes métodos de predição durante o exercício agachamento livre. DP = desvio padrão; LdC = limites de concordância.

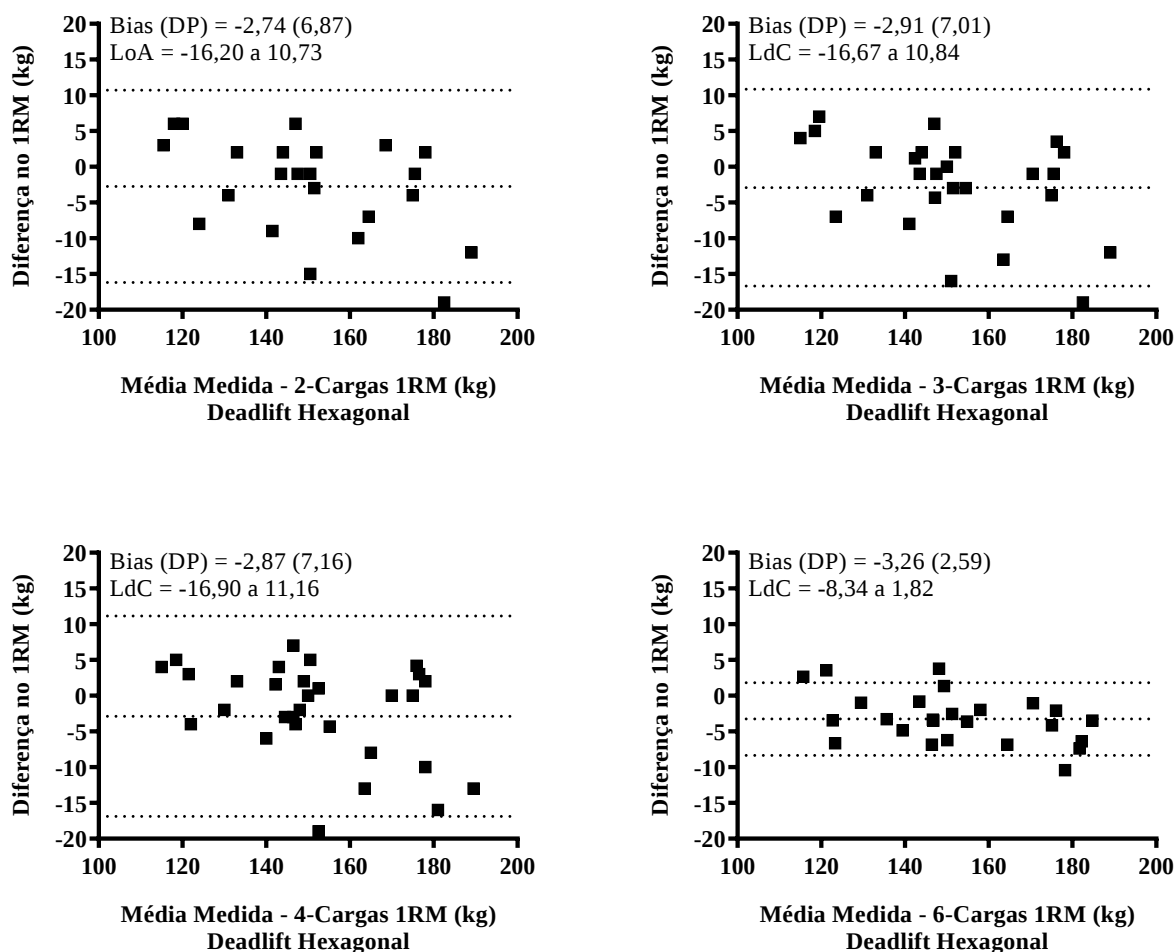


Figura 13. Plotagem de Bland-Altman entre as cargas de 1RM atual e predita por diferentes métodos de predição durante o exercício deadlift hexagonal. DP = desvio padrão; LdC = limites de concordância.

DICUSSÃO

Esse estudo examinou os efeitos do número de cargas (2-, 3-, 4-, 6-cargas) na acurácia da predição da carga de 1RM nos exercícios agachamento livre e deadlift com barra hexagonal em homens treinados em força. Os achados principais dessa investigação foi que a carga de 1RM em ambos os exercícios podem ser preditas acuradamente a partir da relação carga-velocidade individual, independentemente do método de predição adotado. Contudo, apesar de não ser significativo, o método de 6-cargas forneceu ajustes ainda melhores, com menor variabilidade entre-sujeitos ($LdC = -8,47$ a $1,82$) e acurácia mais aceitável ($TE < 0,20$ e erro $< 5,0$ kg) do que os outros métodos de predição. Portanto, os profissionais de força e condicionamento objetivando prescrever cargas nos exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra

hexagonal a partir da relação carga-velocidade individual devem considerar essas pequenas discrepâncias entre as cargas de 1RM atual e predita.

Na prática, os exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal são frequentemente incorporados nos programas de treino de força para desenvolver a força muscular dos membros inferiores (NIGRO; BARTOLOMEI, 2020). Portanto, nossos dados podem ser úteis para os profissionais de força e condicionamento que objetivam implementar a abordagem do TBV nesses exercícios. Para o nosso conhecimento, esse é o primeiro estudo a investigar a acurácia de diferentes métodos de seleção de cargas na estimativa da carga de 1RM durante os exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal a partir da relação carga-velocidade individual. O número de cargas usado para ajustar a relação carga-velocidade individual é importante na prática para os profissionais de força e condicionamento já que implementar menos tentativas pode simplificar o protocolo de teste evitando procedimento que consomem mais tempo e são mais fatigantes (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). Independentemente dos métodos de predição, ambos os exercícios agachamento ($CCI \geq 0,96$) e *deadlift* com barra hexagonal ($ICC \geq 0,97$) apresentaram altos níveis de concordância entre as cargas de 1RM atual e predita. De forma similar, não houveram diferenças estatísticas entre os métodos de predição ($p > 0,05$). A ausência de diferença estatística entre os métodos de predição reforça a hipótese prévia de que incluindo cargas submáxima intermediárias produziria resultados similares devido à alta linearidade da relação carga-velocidade (GARCÍA-RAMOS; SLOBODAN, 2018). Nossos dados estão de acordo com estudos prévios que mostraram acurácia similar na estimativa das cargas de 1RM entre os métodos de cargas múltiplas (≥ 3 cargas) e 2-cargas (CAVEN et al., 2020; GARCÍA-RAMOS et al., 2019b; JANICIJEVIC et al., 2021). Por exemplo, Pérez-Castilla et al. (2019b) reportaram uma acurácia comparável na estimativa da carga de 1RM entre os métodos de cargas múltiplas (5 cargas, 45-85% 1RM) e 2-cargas (45% e 85% 1RM) no exercício supino reto usando diversos dispositivos, incluindo o *Speed4Lift* (erro padrão da medida $< 5,0$ kg). Coletivamente, esses dados parecem suportar o uso do método de 2-cargas como um procedimento rápido, não-fatigante e válido para estimar a carga de 1RM durante os exercícios agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal.

Foi previamente demonstrado que o método de 2-cargas resultou em estimativas comparáveis da carga de 1RM em comparação ao método de cargas

múltiplas em exercícios resistidos de membros superiores (GARCÍA-RAMOS et al., 2018c; JANICIJEVIC et al., 2021; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019c). Por outro lado, sua acurácia parece ser comprometida durante exercícios resistidos de membros inferiores com pesos livres (BANYARD; NOSAKA; HAFF, 2017; LAKE et al., 2017; RUF; CHÉRY; TAYLOR, 2018; THOMPSON et al., 2020a). Estudos prévios demonstraram que a relação carga-velocidade fornece uma estimativa mais acurada da carga de 1RM em exercícios de membros superiores como o supino reto (CAVEN et al., 2020; JANICIJEVIC et al., 2021; PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a), remada deitada (GARCÍA-RAMOS et al., 2019b, 2019a), puxada frontal (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019c) e remada sentada (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019c) quando comparado aos valores encontrados no agachamento livre (BANYARD; NOSAKA; HAFF, 2017; THOMPSON et al., 2020a) e *deadlift* tradicional (JUKIC et al., 2020b; RUF; CHÉRY; TAYLOR, 2018). Tem sido demonstrado que essas discrepâncias na estimativa da carga de 1RM pode ser atribuída à maior complexidade técnica na execução dos exercícios de membros inferiores (i.e., agachamento e *deadlift*) em comparação com os exercícios de membros superiores (WEAKLEY et al., 2021b). Nesse sentido, Banyard et al. (2017) encontraram que a relação carga-velocidade individual incluindo a velocidade concêntrica média de 3- (20, 40 e 60% 1RM), 4- (20, 40, 60 e 80% 1RM) e 5-cargas (20, 40, 60, 80 e 90% 1RM) foram incapazes de prever acuradamente a carga de 1RM no exercício agachamento livre usando a variação EXC-CON devido ao alto erro (EPE = 10,6 a 17.2 kg), coeficiente de variação moderado a fraco (7,4 a 12,8%) e tamanho de efeito moderado a grande (TE = 0,74 a 1,09) entre a carga de 1RM atual e predita. Nota-se, que a técnica usada para estimar a carga de 1RM (i.e., CON vs. EXC-CON) pode ter afetado a acurácia da predição nos exercícios agachamento livre devido à alta variabilidade entre-sujeitos contra cargas submáximas (CV: 8,2 a 24,2%) (THOMPSON et al., 2020a) e baixa reprodutibilidade (PALLARÉS et al., 2014) em comparação a técnica apenas CON adotado no presente estudo.

De forma similar, a acurácia da estimativa da carga de 1RM a partir da relação carga-velocidade no *deadlift* tradicional é ainda controversa (JUKIC et al., 2020b; LAKE et al., 2017; RUF; CHÉRY; TAYLOR, 2018). Por exemplo, Jukic et al. (2020b) encontraram que nenhum dos seis modelos baseados na relação carga-velocidade individual, incluindo cargas múltiplas e 2-cargas, alcançaram um critério aceitável (erro < 5 kg) para o *deadlift* tradicional com ou sem fitas de empunhar. Contudo, o exercício

deadlift realizado sem fitas forneceu melhores ajustes no modelo (erros absolutos ~7,0 kg; intervalo: 7,5 a 16,3 kg) comparado com o uso de fitas (erros absolutos ~15,0 kg; intervalo: 15,9 a 25,9 kg). Por outro lado, Benavides-Ubric et al. (2020) demonstraram que as relações carga-velocidade individual modelada pelo método de cargas múltiplas (30-80% 1RM) alcançaram o critério aceitável ($EPE < 5,0$ kg e $TE < 0,20$) para estimar a carga de 1RM no *deadlift* tradicional. Apesar de mais estudos serem necessários para explicar as diferenças entre estes estudos, o baixo erro e alto nível de concordância encontrado no presente estudo para ambos os exercícios agachamento e *deadlift* com barra hexagonal sugerem que as relações carga-velocidade individual são procedimentos adequados para estimar acuradamente a carga de 1RM, caso os profissionais de força e condicionamento estiverem dispostos a aceitar erros absolutos de ~7,0 kg (agachamento) e ~6,0 kg (*deadlift* com barra hexagonal) a nível de grupo.

O método de 2-cargas que consiste em registrar a VPM contra apenas duas cargas submáximas (~40% e 80% 1RM) resultou em estimativas similares da carga de 1RM em ambos os exercícios de agachamento livre e *deadlift* com barra hexagonal em comparação aos outros modelos. Isto tem relevância prática para os profissionais de força e condicionamento que querem usar o paradigma do TBV regularmente. Contudo, os profissionais de força e condicionamento devem estar atentos de que apenas o método de 6-cargas alcançou o critério aceitável ($CCI > 0,90$; $TE \leq 0,20$ e erro $\leq 5,0$ kg) (PÉREZ-CASTILLA et al., 2019a) em ambos exercícios. Além disso, a plotagem de Bland-Altman mostrou menor variabilidade entre-sujeitos (i.e., determinado pelo LdC) para o método de 6-cargas em comparação com todos os outros modelos de predição (Figura 3). Apesar disso, para os participantes treinados em força recrutados para o presente estudo, o baixo erro reportado aqui ($\leq 7,0$ kg) é provavelmente capaz de detectar mudanças significantes na força muscular que ocorrem em homens treinados (NIGRO; BARTOLOMEI, 2020). Mesmo assim, se os profissionais de força e condicionamento necessitarem de melhor acurácia a nível individual (i.e., menor variabilidade), então, o uso do método de 6-cargas é recomendado. Na prática, é necessário examinar o quão relevante essas ligeiras, mas não-significantes, discrepâncias entre os métodos de predição são em relação a prescrição do treino de força ou ajuste das cargas dos exercícios.

O presente estudo tem algumas limitações que precisam ser destacadas. Por exemplo, as cargas para determinar as relações carga-velocidade individuais foram

estabelecidas após a avaliação direta da relação carga-velocidade. Ou seja, é importante que os profissionais de força e condicionamento tenham conhecimento prévia das cargas absolutas associadas à carga de 1RM para adotar essa abordagem. No presente estudo, observamos uma grande variabilidade entre-sujeitos para as cargas absolutas, cargas relativas ao percentual de massa corporal e velocidade da barra associados ao percentual de 1RM usados para determinar a relação carga-velocidade individual. Desta forma, a acurácia dos diferentes métodos examinados nesse estudo sem a determinação prévia do perfil carga-velocidade completa ainda é incerta. Por isso, é necessário determinar o ponto de referência para selecionar a carga que irá estabelecer a relação carga-velocidade. Isto é importante para que os profissionais de força e condicionamento implementem esse método na prática.

CONCLUSÃO

Nossos achados suportam o uso da relação carga-velocidade individual para estimar a carga de 1RM nos exercícios agachamento livre e *deadlift* hexagonal. Independentemente do método de predição adotado, as relações carga-velocidade individuais resultaram numa estimativa acurada das cargas de 1RM em ambos os exercícios de agachamento (erro < 7,0 kg) e *deadlift* (< 6,0 kg). O método de 2-cargas é um procedimento que consome menos tempo e menos fatigante que requer apenas o registro da velocidade contra duas cargas submáximas distantes (i.e., 40% e 80% 1RM), selecionar uma V1RM geral para um exercício específico (agachamento = 0,30 m/s e *deadlift* = 0,29 m/s) e determinar a carga de 1RM usando uma regressão linear como a carga associada ao V1RM previamente estabelecido. Apesar disso, o método de 6-cargas ainda forneceu melhores ajustes e menor erros ao nível individual em comparação a todos os outros métodos preditivos (erro $\leq$ 5,0 kg e TE $\leq$ 0,20). Portanto, é recomendado que os profissionais de força e condicionamento devam selecionar o modelo mais adequado a depender das suas restrições diárias de logística e tempo.

5. CONSIDERAÇÕES DA TESE

Com base nos dados obtidos pelos estudos desenvolvidos ao longo da tese, pode-se concluir que:

As relações negativas e muito fortes encontradas entre a velocidade da barra e cargas relativas (%1RM) para os exercícios meio agachamento com peso livre e

deadlift com barra hexagonal permite estimar a intensidade da carga com grande acurácia ($R^2 \geq 0.96$) e com erro de estimativa aceitável ($EPE < 5\%$ 1RM) para ambos os exercícios. O ajuste individual da relação carga-velocidade foi ligeiramente melhor em comparação às equações gerais. Nesse sentido, os profissionais que desejam ter um melhor ajuste individual da intensidade da carga são recomendados a utilizar os valores de referência (V1RM) fornecidos nesse estudo para modelar a relação carga-velocidade individual dos seus praticantes. Apesar disso, os profissionais de força e condicionamento devem levar em consideração a relevância prática desses achados para a prescrição e ajuste da intensidade da carga ($R^2 > 0,98$ versus $R^2 > 0,96$, para a equação geral). Nesse sentido, a equação geral desenvolvida para os exercícios meio agachamento e *deadlift* com barra hexagonal podem ser utilizadas como uma abordagem mais simples e tempo-eficiente.

As relações carga-velocidade demonstraram boa acurácia para estimar a carga de 1RM, não havendo diferenças estatísticas significantes entre os números de cargas adotados. Na prática, o uso de apenas 2-cargas submáximas (~40% e ~80% 1RM) tem importante aplicação prática para os profissionais de força e condicionamento como uma abordagem simples, tempo-eficiente e livre de fadiga para estimar a carga de 1RM nos exercícios agachamento e *deadlift* hexagonal. Desta forma, a implementação regular dessa abordagem parece trazer vantagens no gerenciamento e controle diário das cargas dos exercícios em função do estado de prontidão dos praticantes. Apesar disso, parece que o uso de 6-cargas fornece dados ainda mais precisos, com menor variação nas respostas entre-sujeitos. Portanto, os profissionais devem levar em consideração esses dados e os possíveis constrangimentos de logística ao longo dos programas de TF.

Adicionalmente, dados da relação carga-potência mostrou que as “cargas ótima de potência” ocorreram em cargas submáximas próximas nos exercícios meio agachamento (~65% 1RM; VPM = ~0,70 m/s) e *deadlift* com barra hexagonal (~60% 1RM; VPM = ~0,86 m/s). Apesar disso, um amplo intervalo de cargas submáximas apresentou valores que não foram diferentes significativos da carga de máxima produção de potência no agachamento (40-80% 1RM) e *deadlift* (50-70% 1RM). Nesse sentido, os profissionais de força e condicionamento podem utilizar essas referências como uma ferramenta simples para determinar os limites superiores e inferiores das cargas submáximas capazes de produzir alta quantidade de potência mecânica na barra.

Por fim, mais estudos são necessários para investigar a validação cruzada das equações desenvolvidas nessa tese para outras populações (i.e., atletas) e desenvolver equações específicas para mulheres, afim de possibilitar a implementação do paradigma da velocidade nessa população. Além disso, se torna relevante identificar qual o impacto que as ligeiras diferenças encontradas nos estudos podem ter nas adaptações induzidas pelo TF para determinar quais métodos de predição são mais simples e eficientes para implementar regularmente nas rotinas de treino.

FINANCIAMENTO

O presente projeto foi financiado em parte pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) – Excelência na Produção Científica, Aspectos Socioculturais, da Saúde e Desempenho Físico.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318–1326, 2002.
- AAGAARD, P.; BOJSEN-MØLLER, J.; LUNDBYE-JENSEN, J. Assessment of neuroplasticity with strength training. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 48, n. 4, p. 151–162, 2020.
- ABE, T. et al. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 81, n. 3, p. 174–180, 2000.
- ATKINSON, G.; NEVILL, A. M. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. **Sports Medicine**, v. 26, n. 4, p. 217–238, 1998.
- BALSALOBRE-FERNÁNDEZ, C.; GARCÍA-RAMOS, A.; JIMÉNEZ-REYES, P. Load–velocity profiling in the military press exercise: Effects of gender and training. **International Journal of Sports Science and Coaching**, v. 13, n. 5, p. 743–750, 2018.
- BALSALOBRE-FERNÁNDEZ, C.; TORRES-RONDA, L. The implementation of velocity-based training paradigm for team sports: framework, technologies, practical recommendations and challenges. **Sports**, v. 9, n. 4, p. 47, 2021.
- BALSHAW, T. G. et al. Changes in agonist neural drive, hypertrophy and pre-training strength all contribute to the individual strength gains after resistance training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 4, p. 631–640, 2017.
- BANYARD, H. G. et al. The reliability of individualized load–velocity profiles. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 6, p. 763–769, 2018.

- BANYARD, H. G. et al. Comparison of the effects of velocity-based training methods and traditional 1RM-percent-based training prescription on acute kinetic and kinematic variables. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 2, p. 246–255, 2019.
- BANYARD, H. G. et al. Superior changes in jump, sprint, and change-of-direction performance but not maximal strength following 6-weeks of velocity-based training compared with 1-repetition-maximum percentage-based training. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 2, p. 232–242, 2021.
- BANYARD, H. G.; NOSAKA, K.; HAFF, G. G. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 7, p. 1897–1904, 2017.
- BATACAN, R. B. et al. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 6, p. 494–503, mar. 2017.
- BEHM, D. G.; SALE, D. G. Velocity specificity of resistance training. **Sports Medicine**, v. 15, n. 6, p. 374–388, 1993.
- BENAVIDES-UBRIC, A. et al. Analysis of the load-velocity relationship in deadlift exercise. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 19, n. 3, p. 452–459, 2020.
- BIRD, S. P.; TARPENNING, K. M.; MARINO, F. E. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. **Sports Medicine**, v. 35, n. 10, p. 841–851, 2005.
- BROWN, L., E.; WEIR, J., P. ASEP procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 4, n. 3, 2001.
- BUCKNER, S. L. et al. Do exercise-induced increases in muscle size contribute to strength in resistance-trained individuals? **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 41, n. 4, p. 326–333, 2021.
- BUJALANCE-MORENO, P.; LATORRE-ROMÁN, P. Á.; GARCÍA-PINILLOS, F. A systematic review on small-sided games in football players: Acute and chronic adaptations. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 8, p. 921–049, 2019.
- CALLAGHAN, D. E. et al. Validity of the PUSH band 2.0 and Speed4lifts to measure velocity during upper and lower body free-weight resistance exercises. **Journal of Sports Sciences**, v. 40, n. 9, p. 1–8, 2022.
- CARROLL, K. M. et al. Divergent performance outcomes following resistance training using repetition maximums or relative intensity. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n.1, p. 1–28, 2018.
- CAVEN, E. J. G. et al. Group versus individualised minimum velocity thresholds in the prediction of maximal strength in trained female athletes. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 21, p. 1–10, 2020.
- ÇETIN, O. et al. Reliability and validity of the multi-point method and the 2-point method's variations of estimating the one-repetition maximum for deadlift and back squat exercises. **PeerJ**, v. 10, n. e13013, 2022.
- CHÉRY, C.; RUF, L. Reliability of the load-velocity relationship and validity of the PUSH to measure velocity in the deadlift. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 9, p. 2370–2380, 2019.

CHTOUROU, H. et al. The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 1, p. 217–225, 2012.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. (Routledge, Ed.) New Jersey, 1988.

CONCEIÇÃO, F. et al. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. **Journal of Sports Sciences**, v. 34, n. 12, p. 1099–1106, 2016.

CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 9, p. 1731–44, 2010.

CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Developing maximal neuromuscular power. Part 1 — Biological basis of maximal power production. **Sports Medicine**, v. 41, n. 2, p. 125–146, fev. 2011.

DANKEL, S. J. et al. Muscle adaptations following 21 consecutive days of strength test familiarization compared with traditional training. **Muscle & nerve**, v. 56, n. 2, p. 307–314, 2017.

DANKEL, S. J.; LOENNEKE, J. P. Effect sizes for paired data should use the change score variability rather than the pre-test variability. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 6, p. 1773–1778, 2021.

DAVIES, T. et al. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: A systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 46, n. 4, p. 487–502, 2016.

DE HOYO, M. et al. Predicting loading intensity measuring velocity in barbell hip thrust exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35 n. 8, p. 2075–2081, 2021.

DEL VECCHIO, A. et al. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. **Journal of Physiology**, v. 597, n. 7, p. 1873–1887, 2019.

DORRELL, H. F.; SMITH, M. F.; GEE, T. I. Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power adaptations. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 1, p. 46–53, jan. 2020.

DOWNS, S. H.; BLACK, N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, 1998.

FERNANDES, J. F. T. et al. Comparison of the FitroDyne and GymAware rotary encoders for quantifying peak and mean velocity during traditional multijointed exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35 n. 6, p. 1760–1765, 2021.

FERNANDES, J. F. T.; LAMB, K. L.; TWIST, C. A comparison of load-velocity and load-power relationships between well-trained young and middle-aged males during three popular resistance exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 5, p. 1440–1447, 2018.

FIGUEIREDO, V. C.; DE SALLES, B. F.; TRAJANO, G. S. Volume for muscle hypertrophy and health outcomes: The most effective variable in resistance training. **Sports Medicine**, v. 48, n. 3, p. 499–505, 2018.

- FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Medicine**, v. 37, n. 2, p. 145–168, 2007.
- FONSECA, F. S. et al. Acute effects of equated volume-load resistance training leading to muscular failure versus non-failure on neuromuscular performance. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 18, n. 2, p. 94–100, 2020.
- FRANCHINI, E. et al. Influence of linear and undulating strength periodization on physical fitness, physiological, and performance responses to simulated judo matches. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 2, p. 358–67, 2015.
- GABRIEL, D. A.; KAMEN, G.; FROST, G. Neural adaptations to resistive exercise: Mechanisms and recommendations for training practices. **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 133–149, 2006.
- GANTOIS, P. et al. Analysis of velocity- and power-load relationships of the free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises. **Biology of Sport**, v. 40, n. 1, 2023.
- GARCÍA-PINILLOS, F. et al. Validity and reliability of the WIMU® system to measure barbell velocity during the half-squat exercise. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 233, n. 3, p. 408–415, 2019.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Differences in the load-velocity profile between 4 bench-press variants. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 3, p. 326–331, 2018a.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Mean velocity vs. Mean propulsive velocity vs. Peak velocity: Which variable determines bench press relative load with higher reliability? **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 5, p. 1273–1279, 2018b.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 4, p. 474–481, 2018c.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Differences in the one-repetition maximum and load-velocity profile between the flat and arched bench press in competitive powerlifters. **Sports Biomechanics**, v. 00, n. 00, p. 1–13, 2018d.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Assessment of the load-velocity profile in the free-weight prone bench pull exercise through different velocity variables and regression models. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, p. 1–12, 2019a.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Reliability and validity of different methods of estimating the one-repetition maximum during the free-weight prone bench pull exercise. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 19, p. 2205–2212, 2019b.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Bench press one-repetition maximum estimation through the individualised load-velocity relationship: comparison of different regression models and minimal velocity thresholds. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n.8 p. 1074–1081, 2020a.
- GARCÍA-RAMOS, A. et al. Reliability of the velocity achieved during the last repetition of sets to failure and its association with the velocity of the 1-repetition maximum. **PeerJ**, v. 2020, n. 3, 2020b.
- GARCÍA-RAMOS, A.; SLOBODAN, J. Two-point method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the 1 repetition maximum. **Strength and Conditioning**, v. 40, n. 2, p. 54–66, 2018.

- GARCÍA-RAMOS, A.; SUZOVIC, D.; PÉREZ-CASTILLA, A. The load-velocity profiles of three upper-body pushing exercises in men and women. **Sports Biomechanics**, v. 20, n. 61, p. 1–13, 2019.
- GENTRY, M. et al. Strength training modalities: Introducing the trap bar. **Strength & Conditioning Journal**, v. 9, n. 3, p. 54–56, 1987.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J. et al. Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 04, p. 295–304, 2015.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. et al. **Fundamentals of velocity-based resistance training**. [s.l.] Ergottech, 2017.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J. J.; MARQUES, M. C.; SÁNCHEZ-MEDINA, L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. **Journal of Human Kinetics**, v. 29A, n. Special Issue, p. 15–9, 2011.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J.; SÁNCHEZ-MEDINA, L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 5, p. 347–352, 2010.
- GOROSTIAGA, E. M. et al. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. **PLoS ONE**, v. 7, n. 7, 2012.
- HÄKKINEN, K. et al. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 56, n. 4, p. 419–427, 1987.
- HÄKKINEN, K.; KESKINEN, K. L. Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 59, n. 3, p. 215–220, 1989.
- HARRIS, N. K. et al. Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 6, p. 1742–9, 2008.
- HELD, S. et al. Improved strength and recovery after velocity-based training: A Randomized controlled trial. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 8, p. 1185–1193, 2020.
- HELMS, E. R. et al. Application of the repetitions in reserve-based rating of perceived exertion scale for resistance training. **Strength & Conditioning Journal**, v. 38, n.4, 2016.
- HERNÁNDEZ-BELMONTE, A. et al. A comprehensive analysis of the velocity-based method in the shoulder press exercise: stability of the load-velocity relationship and sticking region parameters. **Biology of Sport**, p. 235–243, 2021.
- HISCOCK, D. J. et al. Can changes in resistance exercise workload influence internal load, countermovement jump performance and the endocrine response? **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 2, p. 191–197, 2018.
- HOEGER, W. et al. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. **Journal of Applied Sport Science Research**, v. 4, n. 2, p. 47–54, 1990.
- HORSLEY, T.; DINGWALL, O.; SAMPSON, M. Checking reference lists to find additional studies for systematic reviews. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 8, 2011.

HUGHES, L. J. et al. Using a load-velocity relationship to predict one repetition maximum in free-weight exercise: A comparison of the different methods. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 9, p. 2409–2419, 2019.

HULLEY, S. et al. **Delineando a pesquisa clínica**. [s.l.] Artmed, 2015.

IKEZOE, T. et al. Effects of low-load, higher-repetition vs. high-load, lower-repetition resistance training not performed to failure on muscle strength, mass, and echo intensity in healthy young men: A time-course study. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 12, p. 3439–3445, 2020.

IZQUIERDO, M. et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. **International Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 9, p. 718–724, 2006a.

IZQUIERDO, M. et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1647–56, 2006b.

IZQUIERDO-GABARREN, M. et al. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 42, n. 6, p. 1191–1199, 2010.

JANICIJEVIC, D. et al. Bench press 1-repetition maximum estimation through the individualized load–velocity relationship: comparison of different regression models and minimal velocity thresholds. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 8, p. 1074–1081, 2021.

JENKINS, N. D. M. et al. Greater neural adaptations following high- vs. low-load resistance training. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 1–15, 2017.

JOVANOVIĆ, M.; FLANAGAN, E. P. Researched applications of velocity based strength training. **Journal of Australian Strength and Conditioning**, v. 23, n. 7, 2015.

JUKIC, I. et al. The use of lifting straps alters the entire load-velocity profile during the deadlift exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 12, p. 3331–3337, 2020a.

JUKIC, I. et al. Validity of load–velocity relationship to predict 1 repetition maximum during deadlifts performed with and without lifting straps. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 4, p. 902–910, 2020b.

JUKIC, I. et al. The effects of set structure manipulation on chronic adaptations to resistance training: A systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 51, n. 5, p. 1061–1086, 2021.

JUKIC, I.; TUFANO, J. J. Traditional 3- to 5-minute intersset rest periods may not be necessary when performing fewer repetitions per set: Using clean pulls as an example. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 11, p. 3015–3022, 2020.

JULIO, U. F.; PANISSA, V. L. G.; FRANCHINI, E. Prediction of one repetition maximum from the maximum number of repetitions with submaximal loads in recreationally strength-trained men. **Science and Sports**, v. 27, n. 6, p. e69–e76, 2012.

KAWAMORI, N.; HAFF, G. G. The optimal training load for the development of muscular power. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 3, p. 675–84, 2004.

- KRAEMER, W. J. et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 2, p. 364–380, 2002.
- KRAEMER, W. J.; NEWTON, R. U. Training for muscular power. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**, v. 11, n. 2, p. 341–368, 2000.
- KRAEMER, W. J.; RATAMESS, N. A. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 4, p. 674–688, 2004.
- LAKE, J. et al. Comparison of different minimal velocity thresholds to establish deadlift one repetition maximum. **Sports**, v. 5, n. 3, p. 70, 2017.
- LASEVICIUS, T. et al. Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. **European Journal of Sport Science**, v. 18, n. 6, p. 772–780, 3 jul. 2018.
- LOCKIE, R. G. et al. The 1 repetition maximum mechanics of a high-handle hexagonal bar deadlift compared with a conventional deadlift as measured by a linear position transducer. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 1, p. 150–161, 2018.
- LOCKIE, R. G.; LAZAR, A. Exercise technique: Applying the hexagonal bar to strength and power training. **Strength & Conditioning Journal**, v. 39, n. 5, p. 24–32, 2017.
- LOPEZ, P. et al. Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: Systematic review and network meta-analysis. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 53, n. 6, p. 1206–1216, 2021.
- LOTURCO, I. et al. Determining the optimum power load in jump squat using the mean propulsive velocity. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–12, 2015a.
- LOTURCO, I. et al. Half-squat or jump squat training under optimum power load conditions to counteract power and speed decrements in Brazilian elite soccer players during the preseason. **Journal of Sports Sciences**, v. 33, n. 12, p. 1283–1292, 2015b.
- LOTURCO, I. et al. Using bar velocity to predict maximum dynamic strength in the half-squat exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 11, n. 5, p. 697–700, 2016a.
- LOTURCO, I. et al. Traditional periodization versus optimum training load applied to soccer players: effects on neuromuscular abilities. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 13, p. 1051–1059, 2016b.
- LOTURCO, I. et al. Predicting the maximum dynamic strength in bench press: The high precision of the bar velocity approach. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 4, p. 1127–1131, 2017a.
- LOTURCO, I. et al. Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 8, p. 734–741, 2017b.
- LOTURCO, I. et al. Determining the optimum bar velocity in the barbell hip thrust exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 15, n. 4, p. 585–589, 2019.
- LOTURCO, I. et al. Power training in elite young soccer players: Effects of using loads above or below the optimum power zone. **Journal of Sports Sciences**, v. 38, n. 11, p. 1416–1422, 2020.

- LOTURCO, I. et al. Force-velocity relationship in three different variations of prone row exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 2, p. 300–309, 2021a.
- LOTURCO, I. et al. The optimum power load: A simple and powerful tool for testing and training. **International journal of sports physiology and performance**, p. 1–9, 2021b.
- MAESTRONI, L. et al. The benefits of strength training on musculoskeletal system health: practical applications for interdisciplinary care. **Sports Medicine**, v. 50, n. 8, p. 1431–1450, 2020.
- MARTINEZ-CANTON, M. et al. Role of CaMKII and sarcolipin in muscle adaptations to strength training with different levels of fatigue in the set. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 31, n. 1, p. 91–103, 2021.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 10, p. 1088–1096, 2019a.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Range of motion and sticking region effects on the bench press load-velocity relationship. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 18, n. 4, p. 645–652, 2019b.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Reliability of technologies to measure the barbell velocity: Implications for monitoring resistance training. **PLOS ONE**, v. 15, n. 6, p. e0232465, 2020.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Effect of pause versus rebound techniques on neuromuscular and functional performance after a prolonged velocity-based training. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 7, p. 927–933, 2021.
- MARTORELLI, S. et al. Strength training with repetitions to failure does not provide additional strength and muscle hypertrophy gains in young women. **European Journal of Translational Myology**, v. 27, n. 2, 2017.
- MCBRIDE, J. M. et al. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 16, n. 1, p. 75–82, 2002.
- MCBURNIE, A. J. et al. The Benefits and limitations of predicting one repetition maximum using the load-velocity relationship. **Strength and Conditioning Journal**, v. 41, n. 6, p. 28–40, 2019.
- MENDIGUCHIA, J. et al. Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 25, n. 6, p. e621–9, 2015.
- MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica**, 2016.
- MORÁN-NAVARRO, R. et al. Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 12, p. 2387–2399, 2017.
- MORÁN-NAVARRO, R. et al. Load-velocity relationship of the deadlift exercise. **European Journal of Sport Science**, v. 21, n. 5, p. 678–684, 2021.
- MOSS, B. M. et al. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 3, p. 193–199, 1997.
- MUÑOZ-LÓPEZ, M. et al. Load-, force-, and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. **International journal of sports physiology and performance**, v. 12, n. 9, p. 1249–1255, 2017.

- NARICI, M. V. et al. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 59, n. 4, p. 310–319, 1989.
- NARICI, M. V. et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 157, n. 2, p. 175–186, 1996.
- NASCIMENTO, M. et al. Familiarization and reliability of one repetition maximum strength testing in older women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 3, p. 1636–42, 2013.
- NIGRO, F.; BARTOLOMEI, S. A Comparison between the squat and the deadlift for lower body strength and power training. **Journal of Human Kinetics**, v. 73, n. 1, p. 145–152, 2020.
- OGASAWARA, R. et al. Comparison of muscle hypertrophy following 6-month of continuous and periodic strength training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 4, p. 975–985, 2013.
- ORANGE, S. T. et al. Effects of in-season velocity-versus percentage-based training in academy rugby league players. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 15, n. 4, p. 554–561, 2020.
- ORTEGA-RODRÍGUEZ, R. et al. Effect of the pronated pull-up grip width on performance and power-force-velocity profile. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 00, n. 00, p. 1–8, 2020.
- OUZZANI, M. et al. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, 2016.
- PALLARÉS, J. G. et al. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. **Journal of Sports Sciences**, v. 32, n. 12, p. 1165–1175, 2014.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 37, n. 6, p. 630–639, 2017a.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 27, n. 7, p. 724–735, 2017b.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 4, p. 512–519, 2017c.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Time course of recovery following resistance exercise with different loading magnitudes and velocity loss in the set. **Sports**, v. 7, n. 3, p. 59, 2019.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 10, p. 2867–2876, 2020a.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Velocity loss as a critical variable determining the adaptations to strength training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 52, n. 8, p. 1752–1762, 2020b.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Effects of velocity loss in the bench press exercise on strength gains, neuromuscular adaptations, and muscle hypertrophy. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 30, n. 11, p. 2154–2166, 2020c.

PAREJA-BLANCO, F.; WALKER, S.; HÄKKINEN, K. Validity of using velocity to estimate intensity in resistance exercises in men and women. **International Journal of Sports Medicine**, v. 41, n. 14, p. 1047–1055, 2020.

PEARCEY, G. E. P. et al. Chronic resistance training: Is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain? **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 9, p. 2413–2422, 2021.

PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 5, p. 1258–1265, 2019a.

PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Precision of 7 commercially available devices for predicting bench-press 1-repetition maximum from the individual load–velocity relationship. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 10, p. 1442–1446, 2019b.

PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Validity of different velocity-based methods and repetitions-to-failure equations for predicting the 1 repetition maximum during 2 upper-body pulling exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 00, n. 00, p. 1–9, 2019d.

PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Influence of grip width and anthropometric characteristics on the bench-press load-velocity relationship. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 15, n. 7, p. 949–957, 2020a.

PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Comparison of the bench press one-repetition maximum obtained by different procedures: Direct assessment vs. lifts-to-failure equations vs. two-point method. **International Journal of Sports Science and Coaching**, v. 15, n. 3, p. 337–346, 2020b.

PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Load-velocity relationship in variations of the half-squat exercise: Influence of execution technique. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 4, p. 1024–1031, 2020c.

PÉREZ-CASTILLA, A.; FERNANDES, J. F. T.; GARCÍA-RAMOS, A. Validity of the bench press one-repetition maximum test predicted through individualized load-velocity relationship using different repetition criteria and minimal velocity thresholds. **Isokinetics and Exercise Science**, p. 1–9, 2021.

PESTAÑA-MELERO, F. L. et al. Reliability of the load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 34, n. 3, p. 184–190, 2018.

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

PICERNO, P. et al. 1RM prediction: A novel methodology based on the force–velocity and load–velocity relationships. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 10, p. 2035–2043, 2016.

RAASTAD, T.; BJØRO, T.; HALLÉN, J. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 82, n. 1–2, 2000.

RICHENS, B.; CLEATHER, D. J. The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. **Biology of sport / Institute of Sport**, v. 31, n. 2, p. 157–61, 2014.

RISCART-LÓPEZ, J. et al. Effects of four different velocity-based training programming models on strength gains and physical performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 3, p. 596–603, 2021.

RITTI-DIAS, R. M. et al. Influence of previous experience on resistance training on reliability of one-repetition maximum test. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 5, p. 1418–22, 2011.

RODILES-GUERRERO, L.; PAREJA-BLANCO, F.; LEÓN-PRADOS, J. A. Comparison of load-velocity relationships in two bench press variations: Weight stack machine vs Smith machine. **Sports Biomechanics**, v. 00, n. 00, p. 1–13, 2020.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Effort index as a novel variable for monitoring the level of effort during resistance exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 8, p. 2139–2153, 2018.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Velocity-based resistance training: Impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 45, n. 8, p. 817–828, 2020a.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Role of the effort index in predicting neuromuscular fatigue during resistance exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 2020b.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Effect of velocity loss during squat training on neuromuscular performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v.31, n. 8, p. 1621-1635, 2021.

RØNNESTAD, B. R. et al. Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 25, n. 1, p. e89–e98, 2015.

RUF, L.; CHÉRY, C.; TAYLOR, K. L. Validity and reliability of the load-velocity relationship to predict the one-repetition maximum in deadlift. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 3, p. 681–689, 2018.

SALE, D. G. Neural adaptation to resistance training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 20, n. Sup 1, p. S135–S145, 1988.

SÁNCHEZ-MEDINA, L. et al. Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs bench press exercises. **International Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 3, p. 209–216, 2014.

SÁNCHEZ-MEDINA, L. et al. Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. **Sports Medicine International Open**, v. 01, n. 02, p. E80–E88, 2017.

SANCHEZ-MEDINA, L.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 43, n. 9, p. 1725–1734, 2011.

SANCHEZ-MEDINA, L.; PEREZ, C. E.; GONZALEZ-BADILLO, J. J. Importance of the propulsive phase in strength assessment. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 2, p. 123–129, 2010.

SÁNCHEZ-MORENO, M. et al. Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 10, p. 1378–1384, 2017.

SCHOENFELD, B. J. et al. Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. **European Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 12, p. 2491–7, 2014.

SCHOENFELD, B. J. et al. Effects of low- vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 10, 2015.

SCHOENFELD, B. J. et al. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 12, p. 3508–3523, 2017.

SCHOENFELD, B. J. et al. Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A re-examination of the repetition continuum. **Sports**, v. 9, n. 2, p. 1–28, 2021.

SEITZ, L. B. et al. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: A systematic review with meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 44, n. 12, p. 1693–702, 2014.

ŠKARABOT, J. et al. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 3, p. 675–685, 2021.

SOARES-CALDEIRA, L. F. et al. Familiarization indexes in sessions of 1-RM tests in adult women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 7, p. 2039–45, 2009.

SORIANO, M. A. et al. The optimal load for maximal power production during lower-body resistance exercises: A meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 45, n. 8, p. 1191–205, 2015.

SORIANO, M. A. et al. A comparison of three load-velocity based methods to estimate maximum overhead press performance in weightlifters. **International Journal of Sports Science & Coaching**, p. 1–9, 2022.

SORIANO, M. A.; SUCHOMEL, T. J.; MARÍN, P. J. The optimal load for maximal power production during upper-body resistance exercises: A meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 47, n. 4, p. 757–768, 2017.

STONE, M. H.; COLLINS, D.; PLISK, S. Strength and conditioning: Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training -a coaching perspective. **Sports Biomechanics**, v. 1, n. 1, p. 79–103, 2002.

SUCHOMEL, T. J. et al. The importance of muscular strength: Training considerations. **Sports Medicine**, v. 48, n. 4, p. 765–785, 2018.

SUCHOMEL, T. J. et al. Training for muscular strength: Methods for monitoring and adjusting training intensity. **Sports Medicine**, v. 51, n. 10, p. 2051–2066, 2021.

SUCHOMEL, T. J.; NIMPHIUS, S.; STONE, M. H. The importance of muscular strength in athletic performance. **Sports Medicine**, v. 46, n. 10, p. 1419–49, 2016.

SWINTON, P. A. et al. A biomechanical analysis of straight and hexagonal barbell deadlifts using submaximal loads. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 7, p. 2000–2009, 2011.

SWINTON, P. A. et al. Effect of load positioning on the kinematics and kinetics of weighted vertical jumps. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 4, p. 906–913, 2012.

TAN, B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 13, n. 3, p. 289–304, 1999.

- THOMAS, J.; SILVERMAN, S.; NELSON, J. Research Methods in Physical Activity, 7E. 2015.
- THOMPSON, S. W. et al. Pooled versus individualized load–velocity profiling in the free-weight back squat and power clean. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, p. 1–9, 2020a.
- THOMPSON, S. W. et al. The effectiveness of two methods of prescribing load on maximal strength development: A systematic review. **Sports Medicine**, v. 50, n. 5, p. 919–938, 2020b.
- TORREJÓN, A. et al. The load-velocity profile differs more between men and women than between individuals with different strength levels. **Sports Biomechanics**, v. 18, n. 3, p. 245–255, 2018.
- TSOUKOS, A. et al. Changes in EMG and movement velocity during a set to failure against different loads in the bench press exercise. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 31, n. 11, p. 2071–2082, 2021.
- VIEIRA, A. F. et al. Effects of resistance training performed to failure or not to failure on muscle strength, hypertrophy, and power output: A systematic review with meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 4, p. 1165–1175, 1 2021a.
- VIEIRA, J. G. et al. Effects of resistance training to muscle failure on acute fatigue: A systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, p. 1–23, 2021b.
- WEAKLEY, J. et al. The validity and reliability of commercially available resistance training monitoring devices: A systematic review. **Sports Medicine**, v. 51, n. 3, p. 443–502, 2021a.
- WEAKLEY, J. et al. Velocity-based training: From theory to application. **Strength & Conditioning Journal**, v. 43, n. 2, p. 31–49, 2021b.
- ZHANG, M. et al. Comparison of velocity and percentage-based training on maximal strength : Meta-analysis. **International Journal of Sports Medicine**, 2022.
- ZOURDOS, M. C. et al. Efficacy of daily one-repetition maximum training in well-trained powerlifters and weightlifters: A case series. **Nutrición Hospitalaria**, v. 33, n. 2, p. 437–443, 2016.
- AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318–1326, 2002.
- AAGAARD, P.; BOJSEN-MØLLER, J.; LUNDBYE-JENSEN, J. Assessment of neuroplasticity with strength training. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 48, n. 4, p. 151–162, 2020.
- ABE, T. et al. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 81, n. 3, p. 174–180, 2000.
- ATKINSON, G.; NEVILL, A. M. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. **Sports Medicine**, v. 26, n. 4, p. 217–238, 1998.
- BALSALOBRE-FERNÁNDEZ, C.; GARCÍA-RAMOS, A.; JIMÉNEZ-REYES, P. Load–velocity profiling in the military press exercise: Effects of gender and training. **International Journal of Sports Science and Coaching**, v. 13, n. 5, p. 743–750, 2018.
- BALSALOBRE-FERNÁNDEZ, C.; TORRES-RONDA, L. The implementation of velocity-based training paradigm for team sports: framework, technologies, practical recommendations and challenges. **Sports**, v. 9, n. 4, p. 47, 2021.

- BALSHAW, T. G. et al. Changes in agonist neural drive, hypertrophy and pre-training strength all contribute to the individual strength gains after resistance training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 4, p. 631–640, 2017.
- BANYARD, H. G. et al. The reliability of individualized load–velocity profiles. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 6, p. 763–769, 2018.
- BANYARD, H. G. et al. Comparison of the effects of velocity-based training methods and traditional 1RM-percent-based training prescription on acute kinetic and kinematic variables. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 2, p. 246–255, 2019.
- BANYARD, H. G. et al. Superior changes in jump, sprint, and change-of-direction performance but not maximal strength following 6-weeks of velocity-based training compared with 1-repetition-maximum percentage-based training. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 2, p. 232–242, 2021.
- BANYARD, H. G.; NOSAKA, K.; HAFF, G. G. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 7, p. 1897–1904, 2017.
- BATACAN, R. B. et al. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 6, p. 494–503, mar. 2017.
- BEHM, D. G.; SALE, D. G. Velocity specificity of resistance training. **Sports Medicine**, v. 15, n. 6, p. 374–388, 1993.
- BENAVIDES-UBRIC, A. et al. Analysis of the load-velocity relationship in deadlift exercise. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 19, n. 3, p. 452–459, 2020.
- BIRD, S. P.; TARPENNING, K. M.; MARINO, F. E. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. **Sports Medicine**, v. 35, n. 10, p. 841–851, 2005.
- BROWN, L., E.; WEIR, J., P. ASEP procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 4, n. 3, 2001.
- BUCKNER, S. L. et al. Do exercise-induced increases in muscle size contribute to strength in resistance-trained individuals? **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 41, n. 4, p. 326–333, 2021.
- BUJALANCE-MORENO, P.; LATORRE-ROMÁN, P. Á.; GARCÍA-PINILLOS, F. A systematic review on small-sided games in football players: Acute and chronic adaptations. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 8, p. 921–949, 2019.
- CALLAGHAN, D. E. et al. Validity of the PUSH band 2.0 and Speed4lifts to measure velocity during upper and lower body free-weight resistance exercises. **Journal of Sports Sciences**, v. 40, n. 9, p. 1–8, 2022.
- CARROLL, K. M. et al. Divergent performance outcomes following resistance training using repetition maximums or relative intensity. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n.1, p. 1–28, 2018.
- CAVEN, E. J. G. et al. Group versus individualised minimum velocity thresholds in the prediction of maximal strength in trained female athletes. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 21, p. 1–10, 2020.

ÇETIN, O. et al. Reliability and validity of the multi-point method and the 2-point method's variations of estimating the one-repetition maximum for deadlift and back squat exercises. **PeerJ**, v. 10, n. e13013, 2022.

CHÉRY, C.; RUF, L. Reliability of the load-velocity relationship and validity of the PUSH to measure velocity in the deadlift. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 9, p. 2370–2380, 2019.

CHTOUROU, H. et al. The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 1, p. 217–225, 2012.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. (Routledge, Ed.)New Jersey, 1988.

CONCEIÇÃO, F. et al. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. **Journal of Sports Sciences**, v. 34, n. 12, p. 1099–1106, 2016.

CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 9, p. 1731–44, 2010.

CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Developing maximal neuromuscular power. Part 1 — Biological basis of maximal power production. **Sports Medicine**, v. 41, n. 2, p. 125–146, fev. 2011.

DANKEL, S. J. et al. Muscle adaptations following 21 consecutive days of strength test familiarization compared with traditional training. **Muscle & nerve**, v. 56, n. 2, p. 307–314, 2017.

DANKEL, S. J.; LOENNEKE, J. P. Effect sizes for paired data should use the change score variability rather than the pre-test variability. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 6, p. 1773–1778, 2021.

DAVIES, T. et al. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: A systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 46, n. 4, p. 487–502, 2016.

DE HOYO, M. et al. Predicting loading intensity measuring velocity in barbell hip thrust exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35 n. 8, p. 2075-2081, 2021.

DEL VECCHIO, A. et al. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. **Journal of Physiology**, v. 597, n. 7, p. 1873–1887, 2019.

DORRELL, H. F.; SMITH, M. F.; GEE, T. I. Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power adaptations. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 1, p. 46–53, jan. 2020.

DOWNS, S. H.; BLACK, N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, 1998.

FERNANDES, J. F. T. et al. Comparison of the FitroDyne and GymAware rotary encoders for quantifying peak and mean velocity during traditional multijointed exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35 n. 6, p. 1760–1765, 2021.

FERNANDES, J. F. T.; LAMB, K. L.; TWIST, C. A comparison of load-velocity and load-power relationships between well-trained young and middle-aged males during three popular resistance exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 5, p. 1440–1447, 2018.

FIGUEIREDO, V. C.; DE SALLES, B. F.; TRAJANO, G. S. Volume for muscle hypertrophy and health outcomes: The most effective variable in resistance training. **Sports Medicine**, v. 48, n. 3, p. 499–505, 2018.

FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Medicine**, v. 37, n. 2, p. 145–168, 2007.

FONSECA, F. S. et al. Acute effects of equated volume-load resistance training leading to muscular failure versus non-failure on neuromuscular performance. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 18, n. 2, p. 94–100, 2020.

FRANCHINI, E. et al. Influence of linear and undulating strength periodization on physical fitness, physiological, and performance responses to simulated judo matches. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 2, p. 358–67, 2015.

GABRIEL, D. A.; KAMEN, G.; FROST, G. Neural adaptations to resistive exercise: Mechanisms and recommendations for training practices. **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 133–149, 2006.

GANTOIS, P. et al. Analysis of velocity- and power-load relationships of the free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises. **Biology of Sport**, v. 40, n. 1, 2023.

GARCÍA-PINILLOS, F. et al. Validity and reliability of the WIMU® system to measure barbell velocity during the half-squat exercise. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 233, n. 3, p. 408–415, 2019.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Differences in the load-velocity profile between 4 bench-press variants. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 3, p. 326–331, 2018a.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Mean velocity vs. Mean propulsive velocity vs. Peak velocity: Which variable determines bench press relative load with higher reliability? **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 5, p. 1273–1279, 2018b.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 4, p. 474–481, 2018c.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Differences in the one-repetition maximum and load-velocity profile between the flat and arched bench press in competitive powerlifters. **Sports Biomechanics**, v. 00, n. 00, p. 1–13, 2018d.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Assessment of the load-velocity profile in the free-weight prone bench pull exercise through different velocity variables and regression models. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, p. 1–12, 2019a.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Reliability and validity of different methods of estimating the one-repetition maximum during the free-weight prone bench pull exercise. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 19, p. 2205–2212, 2019b.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Bench press one-repetition maximum estimation through the individualised load-velocity relationship: comparison of different regression models and minimal velocity thresholds. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n.8 p. 1074–1081, 2020a.

GARCÍA-RAMOS, A. et al. Reliability of the velocity achieved during the last repetition of sets to failure and its association with the velocity of the 1-repetition maximum. **PeerJ**, v. 2020, n. 3, 2020b.

GARCÍA-RAMOS, A.; SLOBODAN, J. Two-point method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the 1 repetition maximum. **Strength and Conditioning**, v. 40, n. 2, p. 54–66, 2018.

GARCÍA-RAMOS, A.; SUZOVIC, D.; PÉREZ-CASTILLA, A. The load-velocity profiles of three upper-body pushing exercises in men and women. **Sports Biomechanics**, v. 20, n. 6l, p. 1–13, 2019.

GENTRY, M. et al. Strength training modalities: Introducing the trap bar. **Strength & Conditioning Journal**, v. 9, n. 3, p. 54–56, 1987.

GONZÁLEZ-BADILLO, J. et al. Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 04, p. 295–304, 2015.

GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. et al. **Fundamentals of velocity-based resistance training**. [s.l.] Ergottech, 2017.

GONZÁLEZ-BADILLO, J. J.; MARQUES, M. C.; SÁNCHEZ-MEDINA, L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. **Journal of Human Kinetics**, v. 29A, n. Special Issue, p. 15–9, 2011.

GONZÁLEZ-BADILLO, J.; SÁNCHEZ-MEDINA, L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 5, p. 347–352, 2010.

GOROSTIAGA, E. M. et al. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. **PLoS ONE**, v. 7, n. 7, 2012.

HÄKKINEN, K. et al. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 56, n. 4, p. 419–427, 1987.

HÄKKINEN, K.; KESKINEN, K. L. Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 59, n. 3, p. 215–220, 1989.

HARRIS, N. K. et al. Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 6, p. 1742–9, 2008.

HELD, S. et al. Improved strength and recovery after velocity-based training: A Randomized controlled trial. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 8, p. 1185–1193, 2020.

HELMS, E. R. et al. Application of the repetitions in reserve-based rating of perceived exertion scale for resistance training. **Strength & Conditioning Journal**, v. 38, n.4, 2016.

HERNÁNDEZ-BELMONTE, A. et al. A comprehensive analysis of the velocity-based method in the shoulder press exercise: stability of the load-velocity relationship and sticking region parameters. **Biology of Sport**, p. 235–243, 2021.

HISCOCK, D. J. et al. Can changes in resistance exercise workload influence internal load, countermovement jump performance and the endocrine response? **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 2, p. 191–197, 2018.

HOEGER, W. et al. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. **Journal of Applied Sport Science Research**, v. 4, n. 2, p. 47–54, 1990.

HORSLEY, T.; DINGWALL, O.; SAMPSON, M. Checking reference lists to find additional studies for systematic reviews. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 8, 2011.

HUGHES, L. J. et al. Using a load-velocity relationship to predict one repetition maximum in free-weight exercise: A comparison of the different methods. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 9, p. 2409–2419, 2019.

HULLEY, S. et al. **Delineando a pesquisa clínica**. [s.l.] Artmed, 2015.

IKEZOE, T. et al. Effects of low-load, higher-repetition vs. high-load, lower-repetition resistance training not performed to failure on muscle strength, mass, and echo intensity in healthy young men: A time-course study. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 12, p. 3439–3445, 2020.

IZQUIERDO, M. et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. **International Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 9, p. 718–724, 2006a.

IZQUIERDO, M. et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1647–56, 2006b.

IZQUIERDO-GABARREN, M. et al. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 42, n. 6, p. 1191–1199, 2010.

JANICJEVIC, D. et al. Bench press 1-repetition maximum estimation through the individualized load–velocity relationship: comparison of different regression models and minimal velocity thresholds. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 8, p. 1074–1081, 2021.

JENKINS, N. D. M. et al. Greater neural adaptations following high- vs. low-load resistance training. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 1–15, 2017.

JOVANOVIĆ, M.; FLANAGAN, E. P. Researched applications of velocity based strength training. **Journal of Australian Strength and Conditioning**, v. 23, n. 7, 2015.

JUKIC, I. et al. The use of lifting straps alters the entire load-velocity profile during the deadlift exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 12, p. 3331–3337, 2020a.

JUKIC, I. et al. Validity of load–velocity relationship to predict 1 repetition maximum during deadlifts performed with and without lifting straps. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 4, p. 902–910, 2020b.

JUKIC, I. et al. The effects of set structure manipulation on chronic adaptations to resistance training: A systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 51, n. 5, p. 1061–1086, 2021.

JUKIC, I.; TUFANO, J. J. Traditional 3- to 5-minute interset rest periods may not be necessary when performing fewer repetitions per set: Using clean pulls as an example. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 11, p. 3015–3022, 2020.

JULIO, U. F.; PANISSA, V. L. G.; FRANCHINI, E. Prediction of one repetition maximum from the maximum number of repetitions with submaximal loads in recreationally strength-trained men. **Science and Sports**, v. 27, n. 6, p. e69–e76, 2012.

KAWAMORI, N.; HAFF, G. G. The optimal training load for the development of muscular power. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 3, p. 675–84, 2004.

KRAEMER, W. J. et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 2, p. 364–380, 2002.

KRAEMER, W. J.; NEWTON, R. U. Training for muscular power. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**, v. 11, n. 2, p. 341–368, 2000.

KRAEMER, W. J.; RATAMESS, N. A. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 4, p. 674–688, 2004.

LAKE, J. et al. Comparison of different minimal velocity thresholds to establish deadlift one repetition maximum. **Sports**, v. 5, n. 3, p. 70, 2017.

LASEVICIUS, T. et al. Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. **European Journal of Sport Science**, v. 18, n. 6, p. 772–780, 3 jul. 2018.

LOCKIE, R. G. et al. The 1 repetition maximum mechanics of a high-handle hexagonal bar deadlift compared with a conventional deadlift as measured by a linear position transducer. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 1, p. 150–161, 2018.

LOCKIE, R. G.; LAZAR, A. Exercise technique: Applying the hexagonal bar to strength and power training. **Strength & Conditioning Journal**, v. 39, n. 5, p. 24–32, 2017.

LOPEZ, P. et al. Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: Systematic review and network meta-analysis. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 53, n. 6, p. 1206–1216, 2021.

LOTURCO, I. et al. Determining the optimum power load in jump squat using the mean propulsive velocity. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–12, 2015a.

LOTURCO, I. et al. Half-squat or jump squat training under optimum power load conditions to counteract power and speed decrements in Brazilian elite soccer players during the preseason. **Journal of Sports Sciences**, v. 33, n. 12, p. 1283–1292, 2015b.

LOTURCO, I. et al. Using bar velocity to predict maximum dynamic strength in the half-squat exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 11, n. 5, p. 697–700, 2016a.

LOTURCO, I. et al. Traditional periodization versus optimum training load applied to soccer players: effects on neuromuscular abilities. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 13, p. 1051–1059, 2016b.

LOTURCO, I. et al. Predicting the maximum dynamic strength in bench press: The high precision of the bar velocity approach. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 4, p. 1127–1131, 2017a.

LOTURCO, I. et al. Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 8, p. 734–741, 2017b.

- LOTURCO, I. et al. Determining the optimum bar velocity in the barbell hip thrust exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v.15, n.4, p. 585-589, 2019.
- LOTURCO, I. et al. Power training in elite young soccer players: Effects of using loads above or below the optimum power zone. **Journal of Sports Sciences**, v. 38, n.11, p.1416-1422, 2020.
- LOTURCO, I. et al. Force-velocity relationship in three different variations of prone row exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 2, p. 300–309, 2021a.
- LOTURCO, I. et al. The optimum power load: A simple and powerful tool for testing and training. **International journal of sports physiology and performance**, p. 1–9, 2021b.
- MAESTRONI, L. et al. The benefits of strength training on musculoskeletal system health: practical applications for interdisciplinary care. **Sports Medicine**, v. 50, n. 8, p. 1431–1450, 2020.
- MARTINEZ-CANTON, M. et al. Role of CaMKII and sarcolipin in muscle adaptations to strength training with different levels of fatigue in the set. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 31, n. 1, p. 91–103, 2021.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 10, p. 1088–1096, 2019a.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Range of motion and sticking region effects on the bench press load-velocity relationship. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 18, n. 4, p. 645–652, 2019b.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Reliability of technologies to measure the barbell velocity: Implications for monitoring resistance training. **PLOS ONE**, v. 15, n. 6, p. e0232465, 2020.
- MARTÍNEZ-CAVA, A. et al. Effect of pause versus rebound techniques on neuromuscular and functional performance after a prolonged velocity-based training. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 16, n. 7, p. 927–933, 2021.
- MARTORELLI, S. et al. Strength training with repetitions to failure does not provide additional strength and muscle hypertrophy gains in young women. **European Journal of Translational Myology**, v. 27, n. 2, 2017.
- MCBRIDE, J. M. et al. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 16, n. 1, p. 75–82, 2002.
- MCBURNIE, A. J. et al. The Benefits and limitations of predicting one repetition maximum using the load-velocity relationship. **Strength and Conditioning Journal**, v. 41, n. 6, p. 28-40, 2019.
- MENDIGUCHIA, J. et al. Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 25, n. 6, p. e621-9, 2015.
- MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica**, 2016.
- MORÁN-NAVARRO, R. et al. Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 12, p. 2387–2399, 2017.
- MORÁN-NAVARRO, R. et al. Load-velocity relationship of the deadlift exercise. **European Journal of Sport Science**, v. 21, n. 5, p. 678–684, 2021.

- MOSS, B. M. et al. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 3, p. 193–199, 1997.
- MUÑOZ-LÓPEZ, M. et al. Load-, force-, and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. **International journal of sports physiology and performance**, v. 12, n. 9, p. 1249–1255, 2017.
- NARICI, M. V. et al. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 59, n. 4, p. 310–319, 1989.
- NARICI, M. V. et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 157, n. 2, p. 175–186, 1996.
- NASCIMENTO, M. et al. Familiarization and reliability of one repetition maximum strength testing in older women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 3, p. 1636–42, 2013.
- NIGRO, F.; BARTOLOMEI, S. A Comparison between the squat and the deadlift for lower body strength and power training. **Journal of Human Kinetics**, v. 73, n. 1, p. 145–152, 2020.
- OGASAWARA, R. et al. Comparison of muscle hypertrophy following 6-month of continuous and periodic strength training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 4, p. 975–985, 2013.
- ORANGE, S. T. et al. Effects of in-season velocity-versus percentage-based training in academy rugby league players. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 15, n. 4, p. 554–561, 2020.
- ORTEGA-RODRÍGUEZ, R. et al. Effect of the pronated pull-up grip width on performance and power-force-velocity profile. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 00, n. 00, p. 1–8, 2020.
- OUZZANI, M. et al. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, 2016.
- PALLARÉS, J. G. et al. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. **Journal of Sports Sciences**, v. 32, n. 12, p. 1165–1175, 2014.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 37, n. 6, p. 630–639, 2017a.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 27, n. 7, p. 724–735, 2017b.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 4, p. 512–519, 2017c.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Time course of recovery following resistance exercise with different loading magnitudes and velocity loss in the set. **Sports**, v. 7, n. 3, p. 59, 2019.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 10, p. 2867–2876, 2020a.

- PAREJA-BLANCO, F. et al. Velocity loss as a critical variable determining the adaptations to strength training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 52, n. 8, p. 1752–1762, 2020b.
- PAREJA-BLANCO, F. et al. Effects of velocity loss in the bench press exercise on strength gains, neuromuscular adaptations, and muscle hypertrophy. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 30, n. 11, p. 2154–2166, 2020c.
- PAREJA-BLANCO, F.; WALKER, S.; HÄKKINEN, K. Validity of using velocity to estimate intensity in resistance exercises in men and women. **International Journal of Sports Medicine**, v. 41, n. 14, p. 1047–1055, 2020.
- PEARCEY, G. E. P. et al. Chronic resistance training: Is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain? **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 9, p. 2413–2422, 2021.
- PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 5, p. 1258–1265, 2019a.
- PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Precision of 7 commercially available devices for predicting bench-press 1-repetition maximum from the individual load–velocity relationship. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 10, p. 1442–1446, 2019b.
- PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Validity of different velocity-based methods and repetitions-to-failure equations for predicting the 1 repetition maximum during 2 upper-body pulling exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 00, n. 00, p. 1–9, 2019d.
- PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Influence of grip width and anthropometric characteristics on the bench-press load-velocity relationship. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 15, n. 7, p. 949–957, 2020a.
- PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Comparison of the bench press one-repetition maximum obtained by different procedures: Direct assessment vs. lifts-to-failure equations vs. two-point method. **International Journal of Sports Science and Coaching**, v. 15, n. 3, p. 337–346, 2020b.
- PÉREZ-CASTILLA, A. et al. Load-velocity relationship in variations of the half-squat exercise: Influence of execution technique. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 4, p. 1024–1031, 2020c.
- PÉREZ-CASTILLA, A.; FERNANDES, J. F. T.; GARCÍA-RAMOS, A. Validity of the bench press one-repetition maximum test predicted through individualized load-velocity relationship using different repetition criteria and minimal velocity thresholds. **Isokinetics and Exercise Science**, p. 1–9, 2021.
- PESTAÑA-MELERO, F. L. et al. Reliability of the load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 34, n. 3, p. 184–190, 2018.
- PETERSON, M. D.; RHEA, M. R.; ALVAR, B. A. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 4, p. 950–8, 2005.
- PICERNO, P. et al. 1RM prediction: A novel methodology based on the force–velocity and load–velocity relationships. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 10, p. 2035–2043, 2016.

RAASTAD, T.; BJØRO, T.; HALLÉN, J. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 82, n. 1–2, 2000.

RICHEHS, B.; CLEATHER, D. J. The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. **Biology of sport / Institute of Sport**, v. 31, n. 2, p. 157–61, 2014.

RISCART-LÓPEZ, J. et al. Effects of four different velocity-based training programming models on strength gains and physical performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 3, p. 596–603, 2021.

RITTI-DIAS, R. M. et al. Influence of previous experience on resistance training on reliability of one-repetition maximum test. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 5, p. 1418–22, 2011.

RODILES-GUERRERO, L.; PAREJA-BLANCO, F.; LEÓN-PRADOS, J. A. Comparison of load-velocity relationships in two bench press variations: Weight stack machine vs Smith machine. **Sports Biomechanics**, v. 00, n. 00, p. 1–13, 2020.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Effort index as a novel variable for monitoring the level of effort during resistance exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 8, p. 2139–2153, 2018.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Velocity-based resistance training: Impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 45, n. 8, p. 817–828, 2020a.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Role of the effort index in predicting neuromuscular fatigue during resistance exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 2020b.

RODRÍGUEZ-ROSELL, D. et al. Effect of velocity loss during squat training on neuromuscular performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v.31, n. 8, p. 1621-1635, 2021.

RØNNESTAD, B. R. et al. Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 25, n. 1, p. e89–e98, 2015.

SALE, D. G. Neural adaptation to resistance training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 20, n. Sup 1, p. S135–S145, 1988.

SÁNCHEZ-MEDINA, L. et al. Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs bench press exercises. **International Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 3, p. 209–216, 2014.

SÁNCHEZ-MEDINA, L. et al. Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. **Sports Medicine International Open**, v. 01, n. 02, p. E80–E88, 2017.

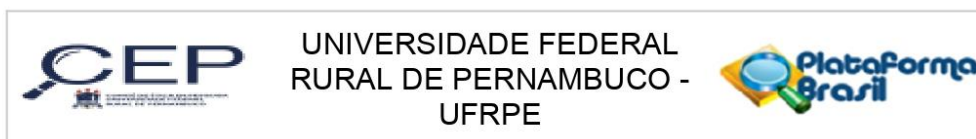
SANCHEZ-MEDINA, L.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 43, n. 9, p. 1725–1734, 2011.

SANCHEZ-MEDINA, L.; PEREZ, C. E.; GONZALEZ-BADILLO, J. J. Importance of the propulsive phase in strength assessment. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 2, p. 123–129, 2010.

- SÁNCHEZ-MORENO, M. et al. Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 10, p. 1378–1384, 2017.
- SCHOENFELD, B. J. et al. Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. **European Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 12, p. 2491–7, 2014.
- SCHOENFELD, B. J. et al. Effects of low- vs. High-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 10, 2015.
- SCHOENFELD, B. J. et al. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 12, p. 3508–3523, 2017.
- SCHOENFELD, B. J. et al. Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A re-examination of the repetition continuum. **Sports**, v. 9, n. 2, p. 1–28, 2021.
- SEITZ, L. B. et al. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: A systematic review with meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 44, n. 12, p. 1693–702, 2014.
- ŠKARABOT, J. et al. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 3, p. 675–685, 2021.
- SOARES-CALDEIRA, L. F. et al. Familiarization indexes in sessions of 1-RM tests in adult women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 7, p. 2039–45, 2009.
- SORIANO, M. A. et al. The optimal load for maximal power production during lower-body resistance exercises: A meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 45, n. 8, p. 1191–205, 2015.
- SORIANO, M. A. et al. A comparison of three load-velocity based methods to estimate maximum overhead press performance in weightlifters. **International Journal of Sports Science & Coaching**, p. 1–9, 2022.
- SORIANO, M. A.; SUCHOMEL, T. J.; MARÍN, P. J. The optimal load for maximal power production during upper-body resistance exercises: A meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 47, n. 4, p. 757–768, 2017.
- STONE, M. H.; COLLINS, D.; PLISK, S. Strength and conditioning: Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training -a coaching perspective. **Sports Biomechanics**, v. 1, n. 1, p. 79–103, 2002.
- SUCHOMEL, T. J. et al. The importance of muscular strength: Training considerations. **Sports Medicine**, v. 48, n. 4, p. 765–785, 2018.
- SUCHOMEL, T. J. et al. Training for muscular strength: Methods for monitoring and adjusting training intensity. **Sports Medicine**, v. 51, n. 10, p. 2051–2066, 2021.
- SUCHOMEL, T. J.; NIMPHIUS, S.; STONE, M. H. The importance of muscular strength in athletic performance. **Sports Medicine**, v. 46, n. 10, p. 1419–49, 2016.
- SWINTON, P. A. et al. A biomechanical analysis of straight and hexagonal barbell deadlifts using submaximal loads. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 7, p. 2000–2009, 2011.

- SWINTON, P. A. et al. Effect of load positioning on the kinematics and kinetics of weighted vertical jumps. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 4, p. 906–913, 2012.
- TAN, B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 13, n. 3, p. 289–304, 1999.
- THOMAS, J.; SILVERMAN, S.; NELSON, J. Research Methods in Physical Activity, 7E. 2015.
- THOMPSON, S. W. et al. Pooled versus individualized load–velocity profiling in the free-weight back squat and power clean. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, p. 1–9, 2020a.
- THOMPSON, S. W. et al. The effectiveness of two methods of prescribing load on maximal strength development: A systematic review. **Sports Medicine**, v. 50, n. 5, p. 919–938, 2020b.
- TORREJÓN, A. et al. The load-velocity profile differs more between men and women than between individuals with different strength levels. **Sports Biomechanics**, v. 18, n. 3, p. 245–255, 2018.
- TSOUKOS, A. et al. Changes in EMG and movement velocity during a set to failure against different loads in the bench press exercise. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 31, n. 11, p. 2071–2082, 2021.
- VIEIRA, A. F. et al. Effects of resistance training performed to failure or not to failure on muscle strength, hypertrophy, and power output: A systematic review with meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 4, p. 1165–1175, 1 2021a.
- VIEIRA, J. G. et al. Effects of resistance training to muscle failure on acute fatigue: A systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, p. 1–23, 2021b.
- WEAKLEY, J. et al. The validity and reliability of commercially available resistance training monitoring devices: A systematic review. **Sports Medicine**, v. 51, n. 3, p. 443–502, 2021a.
- WEAKLEY, J. et al. Velocity-based training: From theory to application. **Strength & Conditioning Journal**, v. 43, n. 2, p. 31–49, 2021b.
- ZHANG, M. et al. Comparison of velocity and percentage-based training on maximal strength : Meta-analysis. **International Journal of Sports Medicine**, 2022.
- ZOURDOS, M. C. et al. Efficacy of daily one-repetition maximum training in well-trained powerlifters and weightlifters: A case series. **Nutrición Hospitalaria**, v. 33, n. 2, p. 437–443, 2016.

Anexo A – Parecer consubstanciado do Comitê de Ética e Pesquisa - UFRPE



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITOS AGUDOS E CRÔNICOS DO EXERCÍCIO DE FORÇA SOBRE AS RESPOSTAS MECÂNICAS, METABÓLICAS, NEUROMUSCULARES, PERCEPTIVAS E DESEMPENHO FÍSICO EM ADULTOS TREINADOS

Pesquisador: Fabiano de Souza Fonseca

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 55312521.4.0000.9547

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO- UFRPE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.283.591

Apresentação do Projeto:

As informações descritas nesta seção foram extraídas do arquivo 5_Projeto.pdf postado pelo pesquisador no dia 23/12/2021. O projeto tem como título: “Efeitos agudos e crônicos do exercício de força sobre as respostas mecânicas, metabólicas, neuromusculares, perceptivas e desempenho físico em adultos treinados”. O treinamento de força é considerado como um dos principais métodos de treinamento para promoção de adaptações neuromuscular e que ao longo de um período promovem modificações morfológicas e neurais, tais como o aumento da força e potência muscular. Para otimizar essas adaptações neuromusculares ao treinamento de força preconiza-se diferentes métodos e configurações das variáveis do treinamento tais como tempo de descanso, frequência, tipo do exercício, intensidade, volume e nível de esforço. A estrutura organizacional do projeto atende a duas linhas de pesquisa do grupo de estudo, a saber: (1) Análise dos efeitos agudos de diferentes configurações do exercício de força sobre as respostas mecânicas, metabólicas, neuromusculares, perceptivas e desempenho físico em adultos treinados, e (2) Análise dos efeitos de programas de treinamento de força com diferentes configurações sobre as adaptações neuromusculares e desempenho físico de indivíduos treinados. Por fim, a presente proposta de pesquisa será conduzida em duas fases. Na fase I serão realizados os estudos de efeito agudo propostos na linha de pesquisa 1 e na fase II serão conduzidos os estudos de efeito crônico referentes à linha de pesquisa 2. São estudos caracterizados como ensaios

Endereço: Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n Dois Irmãos, 1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE
Bairro: Recife **CEP:** 52.171-900
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)3320-6638 **E-mail:** cep@ufrpe.br

Anexo B – Artigo publicado no periódico Biology of Sport

Original Paper

DOI: <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.112966>

Analysis of velocity- and power-load relationships of the free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises

AUTHORS: Petrus Gantois¹, Fabiano de Souza Fonseca^{2,3}, Fábio Yuzo Nakamura^{1,4}, Leonardo de Sousa Fortes¹, Jaime Fernandez-Fernandez⁵, Gilmário Ricarte Batista¹

¹ Associate Graduate Program in Physical Education UPE/UFPB, João Pessoa-PB, Brazil

² Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), Recife-PE, Brazil

³ Graduate Program in Physical Education UFPE, Recife-PE, Brazil

⁴ Research Center in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development (CIDESD), University of Maia (ISMAI), Maia, Portugal

⁵ Department of Physical Activity and Sport Sciences, Universidad de León, León, Spain

ABSTRACT: The aim of this study was to analyse the load-velocity and load-power relationships in the free-weight back-squat (BSQ) and hexagonal bar deadlift (HBD) exercises. Twenty-five ($n = 25$) resistance-trained men (age = 23.7 ± 2.8 years) performed a progressive load test at maximal intended velocity to determine their BSQ and HBD one-repetition maximum (1RM). Mean propulsive velocity (MPV) during the concentric phase of the lift was recorded through a linear encoder. Load-velocity and load-power relationships were analysed by fitting linear regression and the second-order polynomial, respectively, to the data. Maximum strength (1RM), MPV (30–80% 1RM), and power output (30–90% 1RM) were higher for HBD compared to BSQ exercise ($p < 0.05$). A very strong relationship between MPV and relative intensity was found for both BSQ ($R^2 = 0.963$) and HBD ($R^2 = 0.967$) exercises. The load that maximizes power output (P_{max}) was $64.6 \pm 2.9\%$ (BSQ) and $59.6 \pm 1.1\%$ (HBD) 1RM. There was a range of loads at which power output was not different than P_{max} (BSQ: 40–80% 1RM; HBD: 50–70% 1RM). In conclusion, the load-velocity and load-power relationships might assist strength and conditioning coaches to monitor and prescribe exercise intensity in the BSQ and HBD exercises using the velocity-based training approach.

CITATION: Gantois P, de Souza Fonseca F, Nakamura FY et al. Analysis of velocity- and power-load relationships of the free-weight back-squat and hexagonal bar deadlift exercises. *Biol Sport*. 2023;40(1):201–208.

Received: 2021-09-18; Reviewed: 2021-10-10; Re-submitted: 2021-12-27; Accepted: 2022-01-22; Published: 2022-02-18.

Corresponding author:

Petrus Gantois
Associate Graduate Program
in Physical Education
Federal University of Paraíba
João Pessoa, Brazil
E-mail: pgm.gantois@gmail.com

ORCID:

Petrus Gantois
0000-0002-1995-2103

Fabiano de Souza Fonseca
0000-0002-9461-8797

Fábio Yuzo Nakamura
0000-0002-5336-3652

Leonardo de Sousa Fortes
0000-0002-0778-769X

Jaime Fernandez-Fernandez
0000-0002-5284-303X

Gilmário Ricarte Batista
0000-0002-8095-7632

Key words:

Kinematic
Resistance exercise
Velocity-based training
Power output
Strength testing

INTRODUCTION

Exercise intensity is one of the most important variables in resistance training (RT) for increasing muscular strength [1]. The one-repetition maximum (1RM) and the maximum number of repetitions (RMs) are among the main reference parameters used to determine exercise load [1, 2]. Although the direct assessments of 1RM and RMs are considered valid and effective approaches for prescribing exercise loads [3, 4], their use is often associated with some drawbacks which may limit their implementation (e.g., time-consuming and fatiguing procedures and 1RM daily fluctuations) [2, 3, 5].

Velocity-based training (VBT) has been proposed as a feasible alternative to the traditional 1RM-based approach to support the prescription and adjustment of the exercise load in a variety of resistance exercises due to the very strong and stable load-velocity relationships (R^2 range: 0.94 to 0.98) [2, 6–8]. The use of general load-velocity relationship equations enables strength and conditioning coaches to easily determine which relative load (%1RM) is being lifted from the bar velocity recorded during a single repetition performed at maximum effort [2]. These data highlight the need for

further investigation of the entire load-velocity relationship in the most common resistance exercises employed in RT programmes to successfully implement the velocity-based approach.

The back-squat (BSQ) and deadlift exercises and their variations are among the most common resistance exercises used to enhance the strength of knee extensors and flexor muscles [9]. Different exercise modes (Smith machine vs. free-weight, range of motion, and equipment design) produce distinct kinematic outputs and load-velocity relationships [10–13]. For example, previous studies showed that modifying the squatting depth (i.e. full vs. half) resulted in different biomechanical patterns, force development, and kinematic outputs [6, 10]. The load-velocity relationship in the Smith machine BSQ and traditional deadlift (i.e., straight bar) exercises has already been described [8, 10, 14–17]. However, reports of the load-velocity and load-power relationship in variations of the back-squat (i.e. free-weight) and traditional deadlift (i.e., hexagonal bar) exercises are limited.

Despite the popularity of both free-weight BSQ and hexagonal deadlift (HBD) exercises among strength and conditioning coaches,

Apêndice I – Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

Termo de Consentimento para Participação em Pesquisa

(Elaborado de acordo com a Resolução 466/2012-CNS/CONEP)

Convidamos o Sr(a) a participar da pesquisa “Efeitos agudos e crônicos do exercício de força sobre as respostas mecânicas, metabólicas, neuromusculares, perceptivas e desempenho físico em adultos treinados”, sob responsabilidade dos pesquisadores Petrus Gantois Massa Dias dos Santos, Ana Denise de Sousa e Drummond Gilo, liderados pelo Professor Fabiano Fonseca tendo por objetivo analisar os efeitos agudos e crônicos de fatores intervenientes no desempenho físico sobre variáveis determinantes da performance em adultos treinados.

➤ Descrição da pesquisa: O objetivo do estudo é investigar a relação do perfil carga-velocidade em exercícios resistidos. Para tal, você realizará testes de cargas progressivas até alcançar a carga em que só conseguirá realizar uma repetição.

➤ A duração da pesquisa será de 4 semanas (total de cinco visitas) e todas as visitas serão realizadas no seu próprio local de treinamento, sem necessidade de deslocamento para outras instalações.

➤ Como potenciais riscos da sua participação no estudo é possível que você sinta incômodos e desconfortos durante as avaliações que envolvem esforço físico, entretanto, de maneira similar às rotinas de treinamento. Nessas atividades, poderá ocorrer cansaço e desconforto muscular durante e após os procedimentos. É esperado um aumento dos batimentos cardíacos e redução da prática de atividades físicas vigorosas no dia seguinte. Os riscos de lesão são pequenos e similares aos envolvidos na rotina de treinamento. Como forma de minimizar os riscos citados acima, serão adotados procedimentos de segurança, tais como: realização de testes e avaliações com cargas adequadas ao nível de condicionamentos dos atletas e que tenham respaldo científico e risco controlado; inclusão de intervalos entre 2 a 10 minutos entre os esforços para minimizar os desconfortos e garantir uma recuperação ótima; realização de procedimentos de avaliação apenas com pesquisadores capacitados e habilitados para a correta execução dos testes com segurança; uso equipamentos que disponham de travas e dispositivos de segurança para minimizar e controlar os riscos; realização de condutas de familiarização dos participantes com os procedimentos de avaliação. Todos os procedimentos serão acompanhados por profissionais com ampla experiência com os procedimentos, testes e exercícios a serem realizados para minimizar qualquer possibilidade de lesão e desconforto. Salienta-se que qualquer complicação oriunda do estudo será de responsabilidade do pesquisador responsável e o você terá o direito à indenização e ressarcimento das despesas em caso de dano.

➤ Como benefícios, se espera estabelecer uma relação com alta acurácia entre a velocidade de movimento e a carga levantada nos exercícios resistidos, e então determinar um perfil individualizado de carga-velocidade para estimar a intensidade relativa da carga para a sua prescrição no treinamento de força. Por fim, uma avaliação completa relacionada ao perfil carga-velocidade dos praticantes, será disponibilizada em forma de relatórios. Tais informações são importantes parâmetros para a orientação do treinamento e relevantes para no futuro nortear a manipulação da intensidade da carga de treinamento e melhora do desempenho físico dos mesmos.

Os dados coletados nesta pesquisa ficarão armazenados no computador pessoal, sob responsabilidade do pesquisador responsável/Orientador, no endereço acima informado, pelo período de mínimo 3 anos. Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial.

O(A) senhor(a) terá os seguintes direitos: a garantia de esclarecimento e resposta a qualquer pergunta; a liberdade de abandonar a pesquisa a qualquer momento sem prejuízo para si ou para seu tratamento

(se for o caso); a garantia de que em caso haja algum dano a sua pessoa (ou o dependente), os prejuízos serão assumidos pelos pesquisadores ou pela instituição responsável inclusive acompanhamento médico e hospitalar (se for o caso). Caso haja gastos adicionais, os mesmos serão absorvidos pelo pesquisador.

Nos casos de dúvidas e esclarecimentos o (a) senhor (a) deve procurar o pesquisador Prof. Dr. Fabiano de Souza Fonseca. Departamento de Educação Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Manoel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900. Tel.: (082) 991125951. E-mail: dr.fsfonseca@gmail.com

Caso suas dúvidas não sejam resolvidas pelos pesquisadores ou seus direitos sejam negados, favor recorrer ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizado à Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois Irmãos – CEP: 52171-900, telefone: (81) 3320.6638, ou ainda através do e-mail: cep@ufrpe.br.

Considerando, que fui informado(a) dos objetivos e da relevância do estudo proposto, de como será minha participação, dos procedimentos e riscos decorrentes deste estudo, declaro o meu consentimento em participar da pesquisa, como também concordo que os dados obtidos na investigação sejam utilizados para fins científicos (divulgação em eventos e publicações). Estou ciente que receberei uma via desse documento.

Recife, ____ de _____ de _____

Assinatura do pesquisador

Assinatura do Participante (ou responsável)