

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional  
Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte

Edgardo Alvares de Campos Abreu

**COMPARAÇÃO DE RESPOSTAS CINÉTICAS, CINEMÁTICAS E DE  
DESEMPENHO ENTRE ESCALADORES INTERMEDIÁRIOS E AVANÇADOS EM  
DIFERENTES AÇÕES MUSCULARES E A INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA  
EXTERNA NO PICO DE POTÊNCIA MUSCULAR NO *CAMPUS BOARD***

Belo Horizonte

2023

Edgardo Alvares de Campos Abreu

**COMPARAÇÃO DE RESPOSTAS CINÉTICAS, CINEMÁTICAS E DE DESEMPENHO ENTRE ESCALADORES INTERMEDIÁRIOS E AVANÇADOS EM DIFERENTES AÇÕES MUSCULARES E A INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA EXTERNA NO PICO DE POTÊNCIA MUSCULAR NO *CAMPUS BOARD***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências do Esporte.

Linha de pesquisa: Análise de métodos para o desempenho humano e esportivo.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas

Coorientador: Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade

Belo Horizonte

2023

A162c Abreu, Edgardo Alvares de Campos  
2023 Comparação de respostas cinéticas, cinemáticas e de desempenho entre escaladores intermediários e avançados em diferentes ações musculares e a influência da resistência externa no pico de potência muscular no campus board. [manuscrito] / Edgardo Alvares de Campos Abreu – 2023.  
106 f.: il.

Orientador: Mauro Heleno Chagas  
Coorientador: André Gustavo Pereira de Andrade

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 90-96

1. Treinamento com peso – Teses. 2. Musculação – Teses. 3. Força muscular – Teses. I. Chagas, Mauro Heleno. II. Andrade, André Gustavo Pereira de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 612.76

**Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Sheila Margareth Teixeira Adão, CRB 6: n° 2106, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO ESPORTE

#### ATA DE DEFESA DE TESE

EDGARDO ALVARES DE CAMPOS ABREU

Às 08:30 horas do dia 11 de agosto de 2023, a comissão examinadora de tese, indicada pelo Colegiado do Programa Pós-Graduação em Ciências do Esporte (PPGCE), reuniu-se, por meio de videoconferência, para julgar, em exame final, o trabalho de Edgardo Alvares de Campos Abreu, intitulado "Comparação de respostas cinéticas, cinemáticas e de desempenho entre escaladores intermediários e avançados em ações musculares concêntricas e ciclo de alongamento-encurtamento e a influência de diferentes resistências externas na potência muscular no campus board". Abrindo a sessão, o presidente da comissão, Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas (UFMG), orientador, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra para o candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado.

#### MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas (Orientador) – EEFPTO/UFMG  
Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade (Coorientador) – EEFPTO/UFMG  
Prof. Dr. Cristiano Diniz da Silva – UFJF  
Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi – USP  
Prof. Dr. Fernando Vitor Lima - EEFPTO/UFMG  
Prof. Dr. Ricardo Cardoso Cassilhas - UFVJM

Após as indicações, o candidato foi considerado: **APROVADO**

O resultado foi comunicado publicamente para o candidato pelo presidente da comissão examinadora. Nada mais havendo a tratar, a presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site  
[https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 2541602 e o código CRC 3AD42FF2.

Dedico esta tese de doutorado ao Emerson (caverna, lampião, mandacaru, Sabará) de Azeredo que se foi nesse julho de 2023. Emerson foi meu professor na arte e ofício de escalar as montanhas de Minas Gerais. Amigo boêmio que não perdia a piada e por onde passava era lembrado e querido. Ficam as lembranças de tantas aventuras e perrengues como ele costumava a dizer. Também fica a saudade.

Siga em paz na sua escalada rumo ao infinito.

## AGRADECIMENTO

Agradeça em primeiro lugar minha mãe, Zilda Beatriz minha eterna inspiração. Agradeço a minha esposa e amiga Mars que durante o meu doutorado me apoio incondicionalmente mesmo quando eu não pude estar próximo a ela. Agradeço também a minha família, meu pai Edward, Lelé (Paula), Dico (Cacau), Léo e a nova geração de sobrinhos. Aos alunos e amigos da escalada só tenho a agradecer pela compreensão e incentivo constante. Agradeço também a comunidade academia da EEFTTO em especial a Paula (portaria) e a Magna (limpeza) que sempre alegram os corredores. Como esquecer do Grupo Caparaó em nome da Prof.<sup>a</sup> Maria Cristina Rosa e Prof. Luiz Nicácio que juntos com os alunos da graduação convenceram o Diretor da EEFTTO o Prof. Gustavo Cortês a instalar o muro de escalada onde sub coordeno o projeto de extensão Práticas Corporais de Aventura. A CAPES pela bolsa de doutorado e ao Prof. Dr. Leszek que durante uma aula da especialização em 2008 acendeu a centelha dessa ideia ao projetar ao vido, a curva força-tempo.

Biomecânica foi a ciência que escolhi fazer e por isso agradeço ao:

Professor Hans foi quem deu as chaves do BIOLAB.

Professoras Sílvia e Fabíola que me receberam.

Professores André e Gustavo me instrumentalizaram.

Luiz Maculan pela parceria na reta final.

Meu agradecimento especial ao Professor Mauro Heleno Chagas que durante a orientação de doutorado (e na batalha das vírgulas) soube extrair o máximo do meu potencial, me transformando em docente.

“O repertório da nossa ignorância faz parte do nosso conhecimento.”

Olavo de Carvalho

## RESUMO

Os objetivos do Estudo 1 foram comparar o impulso, pico de potência, pico de força, pico de velocidade, alcance máximo e deslocamento vertical do centro de massa entre escaladores intermediários e avançados entre o BoteCon e BoteCAE realizados no *campus board* (CB) e verificar a associação e a concordância do pico de velocidade mensurado pelo método impulso-momento e cinemática. O objetivo do Estudo 2 foi comparar os picos de potência produzidos utilizando diferentes resistências externas (0%, 5%, 10%, 20% e 30% de 1RM) nos exercícios BoteCon e BoteCAE em escaladores avançados. No Estudo 1 foram incluídos escaladores intermediários (Grupo<sub>INTER</sub>; N=10) e avançados (Grupo<sub>AVAN</sub> N =10). No Estudo 2 foram incluídos somente escaladores avançados N=17. Os procedimentos foram realizados em dois dias (familiarização e coleta) com 48 horas de intervalo. Após aquecimento padrão foi realizado o teste de 1RM e o alcance máximo no CB para BoteCon e BoteCAE. No Estudo 2, após determinado o alcance máximo, os participantes realizaram o bote com 0% (massa corporal), 5%, 10%, 20% e 30% do 1RM. Para a análise cinética o CB foi instrumentalizado com duas células de carga com capacidade máxima de 2.000N devidamente calibradas e taxa de amostragem de 1KHz. Foi aplicado um filtro passa-baixa de 10Hz. A aquisição e tratamento do sinal analógico foi realizado no programa *MATLAB*®. Para a análise cinemática foram utilizadas duas câmeras *GoPro*® modelo 7, modo linear, frequência de aquisição de 120 frames por segundo. Foram registradas a ADM e velocidade angular do quadril e joelho e a velocidade linear vertical da L5 utilizando o programa *Kinovea*®. Os pressupostos estatísticos foram testados e a confiabilidade da medida verificada pelo CCI<sub>(2,1)</sub> e EPM. No Estudo 1 foi realizada uma ANOVA mista de duas vias e calculado o tamanho de efeito *d* de Cohen. Também foi realizada a correlação de *Speaman* e o gráfico de *Bland-Altman*. No Estudo 2 foi utilizado uma ANOVA com medidas repetidas e teste *post hoc* de Bonferroni para determinar o impacto da resistência externa e calculado tamanho de efeito *Partial Eta Squared*. Todas as análises foram realizadas por linguagem de estatística computacional R®. O nível de significância adotado foi de 5%. O resultado do Estudo 1 para o impulso não indicou interação ( $F_{(1,18)} = 0,776$ ;  $p = 0,390$ ;  $\eta_p^2 = 0,041$ ). O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 22,9$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2 = 0,560$ ). Resultados similares foram encontrados para todas variáveis exceto o pico de força que indicou interação significativa ( $F_{(1,18)} = 4,548$ ,  $p = 0,047$ ;  $\eta_p^2 = 0,202$ ). A correlação foi forte ( $\rho = 0,78$ ;  $p < 0,001$ ) e boa concordância (viés: -0,23). No Estudo 2 o pico de potência foi diferente entre as resistências externas ( $F_{(2,44)} = 5,985$ ;  $p = 0,002$ ;  $\eta_p^2 = 0,272$ ) assim como no BoteCAE ( $F_{(2,32)} = 8,496$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,347$ ). Conclusão do Estudo 1: Escaladores avançados apresentam maior impulso, pico de potência, pico de velocidade, deslocamento e alcance máximo que escaladores intermediários e esse comportamento não foi influenciado pelo tipo de ação muscular. Conclusão Estudo 2: O pico de potência foi estatisticamente menor nas condições de resistências externas de 0%, 5%, 10% e 20% de 1RM em comparação com a condição de 30% de 1RM, tanto no exercício BoteCon quanto no BoteCAE.

Palavras-chave: Escalada Esportiva. Treinamento. Força Muscular. Potência.

## ABSTRACT

The objectives of Study 1 were to compare the impulse, peak power, peak force, peak velocity, maximum reach, and vertical displacement of the center of mass between intermediate and advanced climbers, as well as between the BoteCon and BoteCAE exercises performed on the campus board (CB). The study also aimed to investigate the association and agreement of peak velocity measured using the impulse-momentum method and kinematics. In Study 2, the goal was to compare peak power produced using different external resistances (0%, 5%, 10%, 20%, and 30% of 1RM) in the BoteCon and BoteCAE exercises among advanced climbers. Study 1 included intermediate climbers (Group<sub>INTER</sub>; N=10) and advanced climbers (Group<sub>AVAN</sub> N=10). Study 2 included only advanced climbers (N=17). The procedures were carried out on two separate days (familiarization and data collection) with a 48-hour interval. After a standard warm-up, the 1RM test and maximum reach on the CB were performed for BoteCon and BoteCAE. In Study 2, five minutes after determining the maximum reach for one of the exercises, the participants performed the exercise with 0% (body weight only), 5%, 10%, 20%, and 30% of their 1RM. Kinetic analysis was conducted using the CB, which was instrumented with two load cells with a maximum capacity of 2,000N, properly calibrated, and a sampling rate of 1KHz. A low-pass filter of 10Hz was applied. The acquisition and processing of the analog signal were performed using the MATLAB© program. For kinematic analysis, two GoPro® cameras, model 7, were used in linear mode, with an acquisition frequency of 120 frames per second. The range of motion and angular velocity of the hip and knee, as well as the vertical linear velocity of the L5, were recorded using the Kinovea© program. Statistical assumptions were tested, and the measurement reliability was verified using the CCI<sub>(2,1)</sub> and EPM methods. In Study 1, a two-way mixed ANOVA was conducted for the factors group x exercise, and Cohen's d effect size was calculated. Spearman's correlation and Bland-Altman plots were also used. In Study 2, a repeated-measures ANOVA and Bonferroni post hoc test were used to determine the impact of external resistance, and Partial Eta Squared effect size was calculated. All statistical analyses were performed using the R© program. The adopted significance level was 5%. The results of Study 1 for impulse did not indicate interaction ( $F_{(1,18)} = 0.776$ ;  $p = 0.390$ ;  $\eta^2 = 0.041$ ). The main effect of group was statistically significant ( $F_{(1,18)} = 22.9$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.560$ ), and similar results were found for all variables except for peak force, which indicated significant interaction ( $F_{(1,18)} = 4.548$ ,  $p = 0.047$ ;  $\eta^2 = 0.202$ ). The correlation was strong ( $\rho = 0.78$ ;  $p < 0.001$ ), and the agreement was within acceptable limits (bias: -0.23; 95% CI: 0.59 to 0.95). In Study 2, peak power differed between external resistances ( $F_{(2,44)} = 5.985$ ;  $p = 0.002$ ;  $\eta^2 = 0.272$ ) and also between BoteCAE ( $F_{(2,32)} = 8.496$ ;  $p = 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.347$ ). Conclusion of Study 1: Advanced climbers exhibit greater impulse, peak power, peak velocity, displacement, and maximum reach than intermediate climbers, and this behavior was not influenced by the type of muscle action. Conclusion of the Study 2 is that the peak power was statistically lower in the conditions of external resistances at 0%, 5%, 10%, and 20% of 1RM compared to the 30% of 1RM condition, both in the BoteCon and BoteCAE exercises.

Keywords: Sport Climbing. Training. Muscle Strength. Power.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vias artificiais de escalada. ....	15
Figura 2: Escaladora na agarra. ....	15
Figura 3: <i>Campus Board</i> . ....	16
Figura 4: Curva força-velocidade. ....	20
Figura 5: Alterações na curva força-velocidade com treinamento. ....	22
Figura 6: Campus Board instrumentalizado. ....	28
Figura 7: Sistema de polias. ....	29
Figura 8: Agarras de saída ajustáveis. ....	30
Figura 9: Periodograma da densidade espectral do sinal. ....	31
Figura 10: Comparação do sinal de voltagem bruto e filtrado. ....	31
Figura 11: Aparato de calibração. ....	32
Figura 12: Regressão de calibração. ....	33
Figura 13: Interface gráfica do sistema de coleta. ....	34
Figura 14: Esquema do posicionamento das câmeras. ....	35
Figura 15: Origem do sistema de coordenadas, calibração e ângulos analisados. ....	36
Figura 16: Esquema do sistema de aquisição do sinal e acionamento do flash. ....	36
Figura 17: BoteCon. ....	38
Figura 18: BoteCAE. ....	38
Figura 19: Procedimentos de coleta Estudo - 1. ....	39
Figura 20: Procedimentos de coleta Estudo - 2. ....	44
Figura 21: Lastro. ....	44
Figura 22: Operacionalização do impulso, pico de força e pico de velocidade. ....	45
Figura 23: Operacionalização da variável pico de potência. ....	46
Figura 24: Características de força e velocidade ao longo do tempo no BoteCAE. ....	47

Figura 25: Comparação do impulso entre grupos e exercícios .	54
Figura 26: Comparação do pico de potência entre grupos e exercícios.	55
Figura 27: Comparação do pico de força entre grupos e exercícios	56
Figura 28: Comparação do pico de velocidade CM entre grupos e exercícios.	58
Figura 29: Comparação do pico velocidade L5 entre grupos e exercícios.	59
Figura 30: Comparação do alcance máximo entre grupos e exercícios.	60
Figura 31: Comparação do deslocamento CM entre grupos e exercícios.	61
Figura 32: Correlação entre pico de velocidade do CM e L5 no BoteCon.	62
Figura 33: Gráfico <i>Bland-Altman</i> do pico de velocidade do CM e L5 no BoteCon.	63
Figura 34: Velocidade angular e ADM do quadril e joelho no BoteCon.	64
Figura 35: Velocidade angular e ADM do quadril e joelho no BoteCAE.	65
Figura 36: Comparação pico de potência entre resistências externas no BoteCon.	80
Figura 37: Comparação pico de potência entre resistências externas no BoteCAE.	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis cinéticas.....	47
Tabela 2: Variáveis cinemáticas.....	48
Tabela 3: Confiabilidade da medida no BoteCon.....	50
Tabela 4: Confiabilidade da medida BoteCAE.....	51
Tabela 5: Análise descritiva dos participantes Estudo 1.....	52
Tabela 6: Análise descritiva das variáveis cinéticas BoteCon.....	53
Tabela 7: Análise descritiva das variáveis cinéticas BoteCAE.....	53
Tabela 8: Análise descritiva das variáveis cinemáticas BoteCon.....	57
Tabela 9: Análise descritiva das variáveis cinemáticas BoteCAE.....	57
Tabela 10: Confiabilidade da medida do pico de potência no BoteCon e BoteCAE.....	77
Tabela 11: Análise descritiva dos participantes Estudo 2.....	78
Tabela 12: Análise descritiva da resistência externa.....	79
Tabela 13: Análise descritiva do pico de potência no BoteCon e BoteCAE.....	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1RM	- Uma repetição máxima
2D	- Duas dimensões
ANOVA	- Análise de variância
ADM	- Amplitude de movimento
ATP	- Adenosina trifosfato
BIOLAB	- Laboratório de Biomecânica
BoteCAE	- Bote ciclo alongamento-encurtamento
BoteCon	- Bote ação concêntrica
BRL	- Escala Brasileira de graduação
CAE	- Ciclo de alongamento-encurtamento
CB	- <i>Campus board</i>
CCI	- Coeficiente de correlação intraclasse
CM	- Centro de massa
CV	- Coeficientes de variação
DP	- Desvio padrão
EEFFTO	- Escolada de Educação Física, Fisioterapia, Terapia Ocupacional
EPM	- Erro padrão da medida
Grupo <sub>AVAN</sub>	- Grupo de escaladores avançados
Grupo <sub>INTER</sub>	- Grupo de escaladores intermediário
IC	- 95% Intervalo de confiança
IRCRA	- <i>International Rock Climbing Research Association</i>
Par-Q	- Questionário para prontidão de atividade física
s/un	- Sem unidade de medida
TCLE	- Termo de consentimento livre e esclarecido
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais
UM	- Unidade de medida

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 Objetivos e hipóteses.....	25
1.1.1 Objetivos Estudo - 1 .....	25
1.1.2 Hipóteses Estudo - 1 .....	25
1.1.3 Objetivo Estudo - 2.....	25
1.1.4 Hipótese do Estudo - 2.....	25
<b>2 MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	<b>26</b>
2.1 Cuidados Éticos .....	26
2.2 Participantes .....	26
2.3 Cálculo amostral .....	27
2.4 CB instrumentalizado .....	28
2.5 Calibração das células de carga .....	32
2.6 Descrição BoteCon e BoteCAE .....	37
2.7 Procedimentos de coleta Estudo - 1 .....	39
2.7.1 Procedimentos de coleta Estudo - 2 .....	43
2.8 Variáveis cinéticas .....	45
2.9 Variáveis cinemáticas .....	48
2.10 Análise estatística Estudo - 1 .....	48
2.10.1 Análise estatística Estudo - 2 .....	49
<b>3 RESULTADOS - ESTUDO 1</b> .....	<b>50</b>
3.1 Pressupostos estatísticos .....	50
3.2 Confiabilidade das medidas .....	50
3.3 Resultados variáveis de desempenho .....	51
3.4 Resultado da correlação e concordância .....	62
3.5 Resultados variáveis controle .....	64
<b>4 DISCUSSÃO - ESTUDO 1</b> .....	<b>66</b>
<b>5 CONCLUSÃO - ESTUDO 1</b> .....	<b>76</b>
<b>6 RESULTADOS - ESTUDO 2</b> .....	<b>77</b>
6.1 Pressupostos estatísticos .....	77
6.2 Confiabilidade das medidas .....	77
6.3 Resultados pico de potência .....	78
<b>7 DISCUSSÃO - ESTUDO 2</b> .....	<b>82</b>
<b>8 CONCLUSÃO ESTUDO – 2</b> .....	<b>86</b>

<b>9 LIMITAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	97
APÊNDICE B – Questionário perfil esportivo .....	98
APÊNDICE C – Ficha de coleta .....	99
APÊNDICE D – Tabelas pressupostos estatísticos.....	100
APÊNDICE E – Cálculo Amostral.....	102
ANEXO A – Folha de rosto de submissão CEP/COEP .....	103
ANEXO B – Tabela de classificação e sistemas de graduação. ....	104
ANEXO C – Questionário <i>Par-Q</i> . ....	105

## 1 INTRODUÇÃO

A escalada esportiva consiste em subir uma parede, rochosa ou artificial, por um percurso pré-estabelecido denominado “via”, usando pés e mãos em pontos de apoio conhecidos como agarras (Valenzuela *et al.*, 2015). As vias de escalada (Figura 1) apresentam diferentes graus de dificuldade na dependência das distâncias entre as agarras (Figura 2) e seus tamanhos (Michailov *et al.*, 2017). O grau de dificuldade das vias é organizado por diferentes sistemas de graduação que utilizam escalas arbitrárias elaboradas pelos escaladores para ranquear as vias (Anexo 2). Os sistemas de graduação existentes são utilizados para medir o desempenho esportivo e classificar os escaladores em grupos distintos (Draper *et al.*, 2016). Espera-se que o grau máximo de dificuldade da escalada esportiva apresente uma elevação após a Olimpíada de Tóquio e o primeiro ciclo olímpico até Paris 2024, por causa do possível aumento na popularidade, número de pesquisas e busca pelo ouro olímpico (Lutter *et al.*, 2017).

Figura 1: Vias artificiais de escalada.



Fonte: <https://www.ifsc-climbing.org/>

Figura 2: Escaladora na agarra.



Fonte: <https://www.ifsc-climbing.org/>

Para acompanhar o esperado desenvolvimento desta modalidade esportiva, a busca pelo conhecimento associado à mesma é uma parte essencial deste processo. Durante a escalada esportiva, as ações musculares concêntrica e ciclo de alongamento-encurtamento (CAE) são realizadas para alterar a posição dos segmentos corporais, possibilitando o escalador se locomover pela via (Cha *et al.*,

2015; Fuss; Niegl, 2009, 2010). Estas ações musculares foram investigadas em corridas (Nicol *et al.*, 2006), saltos (Bosco; Luhtanen; Komi, 1983) e em outros esportes (Cormie *et al.*, 2008) com relatos consistentes do impacto positivo em parâmetros de produção de força com a presença do CAE. Na escalada esportiva ainda são escassas as informações científicas sobre as implicações das ações musculares concêntrica e CAE no desempenho esportivo e na produção de força e potência, embora o sucesso em vias com alto grau de dificuldade tenha influência da força e potência dos membros superiores (Philippe *et al.*, 2018).

Existe pouca informação na literatura sobre os efeitos do CAE para o desempenho esportivo em escaladores. Essas diferentes ações musculares foram investigadas por Abreu *et al.* (2018) em escaladores esportivos utilizando o bote com ação concêntrica (BoteCon) e o bote utilizando o CAE (BoteCAE) realizados no *Campus Board* (CB). O CB é um equipamento desenvolvido e utilizado por escaladores para treinar a força muscular dos membros superiores (ver Figura 3). Para executar o bote no CB, o escalador fica suspenso na agarra mais baixa e, sem o apoio no solo dos membros inferiores, lança as duas mãos simultaneamente em direção a agarra superior, deslocando seu corpo verticalmente, como em um salto vertical. Como o objetivo de Abreu *et al.* (2018) foi verificar a confiabilidade de variáveis cinéticas medidas no CB. Embora os resultados tenham confirmado uma boa reprodutibilidade, os autores não comparam o desempenho e os parâmetros de produção de força e potência entre os exercícios.

Figura 3: *Campus Board*.



Legenda: Exemplo de CB com diferentes tipos de agarras. No lado esquerdo da imagem, um escalador está posicionado para executar o BoteCAE.

Fonte: Acervo pessoal

O desempenho esportivo em escaladores vem sendo explicado pelas características antropométricas, tempo de prática (Ginszt *et al.*, 2023), capacidade aeróbia (Bertuzzi *et al.*, 2007) e pela potência muscular produzida pelos membros superiores (Laffaye *et al.*, 2014) e pela força isométrica máxima dos músculos flexores dos dedos (Schweizer; Furrer, 2007). Por exemplo, não escaladores possuem maiores valores de massa corporal e percentual de gordura comparados a escaladores intermediários (Watts, 2004), que por sua vez, possuem maior massa corporal que escaladores de elite (Ginszt *et al.*, 2023). O tempo de prática também é maior para escaladores avançados em comparação a intermediários (Saul *et al.*, 2019). Para parâmetros cardiorrespiratórios como a capacidade aeróbia, mensurada em um ciclo ergômetro adaptado para os membros superiores, não foram encontradas diferenças significativas entre escaladores intermediários em relação a escaladores avançados (Bertuzzi *et al.*, 2007). Já a força muscular e a capacidade de produção de potência dos membros superiores podem distinguir o desempenho de escaladores com diferentes níveis de experiência esportiva (Laffaye *et al.*, 2014).

Em relação a força muscular, maiores valores foram reportados para escaladores de elite quando comparados a escaladores com nível de desempenho intermediários e não escaladores (Saul *et al.*, 2019). Como o objetivo de Laffaye *et al.* (2014) foi utilizar um exercício similar ao BoteCon para medir o alcance máximo, ou seja, a maior altura alcançada com as mãos partindo de uma agarra inicial e tocando em uma placa milimetrada. Os autores reportaram valores médios de aproximadamente 45 cm, 60 cm e 72 cm respectivamente para escaladores iniciantes, avançados e de elite com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os três grupos. Além disso, foi verificada uma correlação positiva, forte ( $r = 0,98$ ) e significativa ( $p < 0,001$ ) entre a altura alcançada e os resultados da potência muscular (Laffaye *et al.*, 2014). A distinção de escaladores com diferentes níveis de classificação parece se confirmar em testes que avaliam de maneira específica a força muscular, uma vez que, testes de preensão manual com dinamômetros convencionais (Mermier *et al.*, 2000) e de uma repetição máxima no supino não foram capazes de discriminar grupos distintos de escaladores (Laffaye *et al.*, 2016). Buscando obter informações específicas neste contexto, testes e instrumentos de medidas (i.e., como o CB instrumentalizado com células de carga) vêm sendo

elaborados para capturar as características sobre a produção de força de escaldadores (Abreu *et al.*, 2018).

As células de carga permitem registrar as forças de reação no tempo. O registro da curva força-tempo possibilita o acesso a variáveis cinéticas como o pico de força e o impulso (Kibele, 1998) e calcular a potência. O teorema impulso-momento explica mecanicamente como as forças de reação modificam o movimento (Winter *et al.*, 2015). O impulso é definido como o produto da força aplicada sobre um objeto pelo intervalo de tempo que a força é aplicada. A aplicação de um impulso resultará na alteração no momento de um objeto, definido como o produto da massa pela velocidade. Assumindo que a massa de um objeto não irá alterar, a mudança causada pelo impulso resultará na variação da velocidade. Quanto maior for a velocidade de um corpo, maior será a distância percorrida para um dado período. Assim, a partir da curva força-tempo é possível gerar as curvas velocidade-tempo e deslocamento-tempo (Linthorne, 2001).

Um pressuposto para estimar a altura de saltos verticais por meio do método impulso-momento é que as forças de reação ao solo ocorram majoritariamente no eixo vertical (Hatze, 1998). Devido ao possível deslocamento anteroposterior do centro de massa (CM) dos escaldadores, o vetor resultante da força aplicada nas agarras do CB pode não ocorrer majoritariamente no eixo vertical, violando esse pressuposto. Mais informações sobre o deslocamento anteroposterior do CM e as implicações dos movimentos dos membros são necessárias para entender aplicabilidade do teorema impulso-momento no CB. A análise cinemática em duas dimensões (2D) pode disponibilizar informações iniciais sobre a aplicabilidade desse método para o BoteCon e BoteCAE.

Ao analisar a velocidade de um ponto anatômico que represente o CM por exemplo, a vertebra lombar L5, será possível verificar a associação e concordância da velocidade mensurada pelo método impulso-momento e pela cinemática 2D. Essa análise poderá fornecer novos *insights* sobre as limitações metodológicas apontadas por Abreu *et al.* (2018) em relação ao deslocamento anteroposterior do CM. O registro da ADM e da velocidade angular do joelho e quadril também poderão gerar informações que ajudem a explicar as diferentes estratégias empregadas de movimento que, segundo Abreu *et al.* (2018), podem ter contribuído para uma maior variabilidade do impulso. Além do aspecto metodológico, treinadores relatam uma

importância crescente da participação dos membros inferiores para o desempenho no *boulder* e na escalada de velocidade (Langer *et al.*, 2023).

O impacto das informações ao analisar os padrões de movimentos dos membros inferiores, assim como os parâmetros na produção da força dos membros superiores durante o BoteCon e BoteCAE no CB poderá ser potencializado ao se comparar escaladores com diferentes níveis de rendimento. Com base no exposto uma das propostas da presente pesquisa (Estudo 1) é comparar entre escaladores avançados e intermediário o efeito dos exercícios BoteCon e BoteCAE nos parâmetros cinéticos, cinemáticos e de desempenho no *Campus Board*.

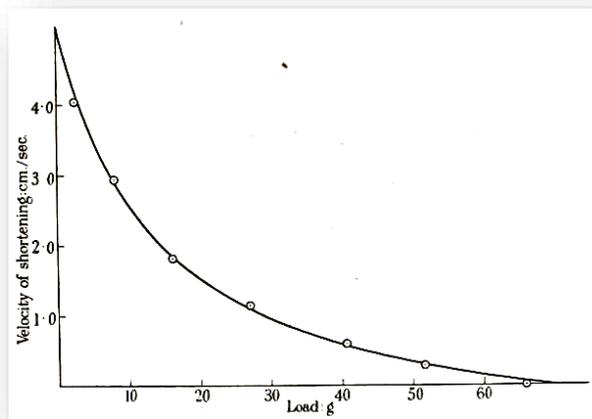
Outra perspectiva dessa pesquisa é fornecer evidências que permitam treinadores elaborarem estratégias de treinamento dos membros superiores com base nos parâmetros de força-velocidade-potência.

Potência mecânica é a taxa de realização de trabalho (Knudson, 2009) e pode ser calculada também como produto da força pela velocidade (Haff; Nimphius, 2012). A capacidade do sistema neuromuscular de produzir a potência máxima é influenciada por fatores morfológicos, neurais e da mecânica muscular. Quanto a mecânica muscular, a relação inversa entre força-velocidade (ver Figura 4) descrita por Hill (1938) permite explicar por que valores de força e velocidade submáximos deveriam ser considerados na execução de gestos esportivos para a produção da potência máxima (Haff; Nimphius, 2012). Os resultados do estudo de Levernier *et al.* (2020) permitem exemplificar esta afirmação.

Esses autores investigaram o efeito de cinco resistências externas no perfil de força-velocidade-potência em escaladores no exercício de flexão na barra fixa. Quando o exercício foi realizado tendo como resistência externa somente a massa corporal (0%), a média do pico de velocidade do CM foi de 0,93m/s. Para resistências externas adicionais de 45% e 75% relativos à massa corporal foram registrados picos de velocidades de 0,56 m/s e 0,38 m/s respectivamente. Os resultados para a força foram de 9,9 N/kg, 14,3 N/kg e 17,3 N/kg respectivamente para as resistências externas de 0%, 45% e 75% (Levernier *et al.*, 2020). Partindo desses resultados, é possível verificar que a relação entre os valores de força e velocidade interferem na potência máxima e que, nas condições testadas, a maior potência mecânica foi alcançada quando não havia nenhuma resistência externa (0%). Desta forma, aumentar a compreensão sobre como diferentes valores de resistência externa e tarefas motoras (i.e. ações musculares) impactam a relação

força-velocidade-potência, assim como, sua implicação nas adaptações do sistema neuromuscular, deve ser considerada uma parte necessária para uma organização efetiva do treinamento da potência.

Figura 4: Curva força-velocidade.



Legenda: *Velocity of shortening* = velocidade de encurtamento; cm = centímetros; sec = segundos; *Load* = Carga; g = gramas.  
Fonte: Adaptado de Hill, 1938

Neste sentido, investigar o impacto de ações musculares para além das concêntricas, como por exemplo, ações musculares envolvendo o CAE, parece estar alinhado com a perspectiva de ampliar a compreensão sobre o desempenho em atletas de escalada. Os movimentos que utilizam o CAE produzem maiores valores de potência comparados aos movimentos envolvendo apenas ações concêntricas. Um dos mecanismos responsáveis por esse fenômeno é o armazenamento e a utilização de energia elástica na unidade músculo-tendão (Cavagna, 1968). Esse mecanismo por sua vez é integrado a mecanismos reflexos (KOMI, 2000) e suas implicações para o mesmo (Bosco *et al.*, 1987). Por exemplo, o reflexo miotático (Gollhofer; Kyrolainen, 1991) e a pré-ativação (Cavagna, 1968) podem alterar os níveis de rigidez da unidade músculo-tendão impactando positivamente no armazenamento de energia elástica pelos componentes elásticos em série. A utilização da energia elástica, devido ao retorno dos componentes elásticos em série, irá contribuir para o aumento da força no início da ação concêntrica e por consequência na potência muscular (Cavagna, 1968).

Ativamente, o mecanismo que pode explicar a maior produção de potência no CAE é a potenciação dos filamentos contráteis do sarcômero (Leonard; Herzog, 2010). Considerando a teoria dos filamentos deslizantes (Huxley; Simmons, 1971), o ciclo das pontes cruzadas ocorre na dependência da hidrólise da molécula de adenosina trifosfato (ATP) em adenosina difosfato, fosfato e energia para desacoplar a cabeça da miosina do sítio ativo de actina. Na ação excêntrica, a fibra muscular está sendo mecanicamente alongada ao mesmo tempo que é ativada. Nessa condição, as pontes cruzadas podem ser desfeitas pela quebra do ATP ou pela tração mecânica. A desacoplagem mecânica ocorre quando a ponte cruzada atinge um valor crítico de extensão e não há gasto de energia química (Lombardi; Piazzesi, 1990). Além disso, algumas pontes cruzadas permaneceriam acopladas em um estado de alta tensão resultando no aumento da força em cada ponte cruzada (Sugi, 1981). Nessa condição é possível que, no início da ação concêntrica, o ciclo subsequente de pontes cruzadas ocorra mais rapidamente pois, o ATP clivado continua associado a cabeça da miosina (Cook; McDonagh, 1995).

Organizar o treinamento para melhorar a produção de potência muscular máxima em movimentos complexos e específicos aos diferentes esportes é um desafio constante para os treinadores. Assim, identificar as particularidades de cada atleta e abordá-las adequadamente no treinamento pode conduzir para adaptações desejadas e otimizar o desempenho esportivo (Cormie *et al.*, 2011a).

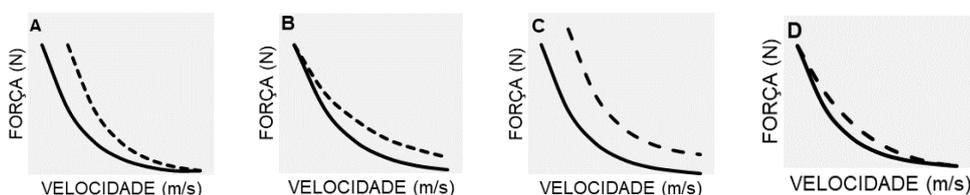
Diversas estratégias de treinamentos são empregadas para aprimorar a potência e podem ser divididas em 4 blocos (Haff; Nimphius, 2012). O primeiro bloco propõe treinamentos envolvendo baixa resistência externa (Kirby *et al.*, 2010) com valores inferiores a 50% de uma repetição máxima (1RM), enquanto o segundo bloco sugere utilizar valores altos de resistência externa, superiores a 70% de 1RM (Verkhoshansky; Lazarev, 1989). O terceiro bloco combina de maneira alternada treinamentos com altas e baixas resistências externas (Cronin; Sleivert, 2005). Por fim, o último bloco propõe estabelecer a resistência externa ótima para induzir o sistema neuromuscular a produzir o maior pico de potência (Wilson *et al.*, 1993).

As diferentes estratégias de treinamento resultam no aumento da potência muscular, contudo, é possível que esta alteração seja provocada por adaptações distintas. Por exemplo, treinar com altas resistências externas pode levar ao aumento da área de secção transversa, uma adaptação que pode aumentar

a força máxima e conseqüentemente impactar na produção de potência (Stone *et al.*, 2003). Outra adaptação que poderia ocorrer com um treinamento com altas resistências externas seria o aumento do número ou tamanho de unidades motoras recrutadas (Schmidtbleicher, 1981). Para resistências externas leves as alterações podem ocorrer na frequência de disparo das unidades motoras recrutadas (Hakkinen *et al.*, 1985). O efeito possível dessas adaptações na produção de potência muscular pode ser operacionalizado no gráfico da curva força-velocidade (Haff; Nimphius, 2012).

O treinamento com alta resistência externa deverá causar uma mudança da curva para a direita assumindo que a força está representada no eixo vertical (Figura 5A), enquanto o treinamento com baixa resistência externa e altas velocidades de movimento causaria uma mudança para cima em relação ao eixo da velocidade (Figura 5B). Para a estratégia que alterna a resistências externas, toda a curva força-velocidade mudaria para a direita e para cima (Figura 5C). Hipoteticamente, utilizar o treinamento com a resistência externa ótima, que resultará no maior pico de potência, poderá diminuir a curvatura na porção central, sem mudar as extremidades da curva força-velocidade (Figura 5D).

Figura 5: Alterações na curva força-velocidade com treinamento.



Legenda: Linha contínua = pré-treino; Linha pontilhada = pós-treino; A = Adaptação resistência externa alta; B = Adaptação resistência externa baixa; C = Adaptação resistência externa alternadas; D = Adaptação resistência externa ótima.

Fonte: Adaptado de HAFF *et al.* 2012

Contudo, identificar qual é a magnitude ótima da resistência externa que irá produzir o maior pico potência, dependerá da tarefa motora e do tipo de ação muscular a ser empregado no treinamento (Cormie *et al.*, 2011a).

O valor de 30% de força isométrica máxima é considerado a resistência externa ótima para se alcançar a potência máxima em condições *in vitro* (Bottinelli *et al.*, 1999) e para tarefas motoras monoarticular (Kaneko *et al.*, 1983). Para tarefas multiarticulares, os valores da resistência externa ótima podem variar de 0% de 1RM para o *Jump Squat* (Cormie *et al.*, 2008) a 45% de 1RM para o exercício de supino

(Baker *et al.*, 2001; Boffey *et al.*, 2019), demonstrando a implicação da tarefa sobre a resistência externa ótima. O tipo de ação muscular também influenciará na magnitude ótima da resistência externa (Wilson *et al.*, 1993). Por exemplo, Newton *et al.* (1997) comparam o exercício de supino lançado com ação concêntrica isolada e com a presença do CAE em diferentes resistências externas. O maior pico de potência 560 W foi produzido utilizando 45% de 1RM durante o exercício de supino lançado com a presença do CAE (Newton *et al.*, 1997). Em contraste, para tarefas que deslocam a massa corporal, a potência máxima parece ser atingida na ausência de resistência externa adicional (Levernier *et al.*, 2020). Os diferentes resultados na literatura sobre os valores de resistência externa ótima para produção da potência máxima também podem ser explicados pela variedade de testes e procedimentos disponíveis para se calcular a potência e/ou para definir os valores percentual da resistência externa (Dugan *et al.*, 2004).

Testes confiáveis com movimentos similares ao esporte que manipulam a resistência externa são utilizados para mensurar a potência muscular (Harman *et al.*, 1991). Uma das formas de manipular a resistência externa é utilizar um lastro atado ao corpo por meio de coletes ou cintos (García-Ramos *et al.*, 2016). Utilizar a magnitude da resistência externa em relação a massa corporal é uma prescrição simples e prática (Dugan *et al.*, 2004) contudo as variações na composição corporal (i.e. %gordura e altura) pode submeter os participantes a intensidades relativas diferentes. Uma alternativa é utilizar o percentual do teste de 1RM em uma tarefa motora similar ao movimento que se deseja calcular a potência (Cormie *et al.*, 2008). Por existirem diversos protocolos para se testar a 1RM, diferentes valores percentuais de resistência externa podem ser obtidos. Portanto, a interpretação do impacto da resistência externa na produção de potência deve considerar como foi determinado o 1RM. Outra questão metodológica relacionada a mensuração da potência máxima e apontada por Dugan *et al.* (2004) diz respeito ao instrumento de medida.

Diversos instrumentos têm sido utilizados para registrar a potência muscular como, por exemplo, o transdutor linear de posição, a plataforma de força, a combinação entre eles (Cormie; McBride, 2007) ou os acelerômetros (Levernier *et al.*, 2020). O método que usa apenas a plataforma de força ou células de carga emprega o teorema impulso-momento para gerar os dados de velocidade que serão multiplicados pelos dados de força (Cormie; McBride, 2007). Uma vez calculada a

curva de potência-tempo o pico de potência poderá ser mensurado. Identificar qual é a resistência externa ótima que irá resultar no maior pico de potência para BoteCon e BoteCAE fornecerá informações inéditas que poderão subsidiar a prescrição do treinamento no CB.

O CB é um equipamento utilizado para o treinamento da força muscular que possibilita a manipulação de diferentes resistências externas. Essas características o torna um instrumento propício para avaliar os parâmetros de força-velocidade-potência dos membros superiores de escaladores esportivos (Abreu *et al.*, 2018). Considerado o contexto apresentado, o Estudo 2 da presente pesquisa tem como objetivo verificar em escaladores esportivos avançados o impacto de diferentes resistências externas na produção de potência muscular no BoteCon e BoteCAE.

## 1.1 Objetivos e hipóteses

### 1.1.1 Objetivos Estudo - 1

- Comparar o impulso, pico de potência, pico de força, pico de velocidade, alcance máximo e deslocamento vertical do centro de massa entre escaladores intermediários e avançados e entre o BoteCon e BoteCAE realizados no CB.
- Verificar a associação e a concordância do pico de velocidade mensurado pelo método impulso-momento e pela análise cinemática.

### 1.1.2 Hipóteses Estudo - 1

- H1: Escaladores avançados no BoteCAE apresentarão maiores valores de impulso, pico de potência, pico de força, pico de velocidade, alcance máximo e deslocamento vertical do centro de massa em comparação a escaladores intermediários no BoteCon.
- H2: O pico de velocidade medido pelo impulso-momento e pela cinemática irão apresentar uma associação positiva e concordância entre os métodos.

### 1.1.3 Objetivo Estudo - 2

- Comparar os picos de potência produzidos utilizando diferentes resistências externas (0%, 5%, 10%, 20% e 30% de 1RM) nos exercícios BoteCon e BoteCAE em escaladores avançados.

### 1.1.4 Hipótese do Estudo - 2

- H1: O pico de potência será maior na condição sem resistência externa adicional (0%1RM) em comparação as demais resistências externas tanto no exercício BoteCon quanto no BoteCAE.

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Cuidados Éticos

O projeto de pesquisa contemplando os estudos 1 e 2 foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e aprovado sob o parecer n.º5.111.974 (ver Anexo A). Foram respeitadas todas as normas vigentes estabelecidas pela resolução n.º 446 de 2012 determinadas pelo Conselho Nacional em Saúde envolvendo pesquisas com seres humanos. Os procedimentos descritos no protocolo de biossegurança e medidas de proteção individual divulgadas pela UFMG também foram aplicados. Os participantes tiveram garantidos o anonimato e assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) disponível no apêndice A.

### 2.2 Participantes

Para o Estudo 1 foram incluídos escaladores adultos (maiores de 18 anos de idade) divididos em dois grupos. O grupo de escaladores intermediário (Grupo<sub>INTER</sub>) foi composto por participantes que declaram escalar até o grau de dificuldade 17 estabelecido pela *International Rock Climbing Research Association* (IRCRA). O segundo grupo foi composto por participantes avançados (Grupo<sub>AVAN</sub>) que declaram escalar acima do grau de dificuldade 18 IRCRA. A tabela com a classificação do nível de experiência adotada nesta pesquisa e os sistemas de graduação estão disponíveis no anexo 2.

Os participantes foram recrutados por meio das redes sociais, nas áreas de escalada em rocha e nos ginásios de escalada na região metropolitana de Belo Horizonte/MG. Os critérios de inclusão adotados foram:

- Mínimo de dois anos de prática de escalada.
- Mínimo de um ano de prática no CB.
- Estarem escalando no mínimo 2 vezes por semana nos últimos 6 meses.
- Sem respostas positivas no questionário para prontidão de atividade (*Par-Q*).
- Ausência de lesões musculoesqueléticas nos membros superiores nos últimos 3 meses.

Os critérios de exclusão adotados foram:

- Não conseguir realizar algum dos procedimentos.
- Sentir dor aguda que impeça o desempenho máximo na tarefa.
- Faltar a sessão de familiarização ou coleta.

- Solicitar por livre e espontânea vontade o fim de sua participação no estudo.

No Estudo 2 os participantes selecionados declararam escalar a partir do grau de dificuldade 18 IRCRA sendo então classificados como avançados. Os seguintes critérios de inclusão foram adotados no presente estudo:

- Homem com idade superior a 18 anos.
- Mínimo de dois anos de prática de escalada.
- Mínimo de um ano de prática no CB.
- Ter escalado no mínimo 2 vezes por semana nos últimos 6 meses.
- Ser capaz de desempenhar acima do grau 18 IRCRA.
- Sem respostas positivas no questionário para prontidão de atividade (*Par-Q*).
- Ausência de lesões musculoesqueléticas nos membros superiores nos últimos 3 meses.

Como critérios de exclusão foram considerados os seguintes aspectos:

- Não conseguir realizar algum dos procedimentos.
- Sentir dor aguda que impeça o desempenho máximo da tarefa.
- Faltar a sessão de familiarização ou coleta.
- Solicitar por livre e espontânea vontade o fim de sua participação no estudo.

### 2.3 Cálculo amostral

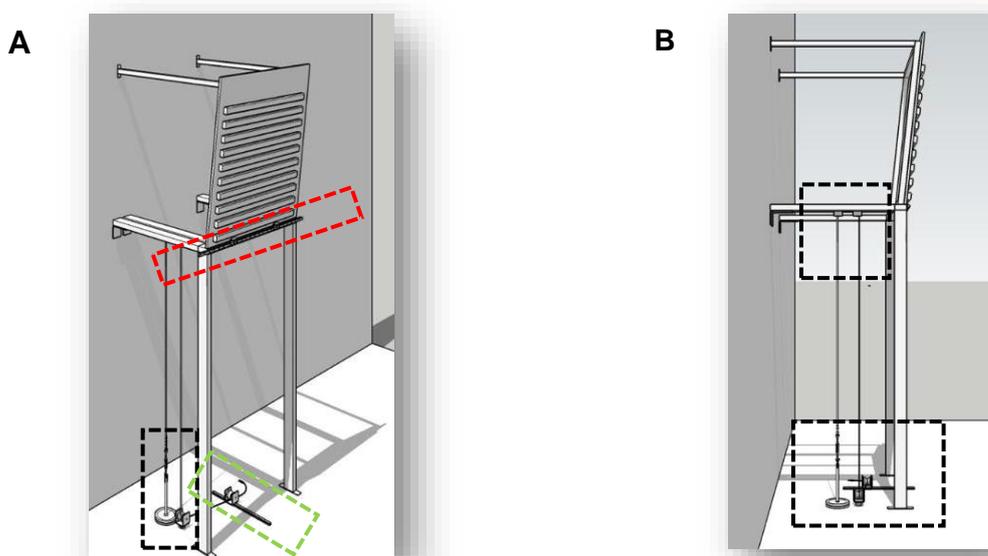
Os cálculos amostrais foram realizados por meio do programa GPower versão 3.1.9.2 (*Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Alemanha*). No Estudo 1 foi utilizado o modelo do tipo “*a priori*” para ANOVA. Foi adotado o valor de  $\beta=0,80$  para controle do erro tipo II, um valor de  $\alpha=0,05$  para o erro tipo I, considerando 2 medidas repetidas, dois grupos e um tamanho do efeito médio *Cohen's d*=0,4. O tamanho da amostra calculado foi  $n = 15$ .

O cálculo amostral no Estudo 2 realizado foi do tipo “*a priori*” para ANOVA de medidas repetidas. Foi adotado o valor de  $\beta=0,80$  para controle do erro tipo II, um valor de  $\alpha=0,05$  para o erro tipo I, considerando 5 medidas repetidas e um tamanho do efeito de 0,3. O tamanho da amostra calculado foi  $n = 16$ . Todos os parâmetros utilizados e os resultados gráficos das análises estão detalhados no apêndice E.

## 2.4 CB instrumentalizado

O CB instrumentalizado (Figura 6) dispõe de duas células de carga do tipo tensão/compressão, adaptadas verticalmente em uma guia linear de 150 cm que possibilitou o ajuste horizontal. Na parte superior das células de carga foi adaptada uma agarra de madeira com 8 cm de comprimento e 3,5 cm de profundidade. A forma da agarra de madeira era arredondado permitindo que a falange medial dos participantes estivesse no centro da agarra. As agarras de chegada, não instrumentalizadas, possuíam as dimensões de 4 cm de profundidade e 90 cm de comprimento. A distância entre cada agarra era de 15 cm, totalizando sete agarras. A distância da primeira agarra instrumentalizada até a última agarra era de 105 cm. Com exceção das agarras iniciais, que estavam posicionadas verticalmente, todas as agarras de chegada estavam afixadas em uma placa de madeira com dimensões de 102 cm de comprimento, 120 cm de altura e 20 mm de espessura. Essa placa possuía uma inclinação de  $-10^{\circ}$  em relação ao plano vertical, o que permitiu ao participante alcançar as agarras de chegada sem bater os cotovelos e com o mínimo de deslocamento anteroposterior. A distância do topo da última agarra até o solo era de 212 cm, e a distância das agarras iniciais até a parede era de 60 cm.

Figura 6: Campus Board instrumentalizado.

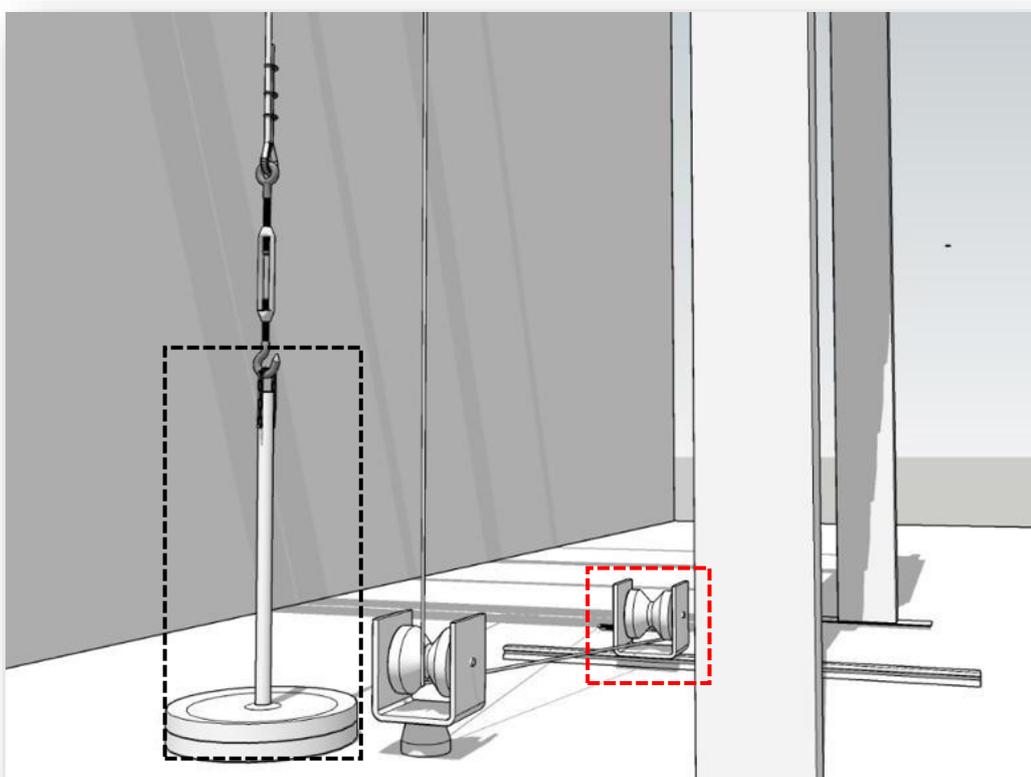


Legenda: A = O retângulo tracejado em vermelho destaca a guia linear que permitiu o ajuste horizontal das agarras de saída. O retângulo tracejado em verde, na parte inferior da imagem, destaca a guia linear para ajuste da polia. B = Perfil do CB Os retângulos tracejados em preto destacam o sistema de cabo e polias utilizado no teste de 1RM.

Fonte: elaboração própria

Um sistema de cabos e polias foi instalado no lado esquerdo do CB para realizar o teste de 1RM. Este procedimento foi pensado para minimizar o efeito de possíveis movimentos pendulares da própria resistência externa durante a execução da tarefa (Sas-Nowosielski *et al.* 2022) e manter a tração da resistência na direção vertical. O sistema de polias também evitou que o peso caísse nos pés e pernas dos participantes em caso de queda. Para que o cabo fixado no cinto do participante permanecesse sempre alinhado na vertical a polia central foi instalada em uma guia linear que permitiu seu ajuste no início do movimento (ver Figura 7).

Figura 7: Sistema de polias.



Legenda: O retângulo tracejado destaca o local que as anilhas são conectadas ao cabo. O quadrado tracejado em vermelho destaca a polia ajustável que permite o cabo conectado ao cinto permanecer na posição vertical.

Fonte: elaboração própria

A distância horizontal entre as duas agarras iniciais foi ajustada com precisão de 1mm, permitindo uma faixa de amplitude mínima de 6 cm e máxima de 95 cm (ver Figura 8).

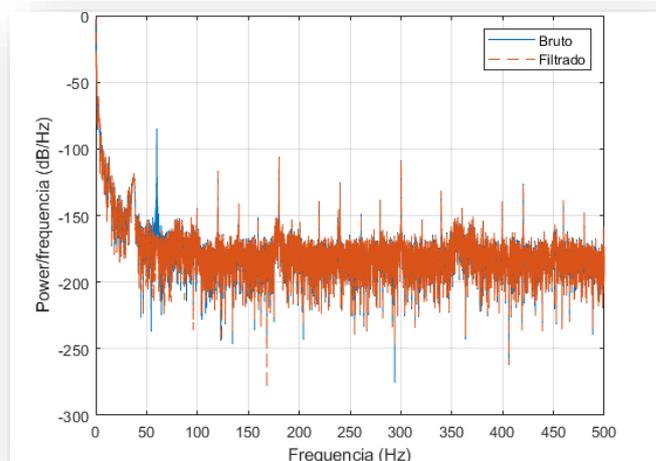
Figura 8: Agarras de saída ajustáveis.



Legenda: Linha vermelha destaca a guia linear que permitiu o ajuste horizontal das agarras. Os quadrados tracejados em amarelo destacam as células de carga.  
Fonte: elaboração própria

O programa *MATLAB*<sup>®</sup> (*Mathworks, Natick, MA*) versão 2020b foi utilizado para aquisição, armazenamento e posterior análise do sinal. Foram utilizadas duas células de carga da marca Líder<sup>®</sup>, modelo CS com capacidade máxima de 2.000 N devidamente calibradas e aferidas antes do início de cada sessão. O sinal digital que saiu do conversor Analógico-Digital da marca *NATIONAL INSTRUMENTS*<sup>®</sup> modelo *USB-6001*<sup>®</sup> de 14-Bits foi levado por meio de um cabo *mini-USB* ao computador com sistema operacional Windows. A aquisição dos dados foi realizada com uma taxa de amostragem de 1.000 Hz. Para eliminar o ruído de 60Hz da rede elétrica foi utilizado um filtro *notch* desenvolvido pela função "*designfilt*" do *MATLAB*<sup>®</sup>. Assim foi empregado um intervalo de frequência de 59 a 61 Hz para o filtro *Butterworth* de segunda ordem. Para verificar a efetividade do filtro, foi utilizado o periodograma do sinal original e do sinal filtrado (ver Figura 9). O periodograma é uma ferramenta para visualização da distribuição de energia em diferentes frequências de um sinal. Foi observado que o pico em 60 Hz foi eliminado no sinal filtrado.

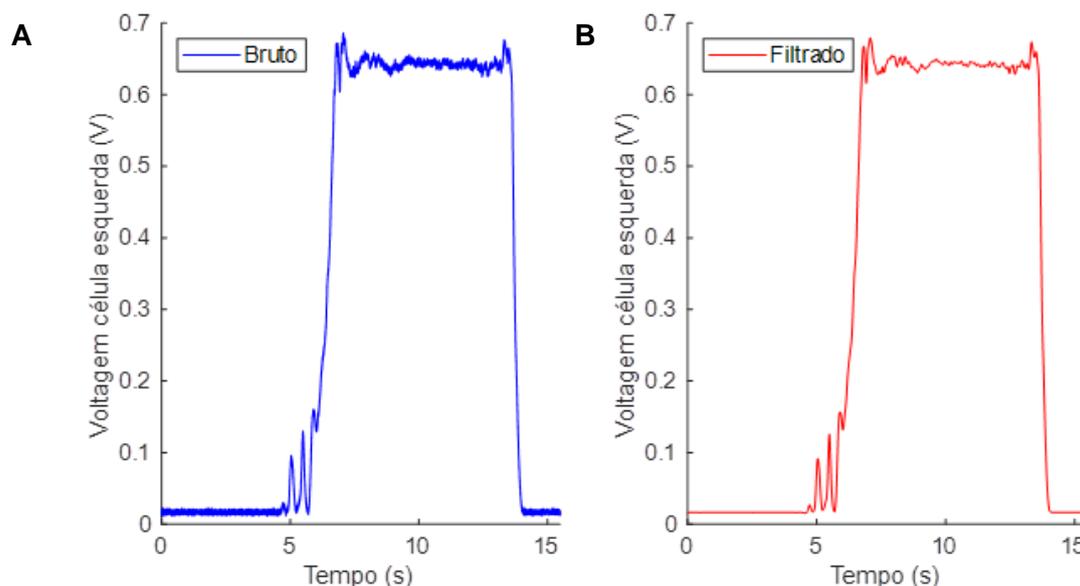
Figura 9: Periodograma da densidade espectral do sinal.



Legenda: dB = decibéis; Hz = Hertz. Linha azul sinal de voltagem bruto; tracejado vermelho sinal de voltagem filtrado.  
Fonte: elaboração própria

Em seguida, foi aplicado ao sinal um filtro passa-baixa de quarta ordem e frequência de corte de 10 Hz. Foi utilizando a função "*filtfilt*" do *MATLAB*® para compensar o atraso do filtro e garantir uma resposta de fase linear. O sinal bruto e filtrado foi plotado em gráficos separados para visualização dos resultados (ver Figura 10).

Figura 10: Comparação do sinal de voltagem bruto e filtrado.

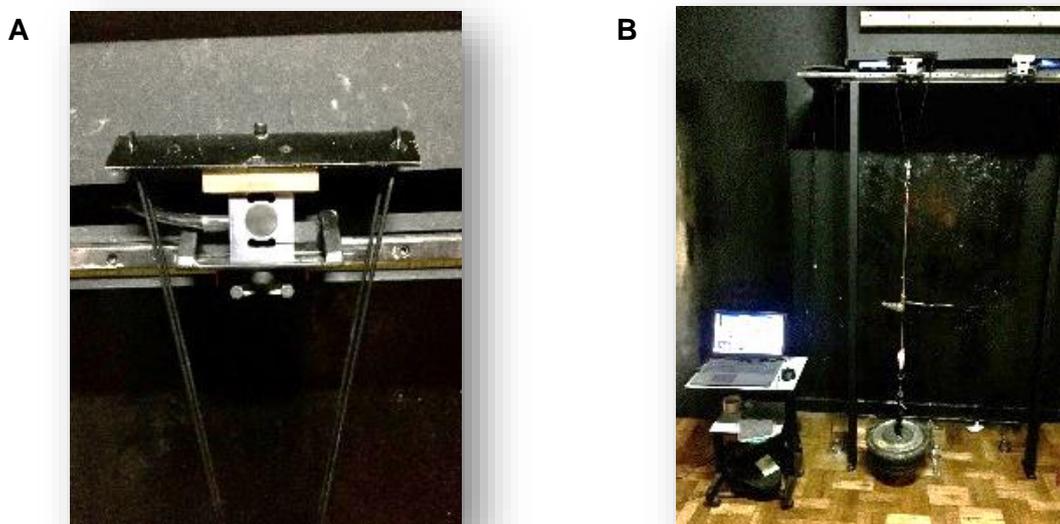


Legenda: Exemplo do registro do sinal de voltagem no procedimento de carregamento/descarregamento com 37 kg. V = milivolts. A = Linha azul sinal bruto; B = tracejado vermelho sinal filtrado.  
Fonte: elaboração própria

## 2.5 Calibração das células de carga

Para gerar as equações de calibração das células de carga foram realizados procedimentos de carregamento/descarregamento utilizando seis massas de valores conhecidos (0 kg, 7,0 kg, 17,0 kg, 27,0 kg, 37,0 kg, 57,0 kg). Os valores de voltagem correspondentes a cada massa foram registrados. Para garantir a consistência do procedimento de calibração, foi desenvolvido um equipamento que possibilitou o carregamento e descarregamento das massas enquanto as células de carga estavam instaladas no CB (ver Figura 11).

Figura 11: Aparato de calibração.



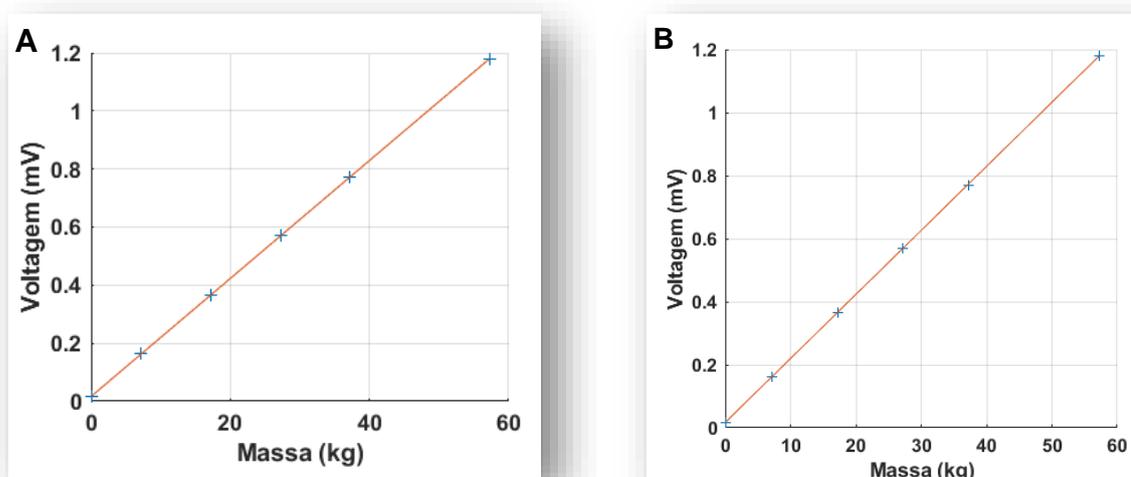
Legenda: A = detalhe do aparato posicionado na agarra instrumentalizada; B = procedimento de carregamento/descarregamento.

Fonte: elaboração própria

Os dados de massa e voltagem foram utilizados como entrada para elaborar a matriz de calibração empregando o método dos mínimos quadrados para o ajuste dos coeficientes do polinômio. Os valores dos coeficientes angular  $p_1$  e linear  $p_2$  e seus respectivos intervalos de confiança de 95% para a célula de carga posicionada a direita foram:  $p_1 = 0,0203$  com um intervalo de confiança de (0,02028; 0,02032) e  $p_2 = 0,002468$  com um intervalo de confiança de (0,001876; 0,003059). Para a célula de carga posicionada na mão esquerda, os valores dos coeficientes e seus respectivos intervalos de confiança de 95% foram:  $p_1 = 0,0203$  com um intervalo de confiança de (0,02027; 0,02033) e  $p_2 = 0,016739$  com um intervalo de confiança de (0,001436; 0,001911). Os intervalos de confiança fornecem uma

medida da incerteza associada aos coeficientes estimados. Quanto menor o intervalo, maior é a precisão da estimativa (ver Figura 12). O coeficiente linear determina a posição inicial no eixo y. O coeficiente angular é uma medida da inclinação da reta de ajuste e indica a relação entre as variáveis independentes (no caso, a massa) e a variável dependente (no caso, a voltagem). Em conjunto, esses dois coeficientes permitem que a reta ajustada represente adequadamente a relação linear entre as variáveis.

Figura 12: Regressão de calibração.

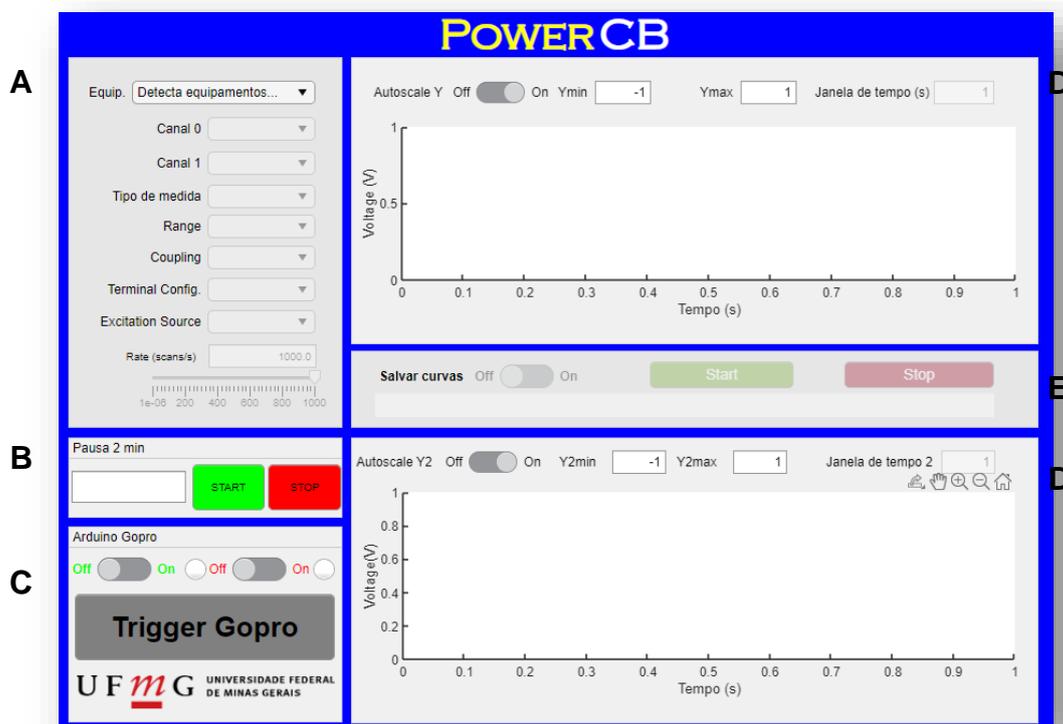


Legenda: A = regressão de calibração da célula de carga do lado esquerdo; B = regressão de calibração da célula de carga do lado direito; mV = milivolts; kg = quilograma.

Fonte: elaboração própria

Foi desenvolvido uma interface gráfica utilizando *App Designer* do *MATLAB*® para facilitar a operação dos diversos sistemas durante a coleta de dados. Na interface gráfica era possível ajustar os parâmetros de aquisição do sinal de voltagem, visualizar as curvas geradas para a mão esquerda e direita e salvar os respectivos arquivos. A interface gráfica também permitiu fazer o controle dos intervalos de recuperação entre os exercícios e procedimentos além de disparar o flash que permitiu sincronizar as câmeras utilizadas para a análise cinemática (ver Figura 13). As rotinas de programação para a aquisição e processamento do sinal estão disponíveis no [material suplementar 01](#).

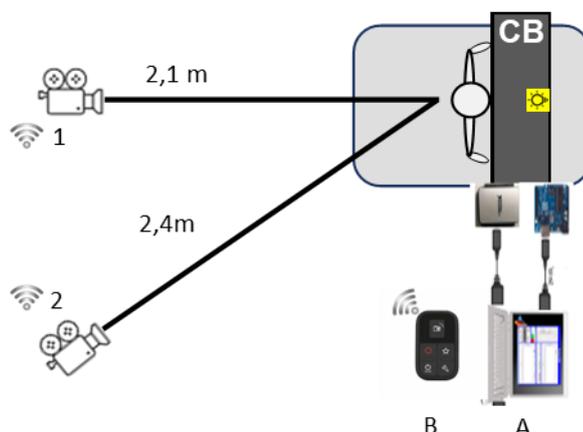
Figura 13: Interface gráfica do sistema de coleta.



Legenda: A = controle parâmetros de aquisição do sinal; B = controle dos intervalos; C = controle do flash; D = Gráficos do sinal analógico; E = controle do início e fim da aquisição.  
 Fonte: elaboração própria

Para a análise cinemática foram utilizadas duas câmeras *GoPro*<sup>®</sup> modelo *7 Black* configuradas no modo linear com frequência de aquisição de 120 frames por segundo e resolução de 1920x1080 pixels (Bernardina *et al.*, 2019). As câmeras foram ativadas simultaneamente por meio do controle remoto. Para garantir a sincronização dos vídeos durante as análises, foi disparado um *flash* pelo microprocessador *Arduino Uno*<sup>®</sup> que por sua vez era controlado pelo *MATLAB*<sup>®</sup> permitindo a sincronização dos dados do sistema de coleta das variáveis cinéticas e cinemáticas. As câmeras foram posicionadas a 1,75 m de altura em relação ao solo e dispostas conforme a Figura 14.

Figura 14: Esquema do posicionamento das câmeras.

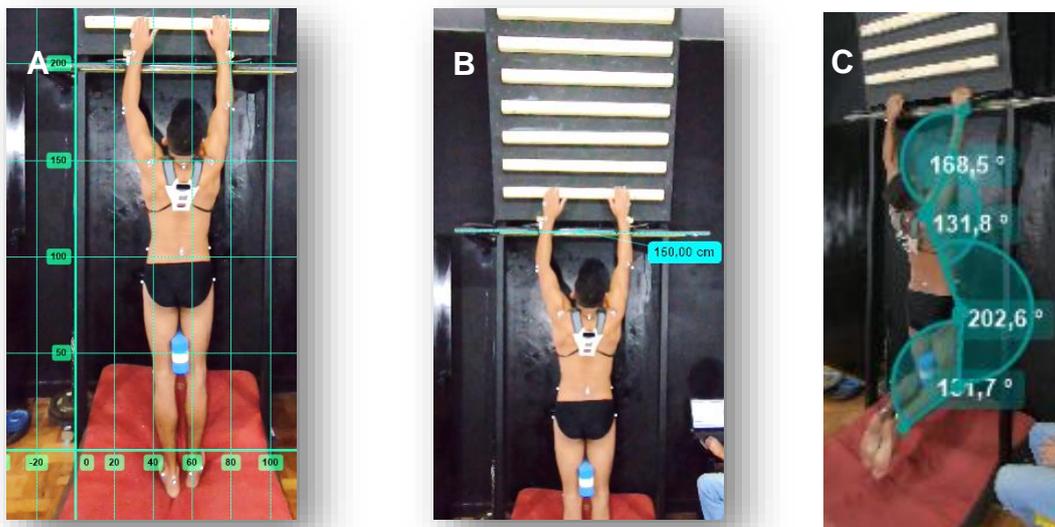


Legenda: 1 = câmera plano frontal; 2 = câmera oblíqua direita; retângulo cinza = colchão de proteção; CB = *Campus Board*; m = distância da câmera em relação ao plano de movimento em metros; linhas tracejadas indicam que não foram analisadas; A = sistema de coleta; B = controle de acionamento remoto das câmeras via WIFI.

Fonte: elaboração própria

Os pontos anatômicos utilizados para o posicionar os marcadores refletivos foram: maléolo lateral; cabeça da fíbula; trocânter maior do fêmur; processo espinhoso da 5<sup>a</sup> vértebra lombar (L5); porção medial da espinha da escápula. Para o membro inferior direito foram registradas as séries temporais relativas a ADM e velocidade angular do quadril e joelho durante o início e fim do movimento. Para a análise das séries temporais, o início do movimento foi no mesmo instante daquele identificado na curva força-tempo total. O fim do movimento foi definido dois frames antes do momento em que, visualmente, o participante tocou a agarra de chegada. A origem do sistema de coordenadas ortogonais 2D e o procedimento de calibração da imagem são apresentados na Figura 15. O comprimento conhecido da guia linear (150 cm) foi usado para a calibração 2D e todas as imagens foram analisadas usando o programa de código aberto *Kinovea*® versão 0.9.5.

Figura 15: Origem do sistema de coordenadas, calibração e ângulos analisados.

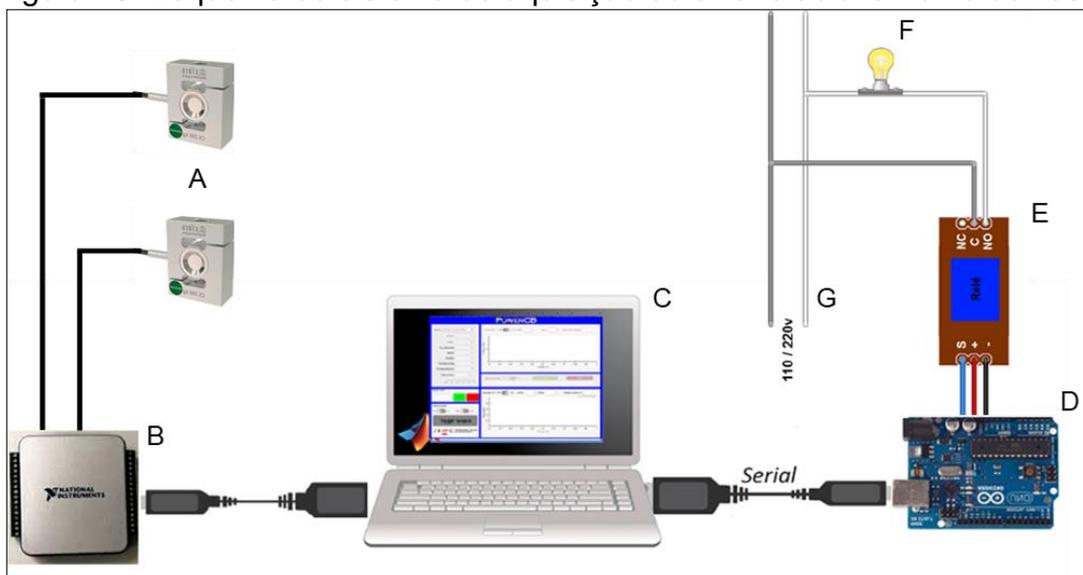


Legenda: A = origem do sistema de coordenadas ortogonais; B = calibração da imagem for realizada utilizando a guia linear e posição da espuma azul e branca na porção distal da coxa. C = ângulos analisados.

Fonte: elaboração própria

A Figura 16 mostra de maneira esquemática o sistema de aquisição do sinal analógico e o acionamento do flash para sincronização das câmeras com a curva força-tempo controlados pelo programa *PowerCB*.

Figura 16: Esquema do sistema de aquisição do sinal e acionamento do flash.



Legenda: A = células de carga; B = conversor analógico digital; C = computador com interface gráfica *MATLAB*; D = microprocessador arduino; E = relé para acionamento do flash; F = lâmpada para emitir o flash; rede elétrica para alimentar o sistema.

Fonte: elaboração própria

## 2.6 Descrição BoteCon e BoteCAE

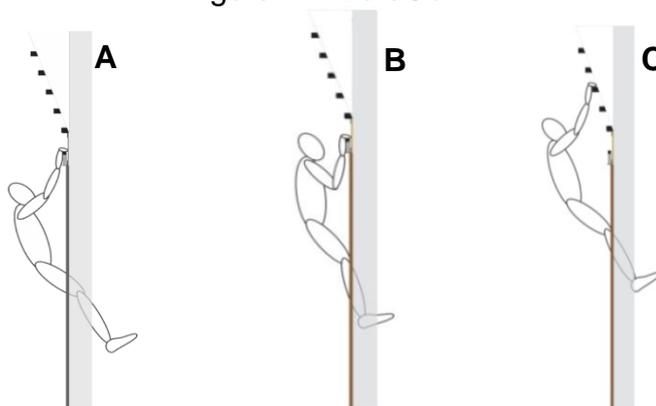
Para os dois exercícios, os punhos iniciaram em posição neutra e os dedos na posição denominada *open grip*. Este tipo de posicionamento diminui o risco de lesões para os tendões e ligamentos dos dedos (Vigouroux *et al.*, 2008). Em relação aos membros inferiores, o participante foi instruído a manter as coxas e pernas unidas durante todo movimento. Uma espuma foi colocada entre as coxas em sua porção distal. A tentativa era invalidada se a espuma caísse.

Durante o processo de familiarização os participantes receberam instruções orais, táteis e visuais do padrão do movimento por parte dos pesquisadores. A tentativa foi validada se executada dentro do padrão solicitado segundo a avaliação do pesquisador. Todas as tentativas foram registradas.

- BoteCon

O participante iniciou suspenso nas agarras iniciais assumindo uma posição auto selecionada. A distância horizontal entre as agarras de saída foi estabelecida individualmente e registrada. Como critério mínimo de padronização da posição inicial, a articulação do cotovelo não deveria estar completamente estendida ( $0^\circ$ ) nem flexionada em um ângulo superior a  $90^\circ$  ( $145^\circ$  = flexão total). Uma vez definida a posição inicial, o participante realizou a fase de impulsão por meio de uma ação concêntrica voluntária máxima dos músculos envolvidos na flexão dos cotovelos, adução/extensão e rotação interna dos ombros e adução, rotação para baixo e depressão das escápulas (ver Figura 17). A instrução dada para realizar a tarefa foi: “faça a puxada dos braços o mais rápido na subida (ação concêntrica) sem soltar a espuma e sem chutar a parede”. Após perder o contato com as agarras, na fase de voo, o participante deveria alcançar com ambas as mãos a agarra mais alta possível. Não foi permitido realizar ações excêntricas (contramovimento). Em relação aos membros inferiores, o participante foi instruído a manter as coxas e pernas unidas durante todo movimento. Uma espuma foi colocada entre as coxas em sua porção distal. A tentativa era invalidada se a espuma caísse.

Figura 17: BoteCon.

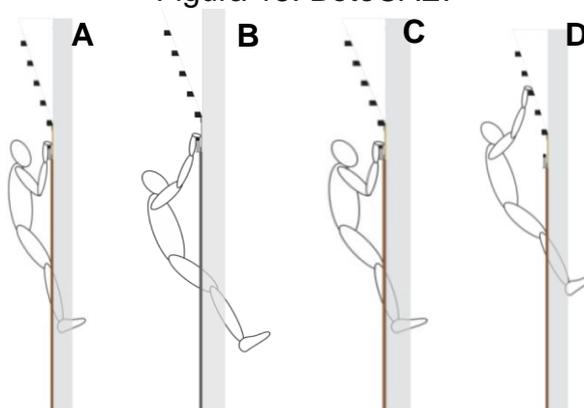


Legenda: A) posição inicial; B) ação concêntrica; C) posição final  
 Fonte: Abreu et al. 2018

- BoteCAE

O participante iniciou suspenso nas agarras iniciais assumindo uma posição auto selecionada. A distância horizontal entre as agarras de saída foi a mesma entre os entre os botes. Como critério mínimo de padronização, a articulação do cotovelo deveria estar flexionada em um ângulo superior a  $90^\circ$  ( $145^\circ$  = flexão total). Uma vez definida a posição inicial, o participante realizou primeiro a fase excêntrica (contramovimento) com a extensão de cotovelos e abdução/flexão de ombro. A instrução foi que o contramovimento deveria ser rápido, descendo até um ponto auto selecionado sem interrupção do movimento durante fase de transição entre a ação excêntrica e concêntrica. A fase de impulsão (concêntrica), fase de voo e as instruções referentes aos membros inferiores foram os mesmos do BoteCon (ver Figura 18).

Figura 18: BoteCAE.

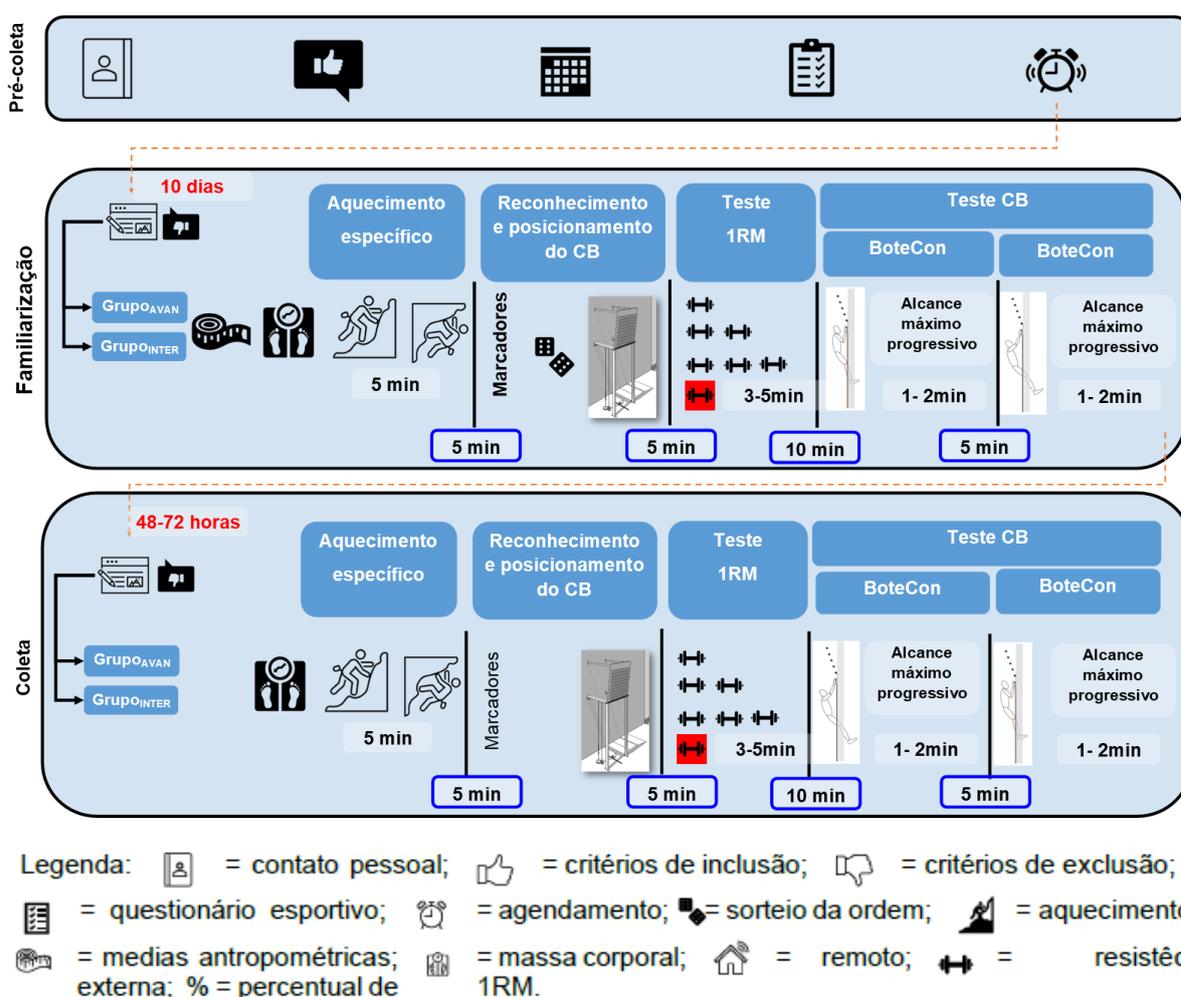


Legenda: A) posição inicial; B) ação excêntrica; C) ação concêntrica D) posição final.  
 Fonte: Abreu et al. 2018

## 2.7 Procedimentos de coleta Estudo - 1

Após a aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética foi realizada a divulgação da coleta de dados em redes sociais, academias e áreas de escalada em rocha na região metropolitana de Belo Horizonte/MG. Foi apresentada de forma sucinta os critérios de inclusão, objetivos, riscos e benefícios relativos à participação. Os procedimentos do Estudo1 são apresentados de maneira esquemática na Figura 19.

Figura 19: Procedimentos de coleta Estudo - 1.



Fonte: Elaboração própria

#### Sessão pré-coleta:

Primeiro foi feito o registro do contato pessoal por e-mail e o número de telefone móvel. Em seguida, o voluntário leu e concordando em participar do estudo, assinou o TCLE. Após a assinatura, foi verificado se o participante atendia aos critérios de inclusão e, caso positivo, o questionário esportivo era encaminhado e respondido por email. Essa etapa poderia ser feita de maneira remota, sendo permitido até 10 dias entre a sessão de pré-coleta e familiarização. Posteriormente foram agendadas as datas e horários das sessões de familiarização e coleta.

#### Sessão familiarização:

Os participantes foram recepcionados pelo pesquisador na portaria do ginásio onde foi realizada a coleta de dados e apresentado as instalações, localização do banheiro e bebedouro. Logo após foi feita a alocação no respectivo grupo e as medidas antropométricas (descritas em detalhes a seguir). Na sequência, o participante acompanhado de um pesquisador se direcionou ao muro de escalada, onde foram realizados os aquecimentos geral e específico. Após o término do aquecimento, foram fixados marcadores refletivos nos pontos anatômicos, sorteado a ordem dos exercícios, feito o reconhecimento e ajuste na posição das agarras no CB. Cinco minutos após o ajuste foi realizado o teste de 1RM seguido de 10 minutos de recuperação. Em seguida foi realizado o teste progressivo do exercício sorteado com cinco minutos entre eles. Todos os instrumentos estavam calibrados e funcionando para a aquisição dos dados.

#### Sessão teste:

Foram seguidos os mesmos procedimentos da familiarização invertendo a ordem que os exercícios BoteCAE e BoteCon foram realizados. Descrição detalhada das sessões de familiarização e teste.

#### A. Medidas antropométricas

Para a caracterização dos participantes foram realizadas as medidas da massa corporal e altura utilizando uma balança digital com precisão de 100 g e estadiômetro analógico acoplado com precisão de 0,5 cm marca *Filizola*<sup>®</sup> modelo PL 200. O participante permaneceu na posição ortostática, cabeça alinhada ao tronco, em apneia respiratória vestindo apenas o calção e descalço. A envergadura foi

medida com participante em pé apoiando as costas e calcanhares na parede com ombros em abdução de 90° em relação ao tronco, cotovelos estendidos, antebraços supinados e em apneia respiratória. A porção distal do dedo médio de uma das mãos estava encostada em uma parede enquanto o pesquisador marcou na parede com uma aposição distal do dedo médio da mão contralateral. Após a saída do participante, o pesquisador utilizou uma fita métrica com precisão de 1 mm para medir o comprimento referente a envergadura.

Todas as informações e medidas realizadas nos dias de coleta e familiarização foram registradas de maneira sistematizada na ficha de coleta disponível no APÊNDICE C – Ficha de coleta

#### B. Aquecimento

Foi permitido, em comum acordo com o pesquisador, que cada participante realizasse entre cinco e dez minutos da sua rotina pessoal de aquecimento geral. No aquecimento específico, o participante escalou horizontalmente por 30 movimentos de mão (sem restrição de movimento dos membros inferiores), em uma parede vertical. O ritmo da escalada foi constante, evitando movimentos bruscos ou permanecer por mais de 5 segundos na mesma agarra de mão. O pesquisador forneceu as instruções e a segurança de corpo ao participante. Um minuto após, foram executadas três repetições de cinco movimentos pré-estabelecidos em uma parede com -10° de inclinação. Entre as repetições foram concedidos um minuto de intervalo. Para diminuir os efeitos da fadiga durante aquecimento específico os movimentos estavam abaixo do grau de dificuldade declarado no questionário.

#### C. Reconhecimento do CB e instruções de posicionamento

Ao retornar ao local de coleta, o participante subiu no colchão de proteção tocando confortavelmente as agarras do CB. Em seguida, o participante ficou suspenso pelas mãos na agarra instrumentalizada do CB que estavam posicionadas horizontalmente a uma distância de 20 cm uma da outra e pôde ajustar a distância entre agarras. Em seguida executou uma flexão no CB com a maior velocidade possível. Em seguida foi demonstrado o BoteCon e BoteCAE e o participante realizou entre duas e quatro vezes cada exercício com suporte do pesquisador. Durante todo esse procedimento o participante poderia ajustar a distância entre as garras. O

objetivo do ajuste era encontrar a posição mais confortável para alcançar o maior desempenho nos botes. Todas as dúvidas em relação a tarefa foram esclarecidas.

#### D. Início do teste de uma repetição máxima (1RM)

Os procedimentos para o teste de 1RM foram determinados com base nos estudos de Grgic *et al.* (2020), Lacerda *et al.* (2016) e ajustes realizados no estudo piloto.

O participante era posicionado apoiando as mãos nas agarras, mantendo os cotovelos estendidos, quadril em posição neutra e joelhos flexionados aproximadamente a 90°. A partir desta posição inicial, o participante foi instruído a movimentar o corpo para cima de maneira contínua, buscando ultrapassar as orelhas em relação ao nível das agarras, que as mãos estavam apoiadas. Todos os participantes iniciaram a familiarização do teste de 1RM com sete quilos aderidos por meio de um sistema de cabo e polias fixado ao cinto. O ajuste do peso foi determinado de comum acordo, considerando a análise do pesquisador e a percepção de esforço do participante. Os ajustes do peso variaram entre um e dez quilos com intervalo entre tentativas de três a cinco minutos. Quando um determinado peso impedisse a execução do movimento completo, definido operacionalmente como “passar as orelhas em relação ao nível das agarras”, a tentativa era invalidada. Para a tentativa subsequente dois quilos (2 kg) eram removidos. A escolha para essa redução no peso foi baseada no valor do erro padrão de medida reportado para o teste de 1RM. Se a retirada dos 2 kg não fosse suficiente, a última tentativa válida foi considerada o resultado do teste de 1RM. Foram permitidas até sete tentativas.

Na sessão de coleta os participantes novamente iniciaram o teste de 1RM com 7 kg. Este valor inicial teve com função testar o funcionamento do sistema de polias e preparar os participantes para cargas mais elevadas. Em seguida foi testado um valor próximo a 80% do resultado do teste na familiarização. Após um intervalo entre três e cinco minutos, foi testado o valor de 100% de 1RM realizado na familiarização. Validada a tentativa o peso foi ajustado entre um e cinco quilos seguindo os mesmos critérios em caso de falha. De uma forma geral, adotou-se o procedimento de: quanto mais tentativas eram realizadas, menor o aumento de peso e maior o intervalo de recuperação.

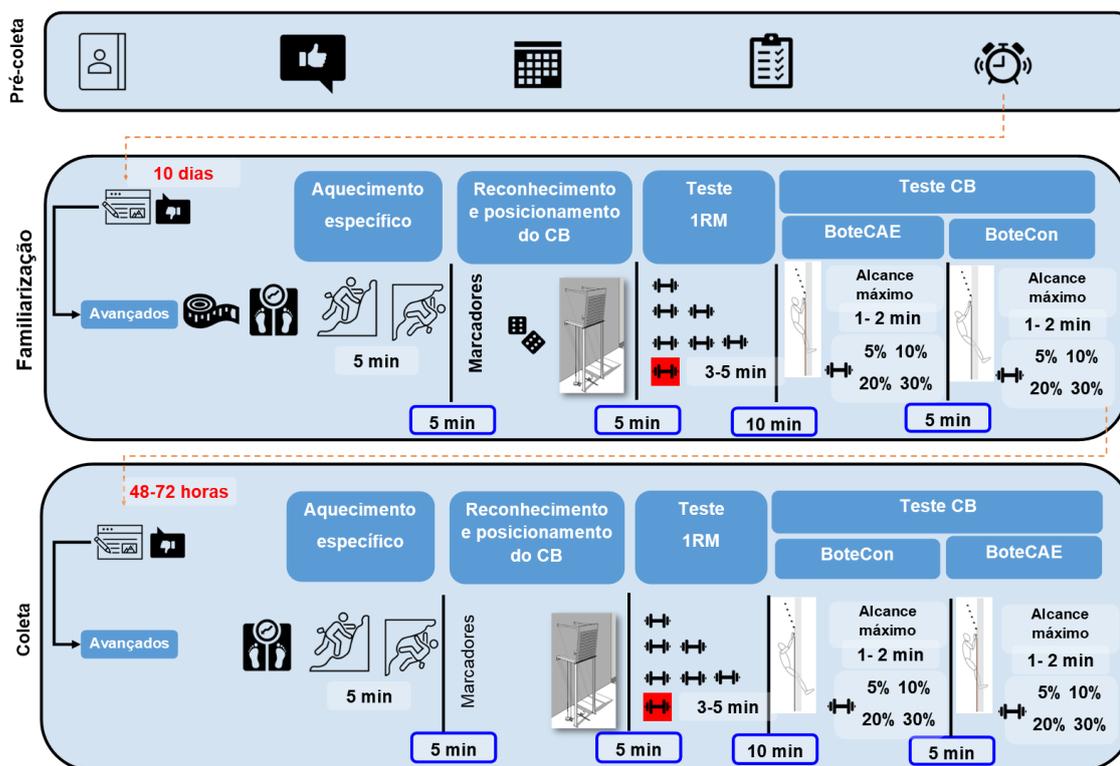
## E. Alcance máximo

Dez minutos após o teste de 1RM foi determinado o alcance máximo no CB da seguinte maneira. 1º) Suspenso nas agarras iniciais, o participante realizou o exercício sorteado, buscando alcançar a agarra imediatamente acima. 2º) Após um minuto de intervalo, se o participante foi capaz de segurar na primeira agarra, realizou novamente o exercício partindo das agarras iniciais buscando alcançar a segunda agarra. 3º) Este procedimento ocorreu sucessivamente até que o participante alcançasse a agarra mais alta possível, definindo o desempenho máximo no exercício. 4º) Ao falhar duas vezes na mesma agarra o teste era interrompido. Foi válida a tentativa que o participante permaneceu na agarra determinada sem deixar a espuma posicionada entre as coxas cair e sem que os pés tocassem a parede. Cinco minutos após o término desse procedimento, foi determinado progressivamente o desempenho máximo no outro exercício, seguindo o mesmo protocolo já descrito.

### 2.7.1 Procedimentos de coleta Estudo - 2

Todos os procedimentos realizados no Estudo 2 até o teste de 1RM foram idênticos aos realizado no Estudo 1. Após 10 min de intervalo a partir do término do teste de 1RM os participantes do Estudo 2 foram determinar a alcance máximo. Os participantes podiam escolher a garra que iriam alcançar, sem ter que fazer o teste progressivo. Com essa mudança buscou-se diminuir o número de tentativas buscando reduzir a fadiga. A agarra imediatamente abaixo da qual o participante realizou o teste de alcance máximo foi determinada para realizar os botes com as resistências externas. Os valores de resistência externa foram: a 0% (apenas massa corporal), 5%, 10%, 20% e 30% do resultado do teste de 1RM. Por razões de segurança e bem-estar dos participantes, os valores das resistências externas prescritas foram menores se comparadas aos valores reportados de 0%, 30%, 45%, 60% e 70% em relação a massa corporal propostos para escaladores da seleção olímpica da França, realizando o exercício de barra fixa (Levernier *et al.*, 2020). Os procedimentos do Estudo 2 são apresentados de maneira esquemática na Figura 20.

Figura 20: Procedimentos de coleta Estudo - 2.



Legenda: = contato pessoal; = critérios de inclusão; = critérios de exclusão; = questionário esportivo; = agendamento; = sorteio da ordem; = aquecimento; = medias antropométricas; = massa corporal; = remoto; = resistência 1RM.

Fonte: Elaboração própria

O lastro utilizado para adicionar a resistência externa foi atado na região da cintura do participante e distribuído de maneira equilibrada por meio de um cinto que permitia um ajuste mínimo de 1kg (ver Figura 21).

Figura 21: Lastro.



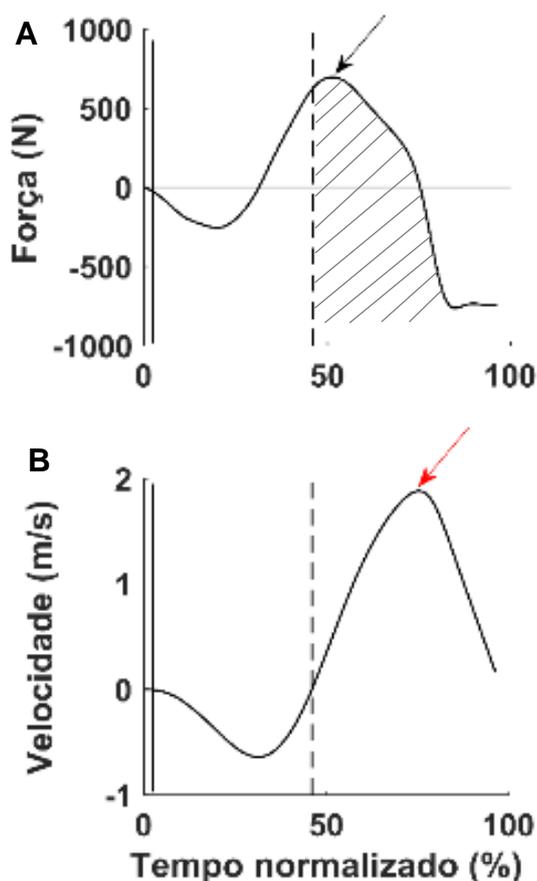
Legenda: Lastro (7 kg) destacado em vermelho.

Fonte: Elaboração própria.

## 2.8 Variáveis cinéticas

O impulso foi calculado a partir da curva força-tempo total, correspondente a soma das curvas da mão direita e mão esquerda utilizando a equação 1. A curva força-tempo total também foi utilizada para definir o início e o fim do movimento. No BoteCAE o impulso foi calculado na fase concêntrica da curva força-tempo que foi definida pelo instante que a curva de velocidade-tempo do CM passou pelo zero. O pico de força também foi mensurado na curva força-tempo total (ver Figura 22).

Figura 22: Operacionalização do impulso, pico de força e pico de velocidade.



Legenda: A = Gráfico força-tempo. Linha vertical = início do movimento; Linha vertical tracejada = Início da ação concêntrica; Seta preta = pico de força; área hachurada = impulso na ação concêntrica. B = Gráfico velocidade-tempo; Seta vermelha = pico de velocidade.  
Fonte: Elaboração própria.

O impulso foi calculado a partir da equação 1.

$$I = \int_{t_0}^{t_i} F dt (F_{FR} - mg) dt = mv_{t_0} \quad (1)$$

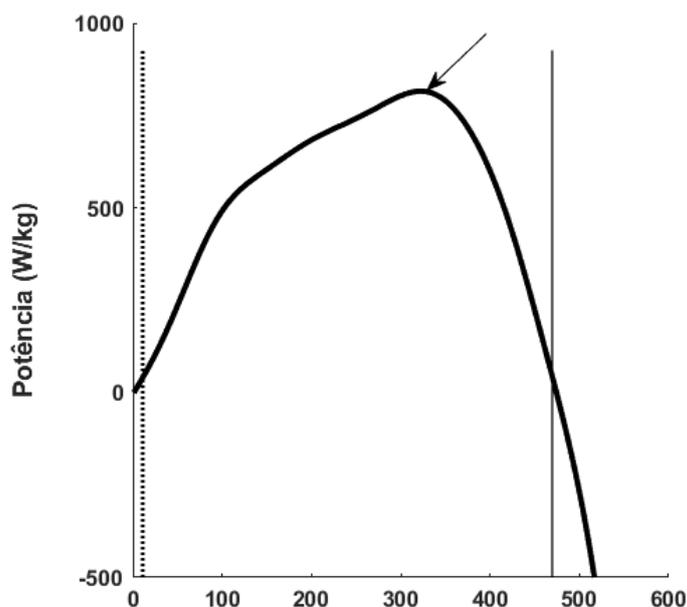
Onde  $I$  é o impulso,  $v_{t_0}$  é a velocidade no instante de perda de contato com a agarra,  $F_{FR}$  é a força de reação,  $m$  é a massa,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $t_i$  é o tempo no início no movimento.

A potência instantânea foi calculada usando a equação 2.

$$P_{t_i} = F_{t_i} \times v_{t_i} = F_{t_i} \times \frac{1}{m} \int_{t_0}^{t_i} F dt \quad (2)$$

Onde  $F_{t_i}$  é a força de reação vertical instantânea e  $v_{t_i}$  é a velocidade vertical instantânea do centro de massa. O produto dos vetores de força e velocidade produziu a curva potência-tempo de onde foi extraído o pico de potência que foi posteriormente dividido pela massa do participante (ver Figura 23)

Figura 23: Operacionalização da variável pico de potência.



Legenda: A = Gráfico potência-tempo. Linha vertical pontilhada = Início ação concêntrica; Seta preta = pico de potência; Linha vertical = saída da agarra.

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 1 são apresentadas as definições e unidades de medidas das variáveis dependentes do Estudo 1.

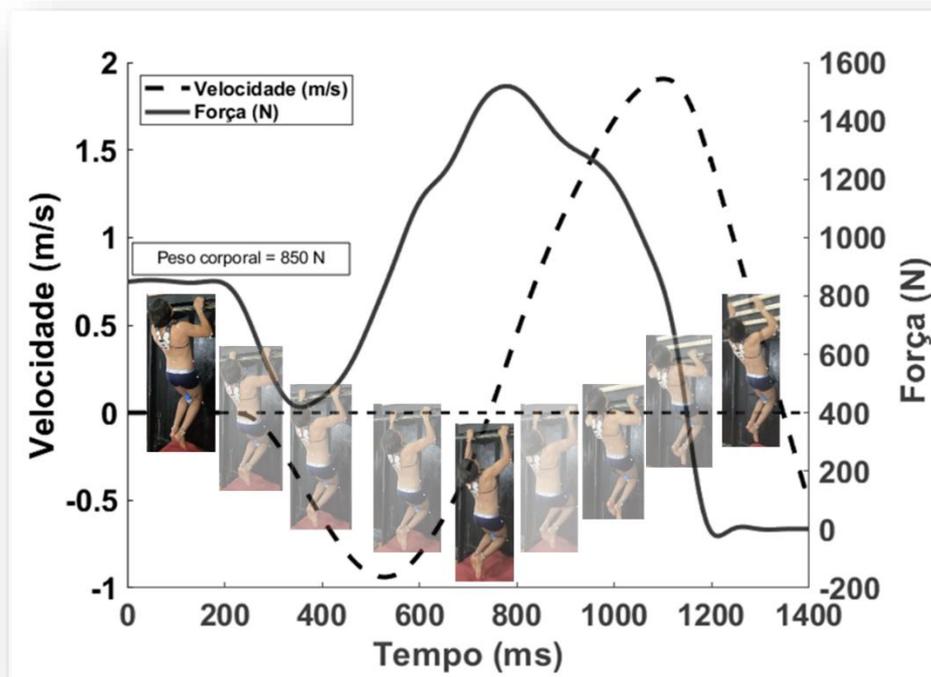
Tabela 1: Variáveis cinéticas.

Variáveis	U.M.	Definição
<b>Impulso</b>	N·s	Área sobre a curva força-tempo
<b>Pico de força</b>	N	Maior valor da curva força-tempo
<b>Pico de potência</b>	W/kg	Maior valor da curva potência-tempo

Legenda: U.M. = Unidade de medida; N = Newtons; s = segundos; kg = quilograma; W = Watts.  
Fonte: Elaboração própria.

Para melhorar a capacidade de interpretação dos resultados é apresentado na Figura 24 as características das curvas força-tempo e velocidade-tempo em relação a posição dos segmentos corporais no BoteCAE.

Figura 24: Características de força e velocidade ao longo do tempo no BoteCAE.



Legenda: A primeira foto mostra o participante na posição inicial do BoteCAE onde a força registra o peso corporal e a velocidade do CM é igual a zero. A quinta foto mostra o momento que o registro da velocidade do CM passa pelo zero onde o participante está na transição entre a fase excêntrica e concêntrica. Entre as fotos oito e nove o participante perde o contato com a agarra, a força é zero.  
Fonte: Elaboração própria.

## 2.9 Variáveis cinemáticas

As variáveis cinemáticas foram classificadas de duas formas, desempenho e controle. As variáveis de desempenho foram o pico de velocidade do CM, pico de velocidade da L5, deslocamento vertical do CM e o alcance máximo. As definições e unidades de medidas são apresentadas na Tabela 2. As variáveis de controle foram as séries temporais relativas a ADM ( $^{\circ}$ ) e velocidade angular ( $^{\circ}/s$ ) da articulação do quadril e joelho direito.

Tabela 2: Variáveis cinemáticas.

Variáveis	U. M.	Definição
<b>Pico de velocidade CM*</b>	m/s	Maior valor da curva velocidade-tempo gerada a partir da primeira integral da curva de aceleração
<b>Deslocamento CM*</b>	cm	Maior valor da curva deslocamento-tempo gerada a partir da primeira integral da curva de velocidade
<b>Alcance máximo</b>	cm	Distância entre a agarra instrumentalizada e a agarra mais alta alcançada
<b>Pico de velocidade L5</b>	m/s	Maior valor da curva de velocidade vertical mensurada no ponto L5

Legenda: \* = variáveis provenientes do teorema impulso-momento; U.M. = Unidade de Medida; CM = centro de massa; L5 = Vértebra lombar número 5; m = metros; s = segundos.

Fonte: Elaboração própria.

## 2.10 Análise estatística Estudo - 1

A normalidade e homocedasticidade das variáveis foram calculadas por meio dos testes de *Shapiro-Wilk* e de *Levene*, respectivamente (Razali; Wah, 2011). O pacote *outliers* do programa R foi utilizado para detectar valores discrepantes usando métodos de *boxplot*. Os *outliers* identificados não foram removidos. Os dados descritivos foram apresentados como média, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de correlação (CV). A confiabilidade relativa da medida foi determinada por meio do coeficiente de correlação intraclasse (CCI) (Shrout; Fleiss, 1979). Para a estimativa da confiabilidade inter-sessão foi calculado o  $CCI_{(2,1)}$  acompanhado dos

respectivos intervalos de confiança (IC) de 95% e resultados do teste  $F$  (Koo; Li, 2016). A classificação adotada para os valores do CCI foi: 'muito baixa' (0,00-0,25), 'baixa' (0,26-0,49), 'moderada' (0,50-0,69), 'alta' (0,70-0,89) e 'muito alta' (0,90-1,00) (PORTNEY; WATKINS, 2000). Além disso, foi calculado o erro padrão da medida (EPM), como medida da confiabilidade absoluta (Weir, 2005). Para determinar a relação entre a velocidade de saída calculada por meio do teorema impulso-momento e pela cinemática referente ao ponto na L5 foi utilizada a correlação de *Spearman*. Para verificar a concordância entre as medidas da velocidade entre os métodos (cinético e cinemático) foi utilizado o procedimento de *Bland-Altman*. Para comparar as características descritivas entre os grupos foi utilizado o teste  $t$  de *Student* de medidas independentes ou o teste  $t$  de *Welch* em caso de ausência de homocedasticidade (Zimmerman, 2004). Finalmente, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) mista de duas vias (*two-way mixed*) para os fatores grupo x exercício. O tamanho do efeito calculado foi o *Partial Eta Squared* ( $\eta_p^2$ ) para demonstrar a magnitude das diferenças entre os grupos (pequeno  $\leq 0,01$ , médio  $\geq 0,06$ , grande  $\geq 0,14$ ) conforme proposto por Cohen (1988). Em caso de interação foi realizado comparação par a par (*Pairwise Comparisons*) e calculado o tamanho de efeito  $d$  de Cohen. Para o  $d$  de Cohen, os valores de 0,8, 0,5 e 0,2 representaram tamanho de efeito grande, médio e pequeno, respectivamente (Cohen, 1988).

### 2.10.1 Análise estatística Estudo - 2

Para o Estudo 2 a análise da confiabilidade e a forma de apresentação dos resultados descritivos foram os mesmos do Estudo 1. Os pressupostos de normalidade e esfericidade foram calculados por meio dos testes de *Shapiro-Wilk* e o teste de *Mauchly*. Uma ANOVA com medidas repetidas e teste *post hoc* foi utilizado comparação par a par (*Pairwise Comparisons*) com valores de  $p$  ajustados usando o método de correção de Bonferroni. O tamanho de efeito foi estimado pelo *Partial Eta Squared* ( $\eta_p^2$ ) e calculado o tamanho de efeito  $d$  de Cohen. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa "R" utilizando a interface *RStudio*® versão 3.3.0. O nível de significância adotado foi de 5%.

### 3 RESULTADOS - ESTUDO 1

#### 3.1 Pressupostos estatísticos

A normalidade da variável grau IRCRA foi verificada para os dois grupos por meio do teste de *Shapiro-Wilk*. O Grupo<sub>AVAN</sub> apresentou distribuição normal, ( $W_{\text{calculado}} = 0,859$ ; com o valor de  $p = 0,075$ ). Para Grupo<sub>INTER</sub> o resultado do teste foi: ( $W_{\text{calculado}} = 0,855$ ; com o valor de  $p = 0,066$ ) demonstrando uma distribuição normal para a variável grau IRCRA. O resultado do teste de *Levene* foi ( $F_{(1,18)} = 5,082$ ;  $p = 0,036$ ) portanto há evidência estatística para se rejeitar a hipótese nula, indicando que as variâncias entre os dois grupos não são homogêneas. Quando há violação de igualdade de variâncias entre os grupos comparados uma alternativa mais robusta é utilizar o teste t de *Welch* (Zimmerman, 2004). Para as outras variáveis os pressupostos estáticos foram atendidos e podem ser consultados no apêndice D.

#### 3.2 Confiabilidade das medidas

Os resultados da confiabilidade para o BoteCon são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Confiabilidade da medida no BoteCon (N=20).

Variáveis	CCI	IC95% (L. inf. / L. sup)	Valor de F	p	EPM
<b>Alcance máximo (cm)</b>	0,728	(0,386 / 0,889)	7,6	0,001	4,3
<b>Pico de potência (W/kg)</b>	0,806	(0,561 / 0,921)	8,8	0,001	1,0
<b>Impulso (N.s)</b>	0,942	(0,797 / 0,980)	45,0	0,001	5,2
<b>Deslocamento CM (cm)</b>	0,763	(0,479 / 0,902)	7,1	0,001	2,4
<b>Pico de velocidade CM (m/s)</b>	0,960	(0,930 / 0,970)	3,9	0,002	0,3
<b>Pico de força (N)</b>	0,900	(0,730 / 0,960)	9,6	0,001	128,9

Legenda: CCI = coeficiente de correlação intraclasse; IC = intervalo de confiança; L inf = limite inferior; L sup = limite superior; p = probabilidade EPM = erro padrão da medida; CM = centro de massa; N = Newtons, s = segundos; W = Watts; kg = quilograma;

Fonte: elaboração própria

Os resultados da confiabilidade para o BoteCAE são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Confiabilidade da medida BoteCAE (N=20).

Variáveis	CCI	IC95% (L. inf. / L. sup)	Valor de F	p	EPM
<b>Alcance máximo (cm)</b>	0,842	(0,633 / 0,937)	11,6	0,001	5,0
<b>Pico de potência (W/kg)</b>	0,904	(0,763 / 0,963)	19,0	0,001	0,7
<b>Impulso (N.s)</b>	0,973	(0,925 / 0,990)	84,5	0,001	5,6
<b>Deslocamento CM (cm)</b>	0,968	(0,913 / 0,988)	67,2	0,001	1,1
<b>Pico de velocidade CM (m/s)</b>	0,959	(0,89 / 0,985)	53,0	0,001	0,2
<b>Pico de força (N)</b>	0,860	(0,630 / 0,950)	7,3	0,001	139,9

Legenda: CCI = coeficiente de correlação intraclasse; IC = intervalo de confiança; L inf = limite inferior; L sup = limite superior; p = probabilidade EPM = erro padrão da medida; N = Newtons, s = segundos; W = Watts; kg = quilograma;

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados para confiabilidade no teste de um 1RM foi de CCI = 0,911 com intervalo de confiança de 95% de (0,764 a 0,966). O resultado do teste  $F$  indica que a hipótese nula pode ser rejeitada ( $F_{(18,13)} = 25,5$ ,  $p > 0,001$ ), o que significa que há evidência de que o valor de CCI pode ser interpretado como de excelente reprodutibilidade. A confiabilidade absoluta foi EPM = 2,2 kg.

### 3.3 Resultados variáveis de desempenho

Dos 29 voluntários recrutados para o estudo, 9 foram excluídos: um (01) por não conseguir realizar o teste, um (01) por responder positivamente no questionário *ParQ*, dois (02) por sentirem desconforto ou dor durante o teste, e cinco (05) não retornaram para o segundo dia. Os 20 participantes incluídos nas análises foram então alocados em dois grupos: Grupo avançado (Grupo<sub>AVAN</sub>; n = 10) composto de escaladores que relataram desempenhar um grau de dificuldade superior ao 18 na escala IRCRA e o grupo de escaladores intermediários (Grupo<sub>INTER</sub>; n = 10), composto por escaladores que nunca desempenharam acima do grau 17 da escala IRCRA. A caracterização dos participantes é apresentada na Tabela 5, sendo reportados a média, desvio padrão e o CV para os grupos Grupo<sub>AVAN</sub> e Grupo<sub>INTER</sub>.

O teste t de *Welch* indicou diferença significativa para o grau de escalada entre grupos ( $t_{Welch}=-4,9$ ;  $df=12,8$ ;  $p < 0,001$ ,  $d=2,22$ ). O desempenho do Grupo<sub>INTER</sub> no 1RM foi menor que o Grupo<sub>AVAN</sub> ( $t_{student}=2,1$ ;  $df=18$ ;  $p=0,046$ ;  $d=0,95$ ). A força relativa foi maior para o Grupo<sub>AVAN</sub> em comparação ao Grupo<sub>INTER</sub> ( $t_{student}=1,9$ ;  $df = 18$ ;  $p= 0,035$ ;  $d = 0,86$ ). Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos para as outras variáveis (ver Tabela 5).

Tabela 5: Análise descritiva dos participantes Estudo 1.

Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub> (n=10)			Grupo <sub>INTER</sub> (n=10)		
	Média	D.P.	CV%	Média	D.P.	CV%
<b>Idade (anos)</b>	31,2	5,3	16,9	34,1	10,7	31,3
<b>Massa corporal (kg)</b>	70,5	10,7	15,2	70,5	7,8	11,3
<b>Altura (cm)</b>	177,8	5,0	2,8	175,1	4,3	2,9
<b>Envergadura (cm)</b>	185,0	7,8	4,2	178,4	5,1	2,9
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,3	3,2	14,2	23,0	2,3	10,2
<b>Apê index(s/un.)</b>	1,0	0,02	1,9	1,1	0,1	2,1
<b>Grau IRCRA (s/un.)</b>	21,2**	3,5	16,6	15,4	1,6	9,0
<b>Tempo de escalada (anos)</b>	8,6	6,2	72,5	8,7	7,8	89,4
<b>Tempo de CB (anos)</b>	3,1	4,0	130,0	2,5	2,9	118,1
<b>1RM (kg)</b>	30,0*	7,8	26,0	23,3	6,1	26,3
<b>Força relativa (s/un.)</b>	0,4*	0,1	33,3	0,3	0,1	21,9

Legenda: D.P.= desvio padrão CV = coeficiente de variação; Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançado; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; IRCRA = *International Rock Climbing Research Association*; s/un. = sem unidade de medida; IMC = índice de massa corporal; CB = campus board; 1RM = uma repetição máxima; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,001$ . Apê index é a razão entre altura e envergadura. Força relativa é a razão entre o teste de 1RM e a massa corporal.

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados descritivos das variáveis impulso, pico de potência e pico de força no BoteCon estão na Tabela 6.

Tabela 6: Análise descritiva das variáveis cinéticas BoteCon.

Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub> (n=10)			Grupo <sub>INTER</sub> (n=10)		
	Média	D.P.	CV%	Média	D.P.	CV%
<b>Impulso (N·s)</b>	69,2	24,2	34,9	43,6	16,3	37,4
<b>Pico de potência (W/kg)</b>	5,5	2,2	40,3	3,2	1,4	43,0
<b>Pico de força (N)</b>	1023,5	180,0	17,5	918,1	82,2	8,9

Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; D.P.= desvio padrão CV = coeficiente de variação; N.s = impulso; N = Newton; W = Watts; kg = quilograma.

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados descritivos das variáveis impulso, pico de potência e pico de força no BoteCAE estão na Tabela 7.

Tabela 7: Análise descritiva das variáveis cinéticas BoteCAE.

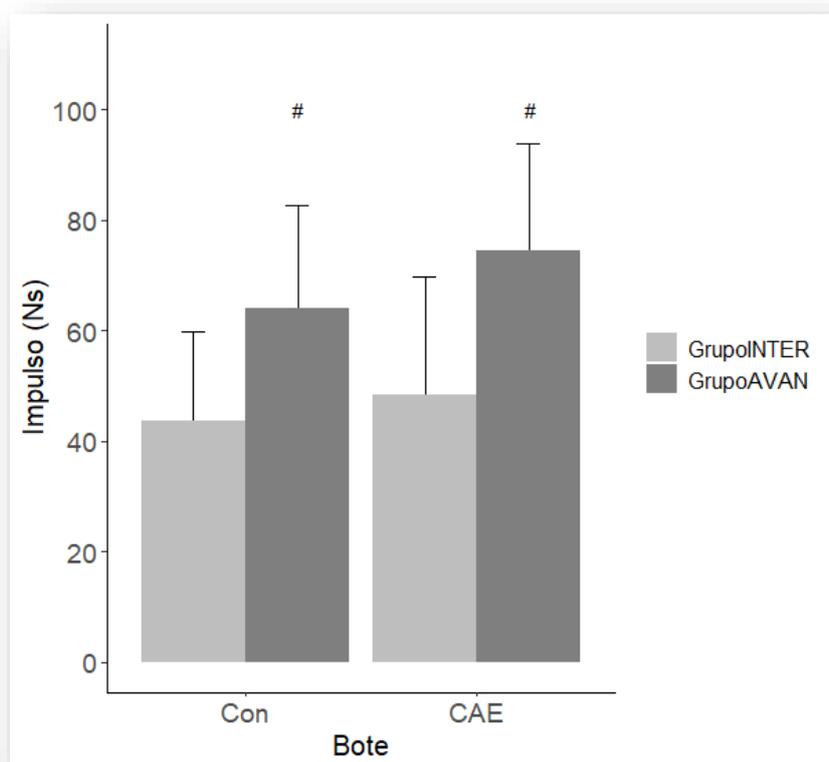
Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub> (n=10)			Grupo <sub>INTER</sub> (n=10)		
	Média	D.P.	CV%	Média	D.P.	CV%
<b>Impulso (N·s)</b>	90,5	38,02	42,0	48,3	21,3	44,1
<b>Pico de potência (W/kg)</b>	6,9	2,4	33,8	3,6	0,8	23,0
<b>Pico de força (N)</b>	1102,7	155,7	14,1	1078,1	94,6	8,7

Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; D.P.= desvio padrão CV = coeficiente de variação; N.s = impulso; N = Newton; W = Watts; kg = quilograma.

Fonte: Elaboração própria.

Para o impulso a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) não foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 0,776$ ;  $p = 0,390$ ;  $\eta_p^2 = 0,041$ ) com tamanho de efeito pequeno. O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 22,9$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2 = 0,560$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de exercício não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 1,926$ ;  $p = 0,182$ ;  $\eta_p^2 = 0,097$ ) com tamanho de efeito médio.

Figura 25: Comparação do impulso entre grupos (Grupo<sub>INTER</sub> e Grupo<sub>AVAN</sub>) e exercícios (BoteCon e BoteCAE).

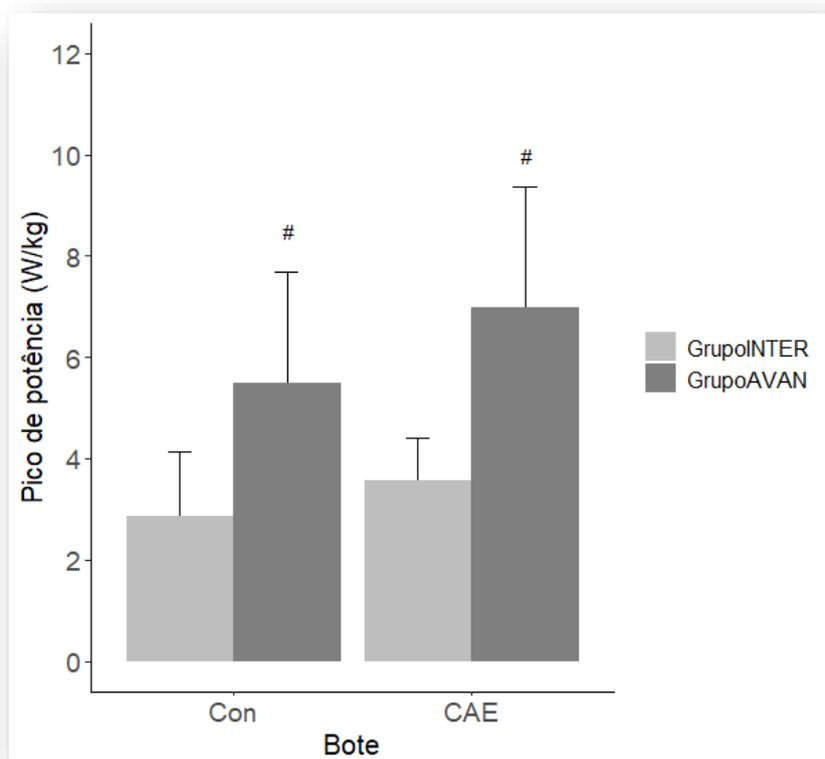


Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento; Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; # = efeito principal de grupo (Grupo<sub>AVAN</sub> > Grupo<sub>INTER</sub>;  $p < 0,001$ )  
 Fonte: Elaboração própria.

Para o pico de potência a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) não foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 0,733$ ;  $p = 0,403$ ;  $\eta_p^2 = 0,039$ ) com tamanho de efeito pequeno. O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 45,4$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2 = 0,716$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de exercício não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 1,766$ ;  $p = 0,200$ ;  $\eta_p^2 = 0,089$ ) com tamanho de efeito médio.

O pico de potência foi 40% maior para o Grupo<sub>AVAN</sub> em comparação ao Grupo<sub>INTER</sub> no Bote<sub>Con</sub>. No Bote<sub>CAE</sub>, o pico de potência foi 48% maior para o Grupo<sub>AVAN</sub> em comparação ao Grupo<sub>INTER</sub>.

Figura 26: Comparação do pico de potência entre grupos (Grupo<sub>INTER</sub> e Grupo<sub>AVAN</sub>) e exercícios (Bote<sub>Con</sub> e Bote<sub>CAE</sub>).

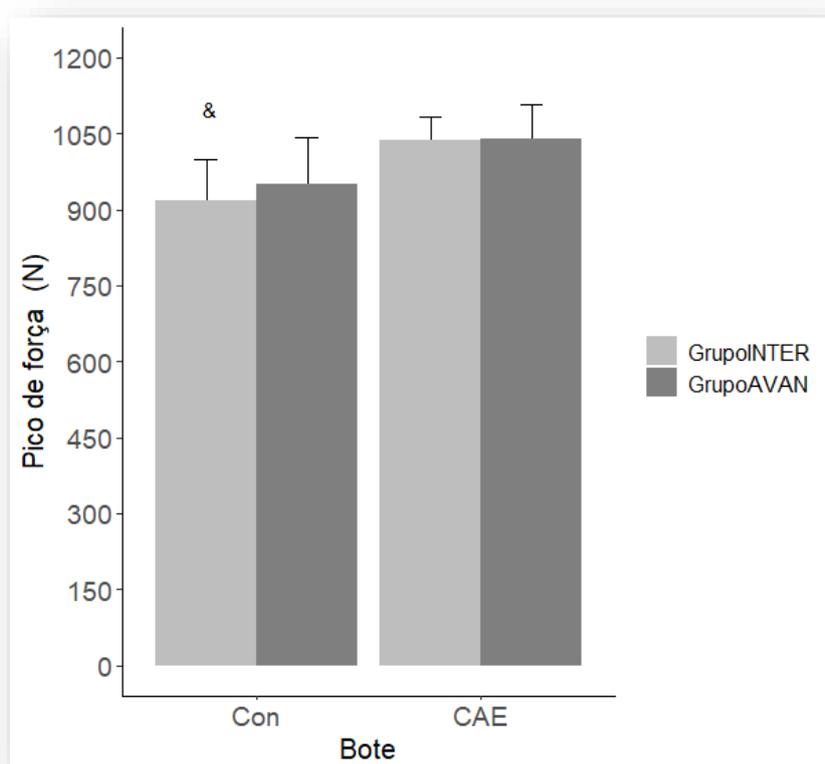


Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; CM = centro de massa; Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; # = efeito principal de grupo (Grupo<sub>AVAN</sub> > Grupo<sub>INTER</sub>;  $p < 0,001$ )

Fonte: Elaboração própria.

Para o pico de força a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 4,548$ ,  $p = 0,047$ ;  $\eta_p^2 = 0,202$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de grupo não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 1,298$ ;  $p = 0,270$ ). O efeito principal de exercício foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 39,930$ ;  $p < 0,001$ ). Na comparação par a par foi verificada diferença significativa entre BoteCAE e BoteCon (BoteCAE =  $1090,4 \pm 126,1$  N; BoteCon =  $970,8 \pm 146,5$  N;  $p < 0,001$ ;  $d = 0,87$ ; IC95% = 79,8 N a 159,4 N) com tamanho de efeito grande. A diferença entre as médias do pico de força do BoteCAE e do BoteCon foi de 119,6 N, aproximadamente 11%.

Figura 27: Comparação do pico de força entre grupos (Grupo<sub>INTER</sub> e Grupo<sub>AVAN</sub>) e exercícios (BoteCon e BoteCAE).



Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento; Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; & = interação (pico de força no BoteCon < BoteCAE, independente do grupo analisado;  $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados descritivos das variáveis pico de velocidade, pico de velocidade L5, alcance máximo e deslocamento CM no BoteCon estão na Tabela 8.

Tabela 8: Análise descritiva das variáveis cinemáticas BoteCon.

Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub> (N=10)			Grupo <sub>INTER</sub> (N=10)		
	Média	D.P.	CV	Média	D.P.	CV
<b>Pico de velocidade CM (m/s)</b>	1,6	0,4	22,5	1,3	0,3	22,9
<b>Pico de velocidade L5 (m/s)</b>	2,0	0,3	16,8	1,6	0,2	10,7
<b>Alcance máximo (cm)</b>	60,0	10,0	16,7	40,5	10,1	24,9
<b>Deslocamento CM (cm)</b>	6,1	5,0	83,0	2,8	2,1	75,0

Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; D.P.= desvio padrão; CV = coeficiente de variação

Fonte: elaboração própria

Os resultados descritivos das variáveis pico de velocidade, pico de velocidade L5, alcance máximo e deslocamento CM no BoteCAE estão na Tabela 9.

Tabela 9: Análise descritiva das variáveis cinemáticas BoteCAE.

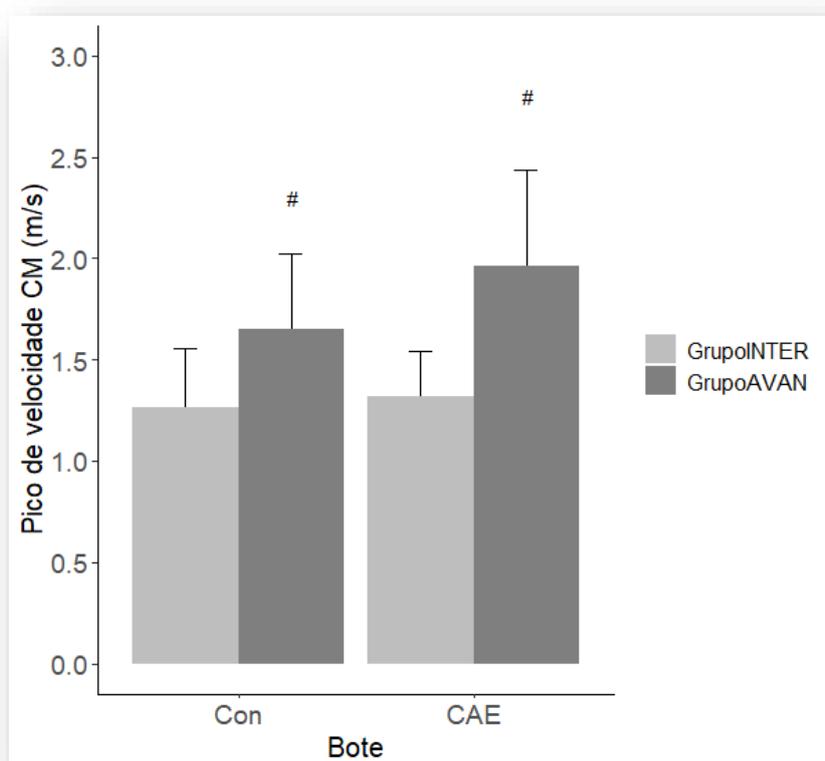
Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub> (N=10)			Grupo <sub>INTER</sub> (N=10)		
	Média	D.P.	CV	Média	(D.P.)	CV
<b>Pico de velocidade CM (m/s)</b>	1,9	0,5	24,1	1,3	0,2	17,1
<b>Pico de velocidade L5 (m/s)</b>	2,1	0,3	16,0	1,68	0,2	15,1
<b>Alcance máximo (cm)</b>	61,5	14,9	24,2	43,5	8,5	19,5
<b>Deslocamento CM (cm)</b>	10,2	6,7	66,1	2,9	2,0	68,8

Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; D.P.= desvio padrão CV = coeficiente de variação

Fonte: Elaboração própria.

Para o pico de velocidade do CM a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) não foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 0,820$ ;  $p = 0,377$ ;  $\eta_p^2 = 0,044$ ) com tamanho de efeito pequeno. O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 57,7$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2 = 0,762$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de exercício não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 1,618$ ;  $p = 0,220$ ;  $\eta_p^2 = 0,082$ ) com tamanho de efeito médio.

Figura 28: Comparação do pico de velocidade CM entre grupos (GrupoINTER e GrupoAVAN) e exercícios (BoteCon e BoteCAE).

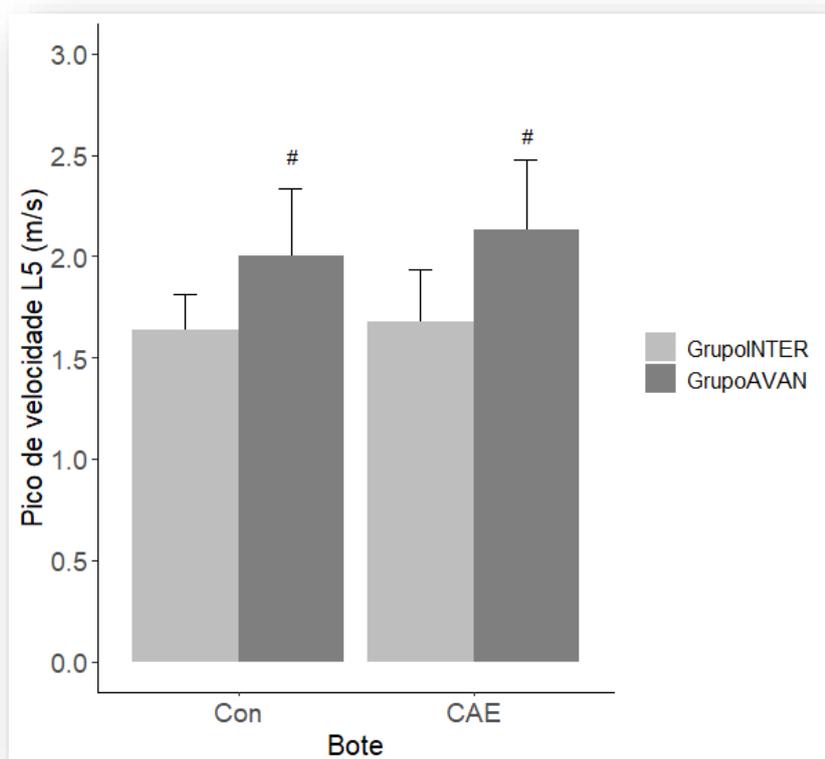


Legenda: GrupoAVAN = grupo de escaladores avançados; GrupoINTER = grupo de escaladores intermediários; CM = centro de massa. Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento; Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; # = efeito principal de grupo (GrupoAVAN > GrupoINTER;  $p < 0,001$ )

Fonte: Elaboração própria.

Para o pico de velocidade do marcador posicionado na L5 a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) não foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 0,820$ ;  $p = 0,377$ ;  $\eta_p^2 = 0,044$ ) com tamanho de efeito pequeno. O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 57,7$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2 = 0,762$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de exercício não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 1,618$ ;  $p = 0,220$ ;  $\eta_p^2 = 0,082$ ) com tamanho de efeito médio.

Figura 29: Comparação do pico velocidade L5 entre grupos (Grupo<sub>INTER</sub> e Grupo<sub>AVAN</sub>) e exercícios (BoteCon e BoteCAE).

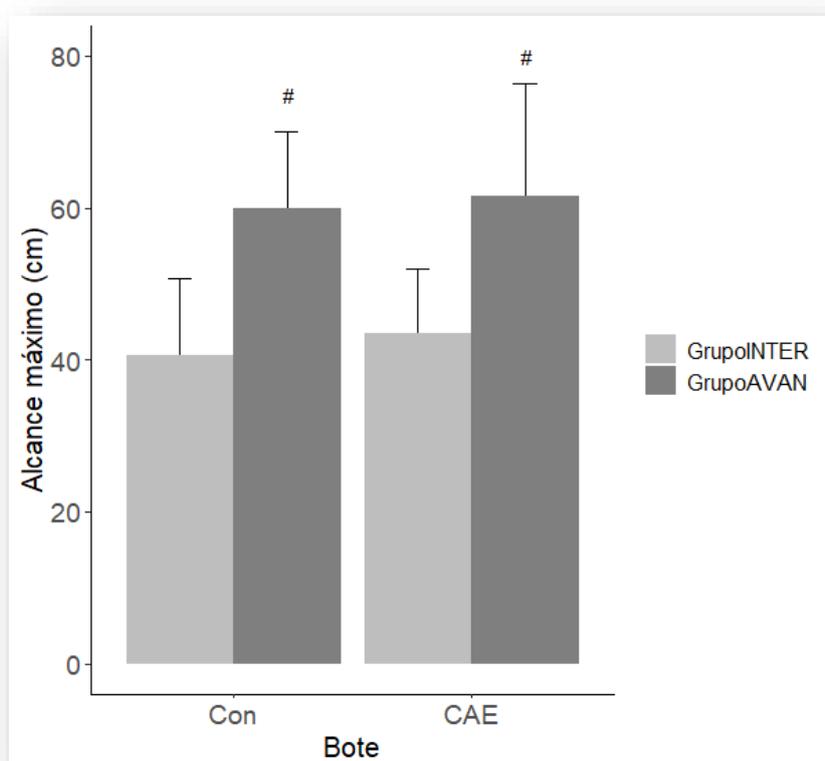


Legenda: Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançados; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; L5 = vertebra lombar L5; Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento; Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; # = efeito principal de grupo (Grupo<sub>AVAN</sub> > Grupo<sub>INTER</sub>;  $p < 0,001$ )

Fonte: Elaboração própria.

Para o alcance máximo a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) não foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 0,746$ ;  $p = 0,399$ ;  $\eta_p^2 = 0,007$ ) com tamanho de efeito pequeno. O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,8)} = 12,225$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2 = 0,361$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de exercício não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 2,825$ ;  $p = 0,110$ ;  $\eta_p^2 = 0,026$ ) com tamanho de efeito pequeno.

Figura 30: Comparação do alcance máximo entre grupos (GrupoINTER e GrupoAVAN) e exercícios (BoteCon e BoteCAE).

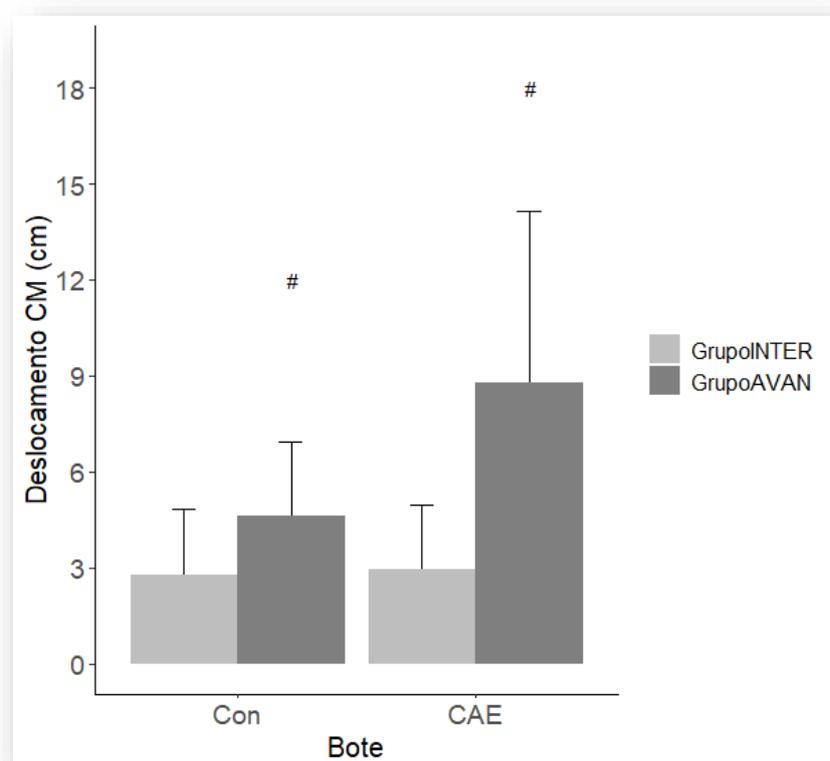


Legenda: GrupoAVAN = grupo de escaladores avançados; GrupoINTER = grupo de escaladores intermediários; Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento; Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; # = efeito principal de grupo (GrupoAVAN > GrupoINTER;  $p < 0,001$ )

Fonte: Elaboração própria.

Para o deslocamento do CM a ANOVA mista de duas vias (*two-way mixed*) indicou que a interação (grupo x exercício) não foi estatisticamente significativa ( $F_{(1,18)} = 1,178$ ;  $p=0,292$ ;  $\eta_p^2=0,061$ ) com tamanho de efeito médio. O efeito principal de grupo foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,8)} = 30,6$ ;  $p < 0,001$   $\eta_p^2=0,630$ ) com tamanho de efeito grande. O efeito principal de exercício não foi estatisticamente significativo ( $F_{(1,18)} = 1,580$ ;  $p= 0,225$ ;  $\eta_p^2=0,081$ ) com tamanho de efeito médio.

Figura 31: Comparação do deslocamento CM entre grupos (GrupoINTER e GrupoAVAN) e exercícios (BoteCon e BoteCAE).



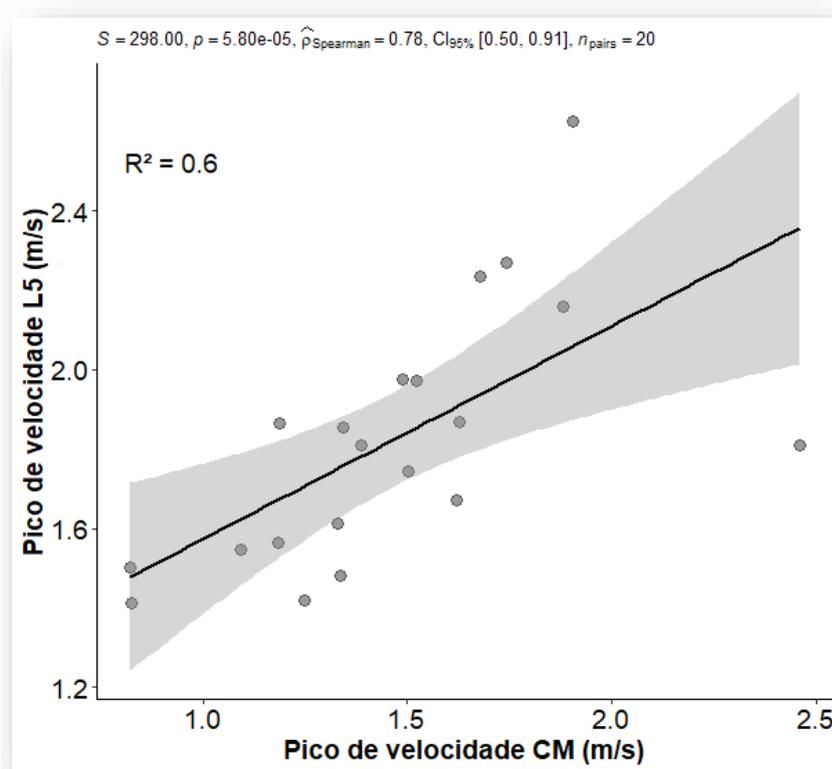
Legenda: GrupoAVAN = grupo de escaladores avançados; GrupoINTER = grupo de escaladores intermediários; CM = centro de massa. Con = concêntrico; CAE = ciclo de alongamento-encurtamento; Barra = média; Linha vertical = desvio padrão; # = efeito principal de grupo (GrupoAVAN > GrupoINTER;  $p < 0,001$ )

Fonte: Elaboração própria.

### 3.4 Resultado da correlação e concordância

A correlação entre o pico de velocidade com base no teorema impulso-momento e o pico de velocidade no marcador localizado no ponto anatômico L5 com base na análise cinemática no BoteCon é apresentada na Figura 32. Verificou-se uma correlação forte ( $\rho = 0,78$ ) positiva e significativa ( $p < 0,001$ ). Ao se multiplicar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) por 100 foi obtida a variância comum de aproximadamente 61% entre as duas variáveis.

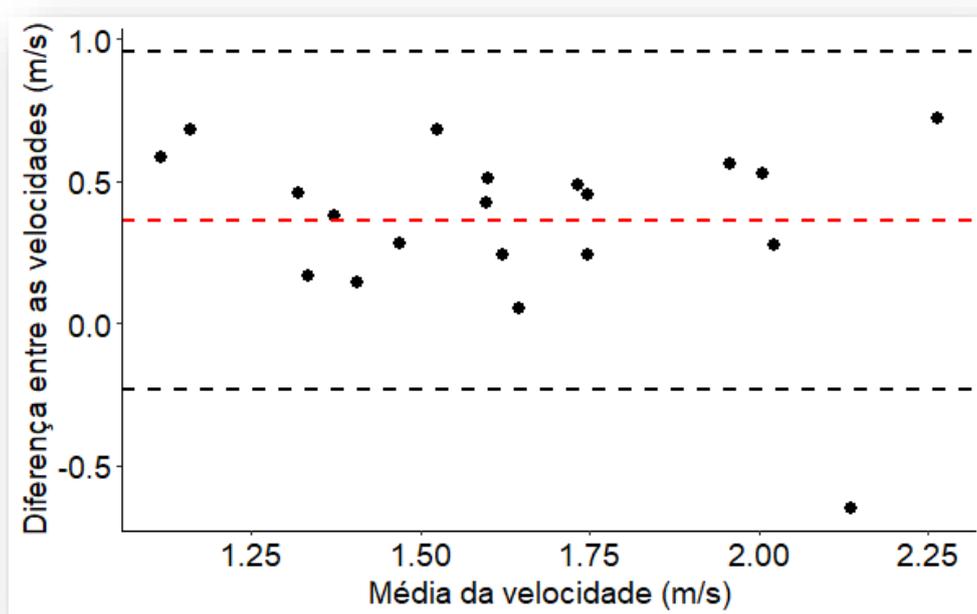
Figura 32: Correlação entre pico de velocidade do CM e L5 no BoteCon.



Legenda: S = Valor da estatística de *Spearman*; p = valor de probabilidade; de  $R^2$  = coeficiente de determinação; m/s = metros por segundo. A faixa cinza representa o intervalo de confiança de 95%.  
Fonte: Elaboração própria.

O resultado para a concordância entre o pico de velocidade com base no teorema impulso-momento e o pico de velocidade no ponto anatômico L5 com base na análise cinemática para o BoteCon é apresentado no gráfico de *Bland-Altman* (ver Figura 33). Foi estimado um viés de 0,36 m/s com intervalo de confiança de 95% de 0,59 gerando um limite inferior de -0,23 m/s e um limite superior de 0,95 m/s.

Figura 33: Gráfico *Bland-Altman* do pico de velocidade do CM e L5 no BoteCon.



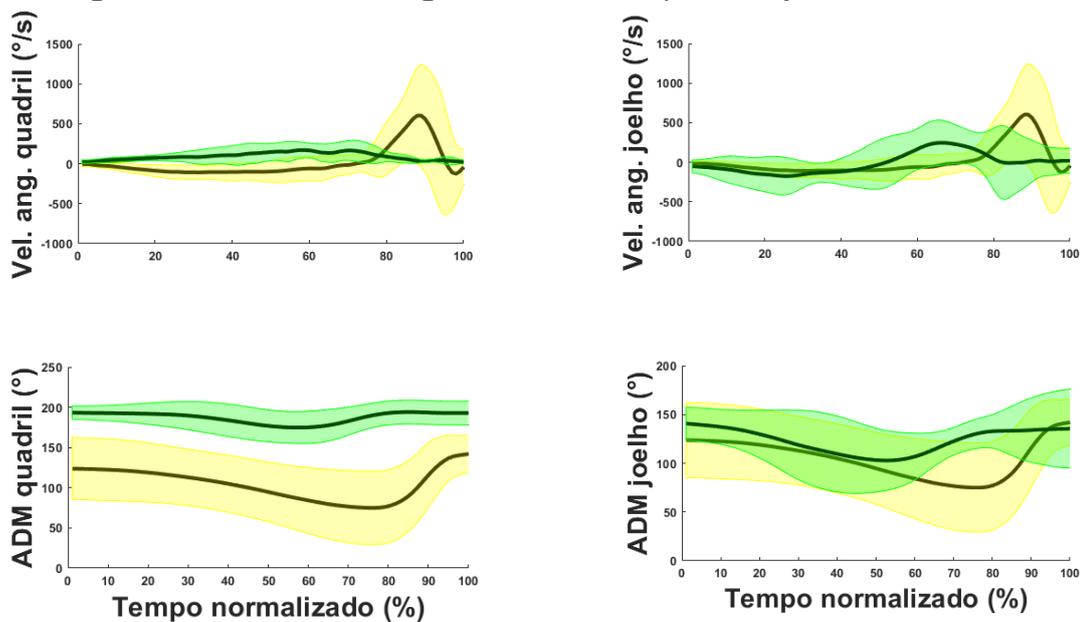
Legenda: Gráfico *Bland-Altman* para a diferença das medidas do pico de velocidade obtidas com base no teorema impulso-momento e por meio da análise cinemática em relação à média das medidas para cada indivíduo. Limites de concordância superior e inferior (linhas pretas tracejadas) representam 1,96 vezes o desvio padrão acima e abaixo da diferença média representada pela linha tracejada vermelha.

Fonte: Elaboração própria.

### 3.5 Resultados variáveis controle

As séries temporais da ADM e velocidade angular do quadril e do joelho no BoteCon são apresentadas na Figura 34.

Figura 34: Velocidade angular e ADM do quadril e joelho no BoteCon.

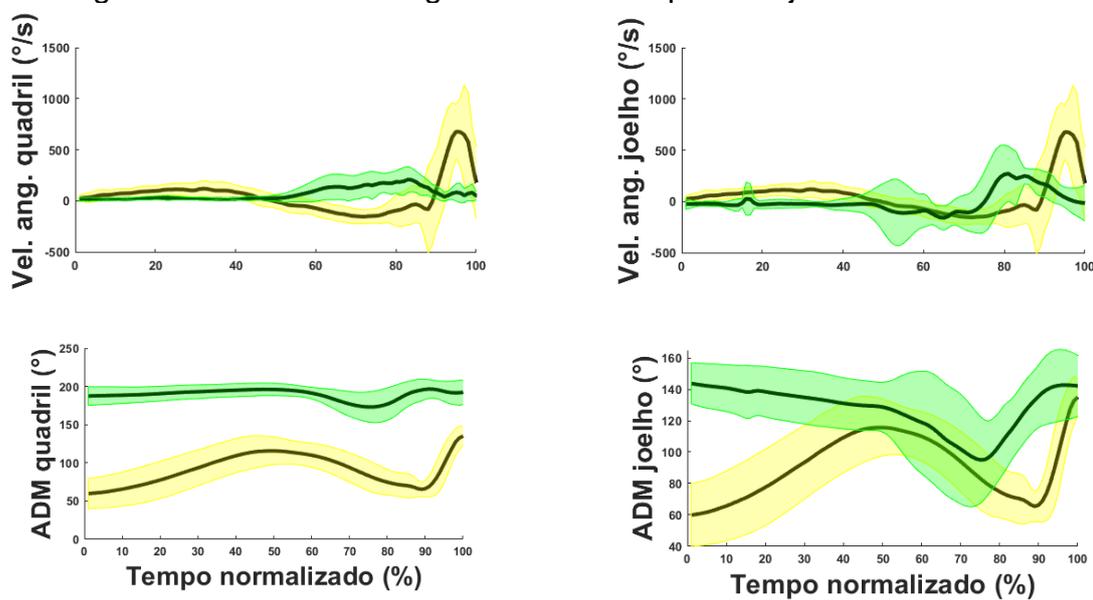


Legenda: Amarelo = desvio padrão Grupo<sub>AVAN</sub>; Verde = desvio padrão Grupo<sub>INTER</sub> ADM = amplitude de movimento; Vel. ang. = velocidade angular.

Fonte: Elaboração própria.

As séries temporais da ADM e velocidade angular do quadril e do joelho no BoteCon são apresentadas na Figura 35.

Figura 35: Velocidade angular e ADM do quadril e joelho no BoteCAE.



Legenda: Amarelo = desvio padrão GrupoAVAN; Verde = desvio padrão GrupoINTER; ADM = amplitude de movimento; Vel. ang. = velocidade angular.  
Fonte: Elaboração própria.

#### 4 DISCUSSÃO - ESTUDO 1

O objetivo do Estudo 1 foi comparar o impulso, pico de potência, pico de força, pico de velocidade, alcance máximo e deslocamento vertical do centro de massa entre escaladores intermediários e avançados e entre o BoteCon e BoteCAE realizados no CB. Os resultados do presente estudo confirmam parcialmente a hipótese, pois diferenças significativas foram identificadas somente para o efeito principal de grupo para a maioria das variáveis. Em relação ao pico de força, a hipótese testada foi confirmada com o resultado significativo para a interação entre os fatores “grupo e exercício”. O segundo objetivo do Estudo 2 foi verificar a associação e a concordância entre o pico de velocidade mensurado pelo método impulso-momento e por meio da cinemática para o BoteCon. A hipótese foi confirmada com os resultados apontando uma correlação forte, positiva e significativa, além de um nível de concordância aceitável entre as medidas da velocidade do CM e a velocidade da L5.

Para formular e testar a hipótese referente ao primeiro objetivo do Estudo 1 a confiabilidade da medida, em particular o CCI é condição “*sine qua non*” para se distinguir grupos que possuem níveis de experiência e desempenho diferentes na escalada (Hopkins, 2000). Somado isso, o presente estudo é, de certa maneira, a continuação da pesquisa publicada por Abreu *et al.* (2018). Portanto, discutir com mais detalhes a confiabilidade das variáveis cinéticas, cinemáticas e de desempenho à luz dos argumentos e limitações apresentadas por Abreu *et al.* (2018) passa a ser relevante.

Dada a classificação utilizada para interpretar a confiabilidade entre-dias reportada no presente estudo, o CCI de 0,911 associado ao resultado do teste de 1RM permite classificar o nível de confiabilidade como muito alto. A estimativa do EPM para o teste de 1 RM foi de 2,17 kg, o que representa um valor percentual menor que 10% em relação ao 1RM de 23,3 kg (100%) representa para um teste de campo um erro aceitável. Como consequência da prática constante do teste de 1RM na população de escaladores é uma esperada redução do EPM se os mesmos procedimentos do presente estudo forem mantidos (Hopkins, 2000). Deve-se considerar na interpretação da confiabilidade no teste de 1RM do presente estudo que os resultados dos dois grupos foram agregados.

Abreu *et al.* (2018) relataram para o impulso um CCI de 0,92 e EPM de 7,7 N·s para o BoteCon e para o BoteCAE CCI de 0,78 com EPM de 12,3 N·s. No presente estudo o CCI foi de 0,94 e o EPM foi de 5,2 N·s demonstrando uma melhora da confiabilidade no BoteCon. No BoteCAE O CCI foi de 0,97 e o EPM de 5,6 N·s demonstrando melhora da confiabilidade do presente estudo em comparação aos resultados publicados por Abreu *et al.* (2018). A primeira justificativa para a melhora está relacionada a estrutura do CB. No presente estudo a inclinação da placa que sustentava as agarras foi de  $-10^\circ$  em relação ao plano vertical enquanto no estudo de Abreu *et al.* (2018) a inclinação era de  $-20^\circ$ . Com isso o movimento anteroposterior durante a fase de voo foi minimizado. Além disso o CB estava a uma distância de 60 cm da parede enquanto no estudo de Abreu *et al.* (2018) o CB estava montado em um vão livre permitindo o movimento de pêndulo durante a fase de impulsão.

A segunda explicação para a melhoria na confiabilidade está relacionada aos movimentos realizados no BoteCon e BoteCAE. No estudo de Abreu *et al.* (2018), não houve controle sobre os movimentos de pêndulo do tronco e dos membros inferiores. No entanto, no presente estudo, os movimentos de pêndulo foram proibidos. Além disso, houve uma padronização dos movimentos dos membros inferiores. Após o estudo piloto, observou-se um aumento no número de quedas e, conseqüentemente, um maior risco de lesões ao proibir o movimento dos membros inferiores. Além disso, durante o desempenho máximo, todos os participantes alteravam o padrão de movimento. A solução encontrada foi o uso de uma espuma na porção distal da coxa. Isso impediu o afastamento dos membros inferiores contralaterais. Espera-se, com isso, reduzir as variações no padrão de movimento empregado, bem como direcionar o momento angular gerado pelas articulações dos quadris e joelhos na direção vertical.

Os resultados obtidos com os ajustes realizados no método demonstram a realização do BoteCon e BoteCAE no CB forneceu medidas confiáveis e consistentes para a análise do desempenho motor de escaladores intermediários e avançados.

Retornado ao objetivo de comparar escaladores intermediários a avançados, foi confirmado no presente estudo melhores resultados para o GrupoAVAN para o impulso, pico de potência, pico de velocidade do CM, alcance máximo e

deslocamento vertical do CM com efeito principal de grupo. Como o Grupo<sub>INTER</sub> e o Grupo<sub>AVAN</sub> foram diferentes estatisticamente ( $p < 0,001$ ) em relação ao grau de dificuldade (Draper *et al.*, 2016) espera-se que as diferenças encontradas nas variáveis analisadas sejam atribuídas ao nível de experiência dos participantes dentro de cada grupo. A interpretação desse resultado deve também considerar que as variáveis de controle, relativas a ADM e velocidade angular do quadril e joelho, apresentaram comportamentos distintos (ver Figura 34 e 35) entre os grupos. Diferenciar tendências de padrão de movimento entre escaladores esportivos com diferentes níveis de experiência pode apontar aos treinadores possíveis estratégias para melhorar o rendimento dos escaladores.

Outras distinções entre escaladores que justificam a expectativa de encontrar melhores resultados para o Grupo<sub>AVAN</sub> tem relação como a composição corporal e antropometria. Por exemplo, em 2004, um estudo sobre o perfil antropométrico de escaladores com diferentes níveis de experiência alterou a imagem criada empiricamente de escaladores como um indivíduo grande e mesomorfo. Watts (2004) concluiu que os escaladores eram mais baixos e ectomorfos do que o esperado pelo senso comum. Quase vinte anos depois esse tema ainda é investigado. Ginszt *et al.* (2023) analisaram 18 estudos em uma revisão sistemática. Em relação à massa corporal, escaladores avançados apresentaram menores valores em comparação com escaladores esportivos intermediários (Ginszt *et al.*, 2023). Esse resultado contrasta com o presente estudo que identificou que a massa corporal do Grupo<sub>INTER</sub> e o Grupo<sub>AVAN</sub> foi similar, sendo respectivamente 70,4 kg e 70,5 kg. Nenhum parâmetro antropométrico do presente estudo apresentou diferença estatística entre os grupos, indicando não existir um conjunto específico de característica antropométrica que seja obrigatório para um escalador intermediário se tornar avançado (MERMIER *et al.*, 2000).

Em relação ao tempo de prática no CB, Abreu *et al.* (2018) reportaram em média dois anos de uso, corroborando os resultados do Grupo<sub>INTER</sub> de 2,5 anos e do Grupo<sub>AVAN</sub> 3,1 anos. Embora o CB seja amplamente disseminado como meio de treinamento entre escaladores não é usual estudos reportarem o tempo de prática no CB o que limita a generalização desse resultado. O tempo de prática de escalada também foi similar entre os dois grupos resultado que não é corroborado pela literatura (Ginszt *et al.*, 2023). Os resultados para o tempo de prática no CB e para o

tempo de prática na escalada devem ser analisados com cautela considerando que os CVs foram maiores que 100%. Assim, esse comportamento ou hábito podem não refletir o que acontece na prática, uma vez, que é esperado que escaladores avançados tenham maior tempo de prática na escalada e no CB comparado a escaladores intermediários. Os resultados do presente estudo reforçam a característica heterogênea do perfil esportivo e antropométrico dos escaladores reforçando o papel que variáveis treináveis como a força muscular dos membros superiores representam para o aumento do grau de dificuldade desempenhado (Langer *et al.*, 2022). Por isso espera-se que escaladores intermediários tenham menos força nos membros superiores que escaladores avançados.

A força máxima dinâmica dos membros superiores foi medida por meio do teste de 1RM realizado no CB com a finalidade de caracterizar o perfil esportivo dos grupos. Os resultados no teste de 1RM mostraram que o grupo Grupo<sub>AVAN</sub> era mais forte ( $t_{student}=2,132$ ;  $p=0,046$ ;  $d=0,95$ ) comparado ao Grupo<sub>INTER</sub> mesmo quando relativizado pela massa corporal (força relativa) como o esperado. Com objetivo de verificar se existiam diferenças no teste de 1RM realizado no *fingerboard* fixo ou móvel, Sas-Nowosielski *et al.* (2022) avaliaram 16 escaladores avançados. O resultado do teste de 1RM no equipamento fixo, sendo este o que mais se assemelha ao teste realizado CB do presente estudo, foi de 34,3 kg (Sas-Nowosielski *et al.*, 2022), corroborando os achados do presente estudo que reportou para o Grupo<sub>AVAN</sub> uma média de 30,0 kg para o teste de 1RM.

Embora o teste de 1RM seja empregado em modalidades esportivas em que a força máxima é um componente determinante para o desempenho (Grgic *et al.*, 2020), sua aplicação não é comum entre treinadores e pesquisadores que treinam ou estudam escalada. Operacionalizar o teste de 1RM no CB sem o sistema de cabo e polias utilizados no presente estudo pode ser trabalhoso e arriscado, pois ao falhar com uma carga maior que o 100% poderiam causar uma queda descontrolada com os pesos entre as pernas. Uma opção mais simples seria utilizar o pulley que possui uma associação forte e positiva ( $\tau = 0,72$ ,  $p = 0,016$ ) com o teste de 1RM realizado no CB (Lopes *et al.*, 2023). Outra justificativa está na atenção dada por pesquisadores e treinadores a função isométrica dos músculos flexores dos dedos e do carpo. Afinal esse é o grupo muscular que pode prever o desempenho na escalada (Balaghi *et al.*, 2014) e é o responsável por transmitir o

impulso gerado pelas ações dinâmicas dos ombros, cotovelos para as agarras (Abreu *et al.*, 2018).

O impulso foi 37% maior para o Grupo<sub>AVAN</sub> em comparação ao Grupo<sub>INTER</sub> no BoteCon. No BoteCAE, o impulso foi 46% maior para o Grupo<sub>AVAN</sub> em comparação ao Grupo<sub>INTER</sub>. Comparando o impulso com os resultados reportados por Abreu *et al.* (2018) os valores do presente estudo foram aproximadamente 4% menores em relação ao Grupo<sub>INTER</sub> para o BoteCon. Ainda em relação ao BoteCon o Grupo<sub>AVAN</sub> teve valores do impulso cerca de 34% maiores se comparado ao impulso reportado por Abreu *et al.* (2018). Da mesma forma, para o BoteCAE, o impulso no presente estudo foi cerca de 55% maior em relação ao reportado por Abreu *et al.* (2018) para o Grupo<sub>AVAN</sub> e aproximadamente 16% menor em relação ao Grupo<sub>INTER</sub>. Com base nesses achados, pode-se concluir que os resultados do presente estudo estão de acordo com a literatura disponível. Extrapolando os resultados sobre o impulso e levando em conta a tarefa motora envolvida, podemos afirmar que escaladores avançados possuem mais força rápida que escaladores intermediários, considerando que força rápida é definida como “o maior impulso que o sistema neuromuscular pode produzir no tempo disponível” (Schmidtbleicher, 1992). Para ações dinâmicas, o impulso tem relação com a de potência e, portanto, é esperado que escaladores avançados produzam mais potência que escaladores intermediários.

A potência, por ser uma grandeza física escalar, deve ser interpretada no contexto esportivo considerando a tarefa motora específica e o procedimento utilizado para o cálculo da mesma (Cormie *et al.*, 2011a). O Grupo<sub>AVAN</sub> apresentou valores de potência 28% maiores que o Grupo<sub>INTER</sub> no BoteCon e cerca de 48% maior para o Grupo<sub>AVAN</sub> no BoteCAE. Medidas de potência dos membros superiores de escaladores já foram investigadas em estudos prévios. Por exemplo, utilizando a equação de Lewis para estimar a potência de um salto recorrendo a altura do salto, Draper *et al.* (2011) relataram diferenças significativas entre os grupos ( $p < 0,05$ ) com valores de potência de  $927,5 \pm 272,7$  W para escaladores iniciantes e  $1231,4 \pm 329,5$  W para escaladores avançados. Neste estudo, na tarefa utilizada por Draper *et al.* (2011), o participante era instruído a lançar apenas uma das mãos, buscando tocar a placa do CB o mais alto possível. Diferentemente do estudo de Draper *et al.* (2011), no presente estudo, o participante lançou ambas as mãos e deveria permanecer

apoiado na agarra mais alta possível. Além dessa diferença na tarefa motora, o cálculo da potência utilizado por Draper *et al.* (2011) possui limitações conceituais (Knudson, 2009). Portanto, as comparações com os resultados do presente estudo não levam em conta a magnitude da potência, mas corroboram os resultados da literatura quanto à distinção entre os níveis de experiência.

Semelhante ao presente estudo, a potência foi comparada entre diferentes tipos de escaladores, utilizando um acelerômetro triaxial fixado na cintura dos mesmos durante a realização de um exercício de bote de duas mãos (Laffaye *et al.*, 2014). Os autores relataram uma potência de  $18,1 \pm 5,2$  W/kg para os escaladores iniciantes e de  $25,2 \pm 5,8$  W/kg para os escaladores avançados, sendo a diferença entre os valores reportados estatisticamente significativa ( $F_{(2,30)} = 4,9$ ;  $p < 0,01$ ). Os resultados do presente estudo foram  $5,4 \pm 2,2$  W/kg e  $6,9 \pm 2,3$  W/kg para o Grupo<sub>AVAN</sub>, sendo estes para o BoteCon e BoteCAE respectivamente. Para o Grupo<sub>INTER</sub>, os valores foram de  $3,2 \pm 1,3$  W/kg e  $3,5 \pm 0,8$  W/kg, respectivamente para o BoteCon e BoteCAE, corroborando os achados de Laffaye *et al.* (2014). No entanto, as magnitudes dos valores de potência não foram semelhantes entre os estudos. A explicação é que Laffaye *et al.* (2014) reportaram a potência média e utilizaram a resultante da aceleração dos três eixos do acelerômetro para calcular a potência. No presente estudo a variável foi o pico de potência calculado a partir das forças de reação. Apesar das limitações ao se comparar os valores absolutos da produção de potência, o estudo de Laffaye *et al.* (2014) permite também discutir o alcance máximo.

O alcance máximo é de interesse dos escaladores pois, alcançar a agarra mais alta possível, é uma das metas do treinamento no CB. No estudo de Laffaye *et al.* (2014) os participantes executaram o BoteCon sem permanecer na agarra mais alta alcançada, ou seja, somente tocando o CB o mais alto possível. A média do alcance máximo para os escaladores iniciantes foi de 45 cm, escaladores avançados de 60 cm e escaladores de elite de 73 cm com diferença significativa entre os três grupos ( $F_{(2,30)} = 13,7; 8$   $p < 0,001$ ). Equiparando os escaladores iniciantes e avançados aos Grupo<sub>INTER</sub> e Grupo<sub>AVAN</sub>, os resultados do presente estudo corroboram os dados de Laffaye *et al.* (2014) uma vez que o alcance máximo do Grupo<sub>INTER</sub> foi de 45 cm e o alcance máximo Grupo<sub>AVAN</sub> foi de 60 cm.

Mesmo sendo de fácil aplicação, aqueles que utilizam a medida do alcance máximo como métrica devem lembrar que diferenças antropométricas e na configuração do CB podem interferir nos resultados. O teste de *Jump and Reach* avalia a altura de alcance, que é principalmente dependente da elevação máxima do centro de massa (CM), mas não exclusivamente, uma vez que outros fatores, como técnica de balanço do braço, amplitude de movimento do ombro e comprimento do pé podem afetar os resultados (Menzel *et al.*, 2010). No caso do CB, o comprimento da envergadura e a amplitude de movimento do ombro são os fatores de confusão, assim como o balanço dos membros inferiores. Como no presente estudo o comprimento da envergadura entre os grupos não apresentou diferença estatisticamente significativa, pode-se considerar que a envergadura teve pouca influência nos resultados do alcance máximo. Isso considerando a análise utilizando valores médios e não o impacto desta variável individualmente.

Os resultados do deslocamento do CM no BoteCAE para o Grupo<sub>INTER</sub> foram de 2,9 cm, enquanto para o Grupo<sub>AVAN</sub> foi de 10,2 cm, representando uma diferença significativa de 7,2 cm entre as médias. Mesmo que as distâncias entre as agarras do CB fossem menores que 15 cm, é provável que o Grupo<sub>AVAN</sub> continuasse a obter um melhor desempenho em comparação ao Grupo<sub>INTER</sub>. Essa relação entre o deslocamento do centro de massa (CM), calculado pelo método do impulso, e o alcance máximo foi utilizada por Fuss *et al.* (2010) para investigar a técnica do bote com apoio dos pés em nove escaladores experientes.

No estudo de Fuss *et al.* (2010), os resultados mostraram que nos botes malsucedidos, a velocidade vertical do CM foi baixa, resultando em um menor deslocamento vertical do CM em comparação às tentativas bem-sucedidas. No presente estudo, os botes foram realizados sem o apoio dos pés, portanto, a maior parte do impulso foi produzida pelos membros superiores. Para o BoteCon, considerando os resultados do alcance máximo e do deslocamento do CM, espera-se que ambos os grupos tenham segurado a agarra superior próximo ao ponto de falha. Para o BoteCAE, o Grupo<sub>AVAN</sub> parece ter realizado a tarefa com certa "folga". Esse é um indício do aproveitamento do potencial elástico associado à realização de exercício envolvendo o CAE (Bosco *et al.*, 1987) embora para a variável Impulso, os resultados da ANOVA tenham demonstrado diferenças significativas apenas para o efeito principal de grupo. Os autores também relataram que a força produzida pelos

pés foi aproximadamente 1,8 vezes maior do que a das mãos. Além disso, o pico de força na agarra mais alta foi cerca de 1,6 vezes o peso corporal.

Sobre a comparação entre o BoteCon e BoteCAE a expectativa era que as variáveis cinéticas, cinemáticas e de desempenho fossem maiores para o BoteCAE como ocorre para os saltos verticais (Bosco; Luhtanen; Komi, 1983). Os principais mecanismos associados com a melhora da produção de força na fase concêntrica com a presença do CAE estão relacionados a acúmulo e utilização da energia elásticas (Nicol *et al.*, 2006) combinados com os reflexos controlados pelo fuso muscular (Gollhofer; Kyrolainen, 1991). Para a maioria das variáveis investigas os resultados do presente estudo não confirmam essa hipótese.

O peso corporal em relação a quantidade de massa muscular (i.e. área de secção transversa fisiológica) presente nos membros superiores poderia impactar negativamente e explicar a ausência de efeito do CAE. Em relação a potenciação dos filamentos contráteis do sarcômero (Leonard; Herzog, 2010) que ocorre na ação excêntrica, essa possível relação desvantajosa entre peso corporal e área de secção transversa fisiologia dos grupos musculares dos membros superiores poderia fazer com que a duração do início da ação concêntrica fosse aumentada. Essa maior duração poderia fazer com que o ATP clivado não esteja mais associado a cabeça da miosina (Cook; McDonagh, 1995) fazendo com que o ciclo de pontes cruzadas volte a ocorrer em velocidade normais. O tempo de transição entre a ação concêntrica e excêntrica também poderia ser aumentado nessa condição de desvantagem. Com o tempo de transição aumentado, a energia elástica armazenada na unidade musculo tendão seria dissipada em forma de calor (Cavagna, 1968) reduzindo os efeitos benéficos do CAE para o BoteCAE. É possível também que a velocidade da ação excêntrica durante o BoteCAE não tenha sido suficiente para estimular os fusos musculares (Gollhofer; Kyrolainen, 1991). Caso isso tenha ocorrido a rigidez dos grupos musculares que estavam sendo alongados não iria aumentar, diminuído a capacidade de armazenamento da energia potencial elástica e conseqüentemente atenuando os efeitos do CAE.

Diferentemente das demais variáveis, o pico de força se comportou com o esperado no que diz respeito aos efeitos potencializadores do CAE. Newton *et al.* (1997) identificaram maiores valores para o pico de força no supino lançado com a presença do CAE comparado ao supino lançado somente com a ação concêntrica.

No estudo de Bosco *et al.* (1981) o pico de força foi comparado entre o salto agachado e salto com contramovimento com valores 66% maiores de força no salto contramovimento em comparação ao agachado. Esse resultado foi interpretado como uma mudança nas condições de pré-alongamento que modificariam a formação das pontes cruzadas, permitindo o armazenamento e utilização de energia elástica (Bosco *et al.*, 1981).

Contudo, o resultado da interação aponta que o Grupo<sub>INTER</sub> aproveitou mais o CAE em comparação ao Grupo<sub>AVAN</sub>. No BoteCon a diferença entre grupos foi de 10% enquanto no BoteCAE a diferença reduziu para 2%. Uma possível explicação para a menor diferença na produção do pico de força no BoteCAE entre os grupos pode estar relacionada com a força relativa. No presente estudo o Grupo<sub>AVAN</sub> apresentou maior força relativa que o Grupo<sub>INTER</sub> ( $p < 0,05$ ). Essa diferença na força relativa indica que o Grupo<sub>INTER</sub> poderia ter maior dificuldade para acelerar sua própria massa corporal proporcionalmente em relação ao Grupo<sub>AVAN</sub> com maior força relativa. Assim, o melhor aproveitamento do CAE pelo Grupo<sub>INTER</sub> pode ter sua origem na “maior intensidade” causada pela relação entre massa corporal e força máxima dinâmica mensurada no teste de 1RM, uma vez que é esperado a presença dos mecanismos do CAE também no Grupo<sub>AVAN</sub>.

As características do treinamento, as vias com alto grau de dificuldade e mesmo os estilos de escalada realizados pelo Grupo<sub>AVAN</sub> podem ajudar a explicar a interação encontrada para o pico de força. As vias realizadas pelos participantes do Grupo<sub>AVAN</sub> podem demandar mais das ações isométricas e concêntricas pois lhes permitiria, por exemplo, permanecer em uma determinada agarra enquanto decidem ou se posicionam para alcançar a próxima agarra. No estilo de escalada *on-sight* o escalador sobe a via pela primeira vez sem informações prévias. Como consequência, o tempo total de escalada foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) comparado ao estilo *red-point* que o escalador repete a mesma via (Limonta *et al.*, 2020). Além disso, o número de movimentos exploratórios (escalador sustenta o corpo com um braço enquanto experimenta a próxima agarra) reduziu significativamente ( $p < 0,05$ ) de 15 para 6 para o estilo *on-sight* e *red-point* respectivamente (Limonta *et al.*, 2020). Mesmo assumindo que os participantes do presente estudo e os escaladores de maneira geral pratiquem mais o estilo *red-*

*point*, ainda sim é esperada a ocorrência de ações concêntrica com mais frequência em vias mais difíceis.

Outro raciocínio que poderia explicar por que o Grupo<sub>INTER</sub> obteve melhor aproveitamento do CAE para o pico de força seria a mudança no padrão de movimento dos membros inferiores. Entretanto as variáveis de controle (ver Figura 34 e 35) mostram que apesar dos grupos apresentarem comportamento diferentes para a ADM e velocidade angular, esse comportamento é mantido entre os BoteCon e BoteCAE dentro dos grupos.

O segundo objetivo do Estudo 1 foi verificar a associação e a concordância do pico de velocidade mensurado pelo método impulso-momento e cinemática. No presente estudo, um marcador refletivo foi posicionado próximo à vértebra L5 para representar o centro de massa, uma vez que a análise cinemática 2D limitaria o uso de modelos antropométricos. O gráfico de dispersão indicou uma associação forte, positiva e significativa (ver Figura 32) entre a pico de velocidade do CM e o pico de velocidade do ponto L5. Embora não se estabeleça uma condição de causa e efeito, observou-se que quando o pico de velocidade medido com base no teorema impulso-momento aumenta, o pico de velocidade mensurado no marcador L5 também aumenta. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indicou uma variância comum entre o pico de velocidade mensurada no marcador L5 e o pico de velocidade calculada com base no teorema impulso-momento de aproximadamente 60%, sugerindo que estas medidas representam fenômenos similares. Além disso, o resultado do gráfico de *Bland-Altman* (ver Figura 33), embora apresente um viés, mostrou que os pontos estão dentro dos limites de concordância e possuem uma dispersão homogênea ao longo da linha que representa a diferença média das médias (Bunce, 2009). Essas características indicam que o erro absoluto (*offset*) entre os métodos pode ser determinado e corrigido (MacDonald *et al.*, 2017).

## 5 CONCLUSÃO - ESTUDO 1

Conclui-se, a partir dos resultados obtidos no Estudo 1, que escaladores avançados apresentam capacidade de gerar maior impulso, pico de potência, pico de velocidade e deslocamento do centro de massa e alcance máximo que escaladores intermediários e que esse comportamento não foi influenciado pelo tipo de ação muscular realizada. É possível também concluir, a partir dos resultados do pico de força, que existem indícios da presença dos mecanismos que atuam no ciclo de alongamento-encurtamento.

Em relação ao segundo objetivo, conclui-se que há uma associação forte e positiva entre o pico de velocidade do centro de massa (CM) e o pico de velocidade do ponto L5, e que a concordância entre as medidas feitas pelo método impulso-momento e pela análise cinemática é aceitável. Esses achados fornecem indícios que a produção do impulso é predominantemente vertical, o que ampara conceitualmente o uso do método do impulso-momento no *campus board* (CB).

## 6 RESULTADOS - ESTUDO 2

### 6.1 Pressupostos estatísticos

Os dados apresentaram distribuição normal e foi realizada a correção de *Greenhouse-Geisser* quando o pressuposto de esfericidade foi violado (Field, 2012). Os pressupostos estatísticos para realizar a ANOVA de medidas repetidas são apresentados no apêndice D.

### 6.2 Confiabilidade das medidas

Os resultados da confiabilidade são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Confiabilidade da medida do pico de potência no BoteCon e BoteCAE.

Variável	CCI	IC95% (L. inf. / L. sup)	Valor de F	p	EPM
<b>Pico de potência (W/kg) BoteCon</b>	0,769	(0,655 / 0,849)	7,6	0,001	1,2
<b>Pico de potência (W/kg) BoteCAE</b>	0,867	(0,781 / 0,920)	15,2	0,001	2,3

Legenda: CCI = coeficiente de correlação intraclasse; IC = intervalo de confiança; L inf = limite inferior; L sup = limite superior; p = probabilidade EPM = erro padrão da medida;  
Fonte: Elaboração própria.

O resultado para confiabilidade no teste de 1RM foi de CCI = 0,977 com intervalo de confiança de 95% de (0,935 / 0,992). O resultado do teste F indica que a hipótese nula pode ser rejeitada ( $F_{(16,14)} = 97,9$ ;  $p > 0,001$ ), o que significa que há evidência de que o valor de CCI pode ser interpretado como de excelente reprodutibilidade. O resultado da confiabilidade absoluta para o teste de 1RM foi EPM = 1,3kg.

### 6.3 Resultados pico de potência

As características dos participantes do Estudo 2 podem ser encontradas na Tabela 11. As variáveis estão descritas como média de desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

Tabela 11: Análise descritiva dos participantes Estudo 2 (N=17).

<b>Variáveis</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>	<b>CV</b>
<b>Idade (anos)</b>	34,9	8,7	24,9
<b>Massa corporal (kg)</b>	70,1	10,7	15,3
<b>Altura (cm)</b>	175,5	5,4	3,1
<b>Envergadura (cm)</b>	180,6	7,6	4,2
<b>Apê index (s/un.)</b>	0,9	0,1	2,5
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,7	3,1	13,4
<b>Grau IRCRA (s/un.)</b>	18,6	2,7	14,6
<b>Tempo de escalada (anos)</b>	10,3	7,5	72,9
<b>Tempo de CB (anos)</b>	3,9	1,0	98,2
<b>Força máxima dinâmica (kg)</b>	26,8	9,2	34,3
<b>Força relativa (s/un.)</b>	0,4	0,2	41,1

Legenda: D.P.= desvio padrão CV = coeficiente de variação; IRCRA = *International Rock Climbing Research Association*; s/un. = sem unidade de medida; IMC = índice de massa corporal; CB = campus board; s/um = sem unidade de medida. Apê index é a razão entre altura e envergadura. Força relativa é a razão entre o teste de 1RM e a massa corporal.

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos valores do teste de 1RM os participantes executaram os exercícios BoteCon e BoteCAE com diferentes resistências externas. Os resultados descritivos referentes à relação entre o valor percentual e o peso correspondente a cada valor percentual estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Análise descritiva da resistência externa (N=17).

<b>Resistência externa (kg)</b>			
<b>1RM (%)</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV</b>
<b>5</b>	1,3	0,5	38,5
<b>10</b>	2,8	0,9	32,1
<b>20</b>	5,5	1,6	29,1
<b>30</b>	8,1	2,4	29,6

Legenda: 1RM (%) = percentual de 1RM; D.P.= desvio padrão 1RM = uma repetição máxima; kg = quilograma; CV = coeficiente de variação  
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados descritivos referentes ao pico de potência para as resistências externas estão apresentados na Tabela 13.

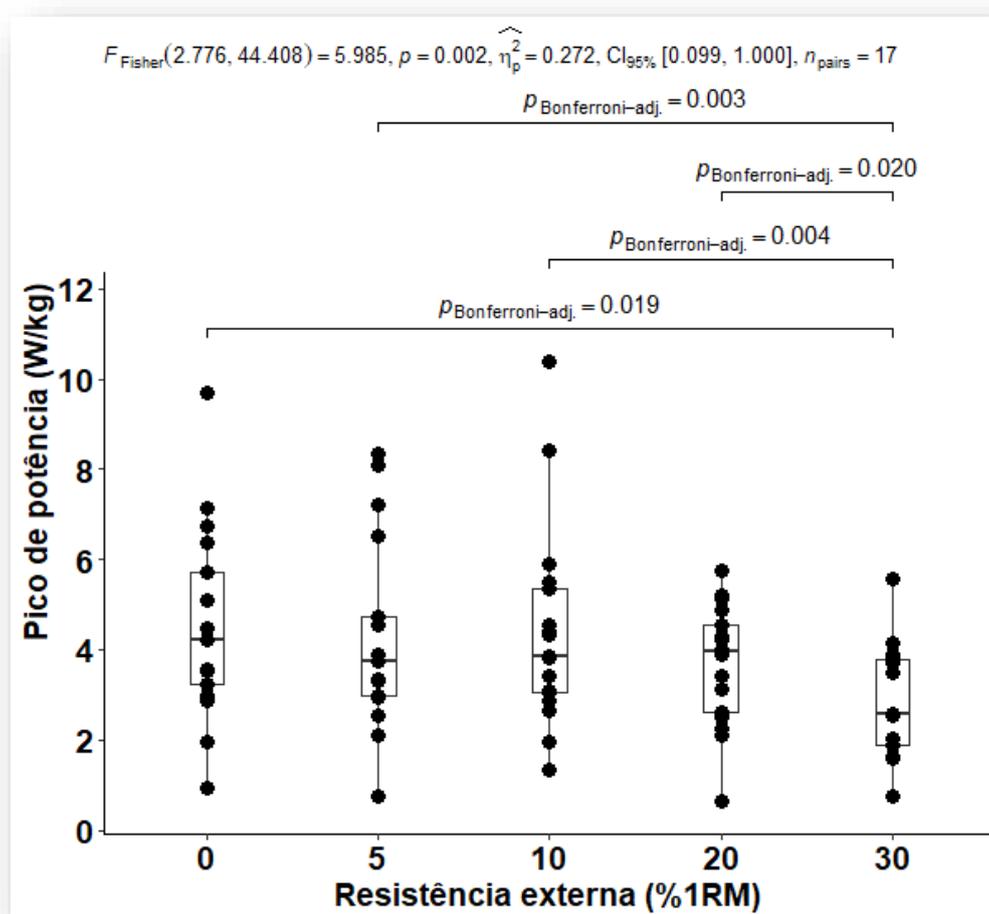
Tabela 13: Análise descritiva do pico de potência no BoteCon e BoteCAE (N=17).

<b>Pico de potência (W/kg)</b>						
<b>1RM</b>	<b>BoteCon</b>			<b>BoteCAE</b>		
	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV</b>
<b>0</b>	4,5	2,1	46,7	8,6	3,8	44,2
<b>5</b>	4,3	2,1	48,8	7,6	2,8	36,8
<b>10</b>	4,4	2,3	52,3	6,5	2,2	33,8
<b>20</b>	3,7	1,3	35,1	6,2	3,0	48,4
<b>30</b>	2,8	1,2	42,9	4,2	1,2	28,6

Legenda: 1RM(%) = percentual de 1RM D.P.= desvio padrão 1RM = uma repetição máxima; kg = quilograma CV = coeficiente de variação.  
Fonte: Elaboração própria.

No BoteCon a ANOVA medidas repetidas mostrou diferença nos valores do pico de potência entre as resistências externas ( $F_{(2,44)} = 5,985$ ;  $p = 0,002$ ;  $\eta_p^2 = 0,272$ ) com tamanho de efeito grande. Na comparação entre pares foi identificado que a média pico da potência para 30%1RM ( $2,8 \pm 1,2$  W/kg) foi significativamente menor que 20% ( $3,7 \pm 1,3$  W/kg;  $p = 0,02$ ;  $d = 0,719$ ), 10% ( $4,4 \pm 2,3$  W/kg;  $p = 0,004$ ;  $d = 0,872$ ), 5% ( $4,3 \pm 2,1$  W/kg;  $p = 0,003$ ;  $d = 0,877$ ) e 0% ( $4,5 \pm 2,1$  W/kg;  $p = 0,019$ ;  $d = 0,993$ ). Não foram identificadas diferenças significativas entre as outras resistências externas (ver Figura 36).

Figura 36: Comparação das médias do pico de potência entre resistências externas no BoteCon.

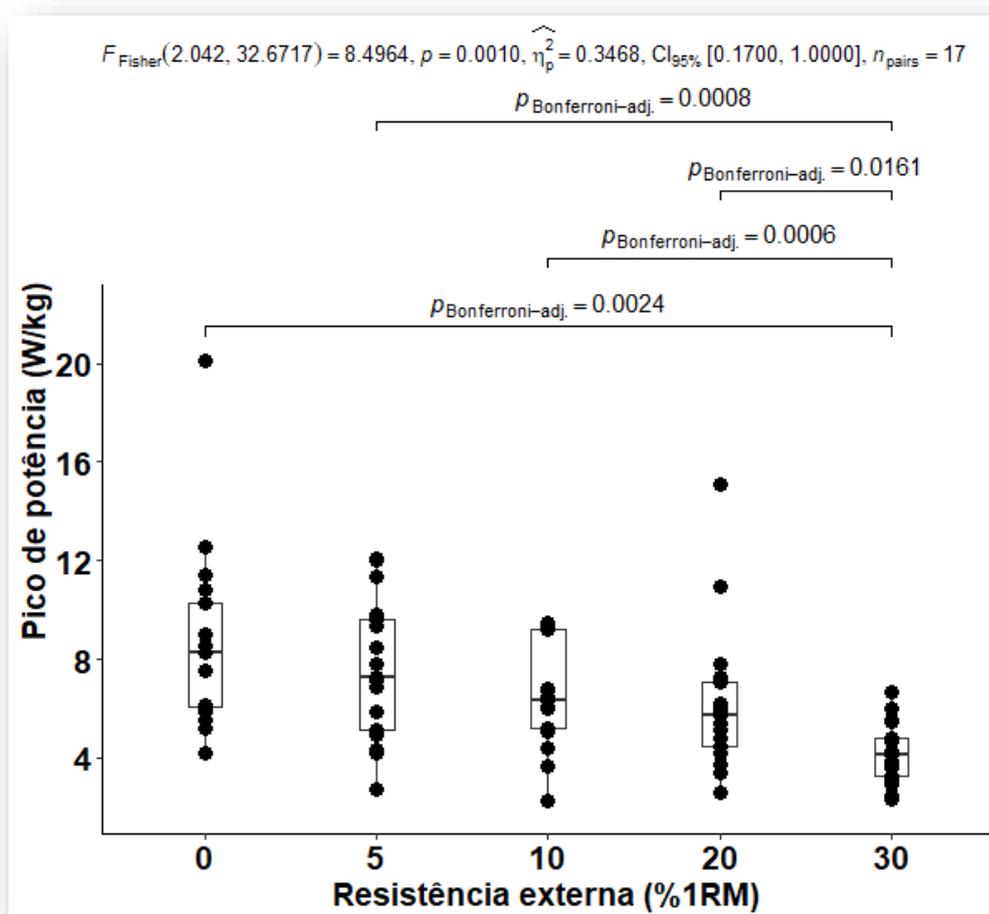


Legenda: %1RM = percentual de 1 repetição máxima. A legenda na parte superior do gráfico é respectivamente da esquerda para direita: graus de liberdade; valor do teste F; valores de probabilidade; tamanho de efeito  $\eta$  parcial ao quadrado, intervalo de confiança de 95% o tamanho da amostra.

Fonte: Elaboração própria.

No BoteCAE, a ANOVA de medidas repetidas mostrou diferença significativa para o pico de potência entre as resistências externas ( $F_{(2,32)} = 8,496$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,347$ ), com tamanho de efeito grande. Na comparação par a par, entre as resistências externas foi identificado que a média pico da potência para 30%1RM ( $4,2 \pm 1,2$  W/kg) foi significativamente menor que 20% ( $6,2 \pm 3,0$  W/kg;  $p = 0,0161$ ;  $d = 0,875$ ), 10% ( $6,5 \pm 2,2$  W/kg;  $p = 0,0006$ ;  $d = 1,297$ ), 5% ( $7,6 \pm 2,8$  W/kg;  $p = 0,0008$ ;  $d = 1,578$ ) e 0% ( $8,6 \pm 3,8$  W/kg;  $p = 0,0024$ ;  $d = 1,561$ ). Não foram identificadas diferenças significativas entre as outras resistências externas (ver Figura 37).

Figura 37: Comparação das médias do pico de potência entre resistências externas no BoteCAE.



Legenda: %1RM = percentual de 1 repetição máxima. A legenda na parte superior do gráfico é respectivamente da esquerda para direita: graus de liberdade; valor do teste F; valores de probabilidade; tamanho de efeito eta parcial ao quadrado, intervalo de confiança de 95% o tamanho da amostra.

Fonte: Elaboração própria.

## 7 DISCUSSÃO - ESTUDO 2

O Estudo 2 teve como objetivo comparar o impacto de diferentes resistências externas (0%, 5%, 10%, 20% e 30% de 1RM) no pico de potência de escaladores avançados que realizaram os exercícios BoteCon e BoteCAE no CB. Independentemente do exercício analisado, os resultados confirmam parcialmente a hipótese do estudo. Embora a média do pico de potência para resistência externa de 0%1RM (massa corporal) tenha sido em termos absolutos maior, os resultados da análise de variância de medidas repetidas identificaram diferenças significativas somente em relação a resistência externa de 30% de 1RM. Para as resistências externas de 5%, 10% e 20% de 1RM também foram encontradas diferenças significativas em relação 30% de 1RM. Entretanto, nenhuma outra comparação par a par foi significativa. Considerando a média do pico de potência, utilizar resistências de até 20% do 1RM pode provocar uma demanda similar na produção de potência durante ambos os exercícios. Com isso, espera-se que estes percentuais de resistência externa provoquem adaptações similares no sistema neuromuscular de indivíduos expostos a essa configuração da carga de treinamento (Cormie *et al.*, 2011b).

Possíveis diferenças interindividuais como o histórico de treinamento (Samozino *et al.*, 2012) e a composição do tipo de unidades motoras em um determinado grupo muscular (Häkkinen *et al.*, 1985) podem afetar a resistência externa ótima que irá produzir o maior pico de potência. Por exemplo, no BoteCon o participante n° 17 produziu com 10% de 1RM o maior pico de potência 4,3 W/kg. Já o participante n° 7 produziu o maior pico de potência 5,6 W/kg com sua própria massa corporal. O mesmo ocorreu no BoteCAE, onde o participante n° 12 produziu com 5% de 1RM o maior pico de potência 12,0 W/kg e o participante n° 4 produziu o maior pico de potência 9,6 W/kg com sua própria massa corporal. Embora fora do escopo do presente estudo, o perfil individual de força-velocidade-potência pode ajudar a compreender melhor as relações entre as propriedades mecânicas do sistema neuromuscular especialmente para otimizar o desempenho esportivo e o treinamento (Samozino *et al.*, 2012).

Novamente considerando os resultados médios obtidos no presente estudo, outra perspectiva aplicável ao treinamento diz respeito à resistência de 30%

de 1RM. Essa informação fornece evidências que 30% de 1RM pode ser utilizado quando a intenção do treinador é gerar adaptações como aumento do número unidades motoras recrutadas provocadas por resistências externas elevadas (Stone *et al.*, 2003). Uma possível explicação é que maiores valores de pico de força são esperados para esse percentual de RM pois, lembrando da relação inversa entre força e velocidade, a redução da produção de potência implicaria necessariamente em uma menor velocidade do CM em consequência da elevação da resistência externa a ser movida (Haff; Nimphius, 2012).

Ao considerar o aspecto teórico da relação força-velocidade-potência do modelo de Hill (1938) as alterações do comportamento da curva força-velocidade esperadas ao se realizar treinamentos utilizando o bote no CB e uma resistência de 30% de 1RM poderiam conduzir para uma mudança da curva para a direita (ver Figura 5A). No lado oposto desse *continuum*, treinar com pouca resistência externa e altas velocidades poderia provocar mudança no eixo da velocidade (Haff; Nimphius, 2012). Considerando a tendência de aumento da média do pico de potência com redução do lastro é razoável esperar que valores de resistência externa menores que o próprio peso corporal poderia provocar maiores valores de potência. Caso a redução de peso provocasse redução no pico de potência, treinar o CB com o peso corporal seria a prescrição ótima, enquanto resistência a ser vencida, para se utilizar a estratégia de treinamento no pico de potência (Cormie *et al.*, 2008) e, com isso, provocar hipoteticamente uma alteração na região a curva de força-velocidade central (ver Figura 5D).

Levernier *et al.* (2020) estudaram a relação força-velocidade-potência em escaladores de elite de diferentes modalidades. O exercício foi a flexão na barra fixa com lastros determinados por diferentes percentuais da massa corporal. Os autores realizaram uma regressão linear (método dos mínimos quadrados) entre o peso e o pico de velocidade para estimar os valores hipotéticos de força máxima e velocidade máxima. O valor predito para o maior pico de potência foi similar ao resultado do pico de potência mensurado no teste sem resistência externa adicional (Levernier *et al.*, 2020), corroborando os resultados do presente estudo, em que o maior pico de potência foi produzido com valores próximos a própria massa corporal. Outra tarefa motora que apresenta comportamento similar, ou seja, em que o peso corporal gera os maiores picos de potência é o salto vertical (Cormie *et al.*, 2008). Em indivíduos não treinados, os autores demonstraram que a produção de potência durante o salto

agachado sem carga (0 kg), foi significativamente maior comparado ao salto com 20 kg, 40 kg, 60 kg e 80 kg (Cormie *et al.*, 2008). Considerando que os participantes do presente estudo eram avançados, a média do pico de potência no BoteCon foi aproximadamente 50% menor que o reportado por Levernier *et al.* (2020) em escaladores de elite  $8,2 \pm 1,0$  W/kg. Já para o BoteCAE, essa diferença da média do pico de potência entre os estudos reduz para menos de 5%, mostrando como a tarefa motora influencia na produção de potência.

Para investigar a influência do CAE na produção de potência dos membros superiores, Newton *et al.* (1997), realizaram dois tipos de exercícios, o supino lançado concêntrico e o supino lançado com o CAE. Os autores afirmaram que o pico de potência foi maior para o exercício de supino lançado (CAE) em comparação ao supino lançado concêntrico para todas as resistências externas (Newton *et al.*, 1997). Embora não tenha sido objetivo do estudo 2 comparar a produção de potência entre o Bote CAE e BoteCon, os resultados de Newton *et al.* (1997) vão na mesma direção do presente estudo pois, o pico de potência no BoteCAE foi mais elevado que no BoteCon, em termos absolutos, para todas as resistências externas (ver Tabela 13). Newton *et al.* (1997) chamam atenção para o fato de que, apesar dos maiores valores de potência terem sido encontrados para o supino lançado, o CAE não melhorou o desempenho em termos do pico velocidade ou altura máxima dos lançamentos. A justificativa foi que a utilização da energia elástica armazenada com aumento da ativação muscular do agonista devido ao reflexo miotático (Komi, 2000) contribuíram principalmente para melhorar a porção inicial da fase concêntrica, mas esses efeitos foram reduzidos à medida que o movimento avançava para a sua fase final (Newton *et al.*, 1997). É plausível que o mesmo ocorra no BoteCAE, uma vez que, o percurso e a duração da fase concêntrica podem ser considerados longos.

Outro resultado reportado por Newton *et al.* (1997) foi que, independentemente do exercício (concêntrico ou CAE), os maiores picos de potência foram produzidos entre 30%  $563 \pm 104$  W e 45%  $560 \pm 86$  W de 1RM. Esses resultados estão de acordo com outros estudos que avaliaram o supino (não lançado) e produziram os maiores picos de potência com a 30-45% de 1RM (Baker *et al.*, 2001; Boffey *et al.*, 2019). O teste de 1 RM no supino foi de  $104 \pm 6$  kg, portando 30% e 45% seriam o equivalente a 31 kg e 46 kg respectivamente e como

a média da massa corporal dos participantes era de 83,7 kg a força relativa foi de 1,2 (Newton *et al.*, 1997).

Algumas diferenças devem ser destacadas ao comparar esses resultados com os obtidos no presente estudo. A principal diferença é que, no BoteCon e BoteCAE, a própria massa corporal deveria ser movida, portanto a força relativa dos participantes foi de 0,4 e a resistência externa para 30% de 1RM seria de aproximadamente 78 kg (massa corporal 70,1 kg + lastro 8,1 kg). Mesmo que os participantes do presente estudo fossem os mesmos do estudo de Newton *et al.* (1997) o impacto da resistência externa em termos absolutos, para uma mesma quantidade de massa magra nos membros superiores, seria considerável. Uma estratégia empregada nos escaladores de elite é justamente reduzir a massa corporal buscando manter a quantidade de massa magra nos membros superiores (Ginszt *et al.*, 2023).

Os métodos para calcular a potência *in vivo* e para tarefas multiarticulares também devem ser levados em consideração na interpretação dos resultados encontrados no Estudo 2. O nível de confiabilidade classificado com alto para os dois exercícios, *i.e.* CCI = 0,769 para o BoteCon e CCI = 0,867 para o BoteCAE. Esses são resultados semelhantes àqueles do estudo de Hori *et al.* (2007) que comparou quatro métodos para calcular o pico de potência no levantamento de peso. Os autores concluíram que os diferentes métodos podem ser utilizados, embora os valores absolutos do pico de potência possam ser diferentes. Portanto, não devem ser interpretados da mesma maneira em estudos com diferentes metodologias (Hori *et al.*, 2007). O método empregado no presente estudo foi equivalente ao método 2 no estudo de Hori *et al.* (2007) que envolveu a medição das variáveis baseada apenas na força de reação e no teorema impulso-momento, o que se mostrou a mais confiável (Hori *et al.*, 2007).

Um segundo aspecto metodológico discutido quando diferentes resistências externas são utilizadas para detectar o maior pico de potência é justamente os critérios para estabelecer esse parâmetro de comparação. No presente estudo foi utilizado o valor percentual de 1RM enquanto outros estudos recorreram o uso da massa corporal com referência. Os valores médios de peso para o 5% 10% 20 e 30% foram respectivamente 1,3 kg; 2,8 kg; 5,5 kg e 8,1 kg. Esses pesos representariam em termos percentuais da média da massa dos 17 participantes respectivamente 2%; 4%; 8% e 11%. Essa pode ser uma explicação

para a ANOVA de medidas repetidas não tenha identificado diferença no pico de potência entre as condições intermediárias, como discutido anteriormente. Em valores absoluto, a tendência é de aumento no pico de potência com a redução da resistência externa. Esse comportamento sugere que resistências externas menores que o peso corporal podem produzir pico de potência mais elevados.

## **8 CONCLUSÃO ESTUDO – 2**

A conclusão do presente estudo é que o pico de potência foi estatisticamente menor nas condições de resistências externas de 0%, 5%, 10% e 20% de 1RM em comparação com a condição de 30% de 1RM, tanto no exercício BoteCon quanto no BoteCAE.

## **9 LIMITAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Algumas limitações metodológicas devem ser consideradas para a que as interpretações dos resultados discutidos no Estudo 1 e Estudo 2 não extrapolem o referencial teórico e as condições experimentais inerentes aos instrumentos e procedimentos empregados.

A primeira limitação tem relação com o tamanho e tipo da agarra utilizada no CB. Para o mesmo tipo de agarra reduzir o tamanho da superfície de contato com os dedos (i.e. diminuir a profundidade) acarretará uma redução da capacidade do participante em exercer força. O pico de força vertical produzindo em ações isométricas máximas dos flexores dos dedos diferiu significativamente entre as agarras de 10 mm e 20 mm, variando de 350,8 N a 575,7 N respectivamente (Amca *et al.*, 2012). Em tarefas que envolvem ações dinâmicas como a flexão no *finger board* o número de repetições reduziu significativamente de 18 para 6 para agarras com profundidade de 22 mm para 11mm respectivamente (Vigouroux *et al.*, 2018). Espera-se, portanto, que a profundidade da agarra utilizada no presente estudo não tenha restringido a capacidade do sistema neuromuscular em gerar impulso, tão pouco o alcance máximo. Em relação ao tipo de agarra é provável que realizar o BoteCon e o BoteCAE no CB com agarras do tipo pinça ou abaulado alterem os resultados.

Outra limitação está relacionada a distância de 15 cm entre as agarras de chegada do CB, principalmente para a variável alcance máximo. Nesse cenário ocorre uma redução na precisão da medida da seguinte maneira: Um participante que tocou a agarra 4 (alcance máximo = 60 cm) mas não foi capaz de se segurar teve com resultado a agarra 3 (alcance máximo = 45 cm). Um segundo participante alcançou a agarra 3 (alcance máximo = 45 cm). Assim o resultado dos dois participantes foi o mesmo, entretanto, se existisse uma agarra intermediária o primeiro participante poderia obter um melhor resultado para o alcance máximo em comparação ao segundo participante. Uma opção seria utilizar uma placa sem agarras e registrar o ponto mais alto que os dedos à tocassem como proposto por Draper *et al.* (2011) e Laffaye *et al.* (2014). Nesse caso aumenta-se a precisão da medida, mas perde-se em aplicabilidade uma vez que o objetivo do escalador é segurar e “dominar” a agarra mais alta. Além disso, é de se esperar que o padrão de movimento seja alterado pois todas as tentativas levariam a quedas nos colchoes de proteção. Algumas soluções na instrumentalização do CB poderiam ser implementadas como reduzir a distância entre as agarras. Entretanto, isso acarretaria um efeito de “gaveta” e dificultando a tarefa. Outra possibilidade seria ajustar verticalmente a agarra de chegada o que reduziria a interferência na precisão da medida do alcance máximo sem alterar a dificuldade da tarefa.

Partindo para as limitações específicas do Estudo 1 seria interessante testar mais grupos de participantes como: não escaladores, escaladores de elite e escaladoras. Outra abordagem que poderia gerar mais informações seria dividir os grupos levando em consideração a modalidade da escalada que o participante mais pratica. Isso porque, considerando as diferentes demandas motoras e energéticas entre as modalidades (i.e. *boulder* e via) e o princípio da especificidade é de se esperar resultados distintos.

Em relação ao Estudo 2, cabe destacar que o teste de 1RM foi realizado somente para a ação concêntrica. Dessa maneira, o valor do percentual de 1RM utilizado para determinar as resistências externas foram os mesmos para o BoteCon e BoteCAE. Essa condição pode não representar em termos relativos a mesma intensidade para as duas tarefas, já que o efeito do CAE poderia influenciar no resultado de 1RM. Ainda em relação as resistências externas, utilizar um lastro que permita fazer ajuste no peso de 250 gramas minimizariam a ocorrência de uma outra limitação. Como pode ser observado na Tabela 12 o desvio padrão aumenta a

média que os valores de %1RM sobe. Isso significa que para 5% de 1RM não foi possível ajustar a carga individualmente pois o menor peso possível foi de 1kg. Isso fez com que diversos participantes com diferentes valores de 1RM utilizassem a mesma resistência externa.

Considerando as limitações apresentadas e os resultados do Estudo 1 e Estudo 2 a utilização do CB instrumentalizado como uma ferramenta diagnóstica para estudar a capacidade motora força e a produção de potência muscular dos membros superiores em escaladores esportivos é viável metodologicamente e atende ao modelo teórico utilizado para se investigar as adaptações ao treinamento de força-velocidade-potência. Além disso, os diferentes tipos de ações musculares podem ser utilizados para se investigar os mecanismos responsáveis pela maior produção de força e potência muscular no ciclo de alongamento-encurtamento no CB.

Ambos os estudos possuem aplicações práticas que podem auxiliar no treinamento de escaladores no CB. No Estudo 1, treinadores passam a ter a sua disposição parâmetros quantitativos para avaliar seus atletas. Por exemplo, um atleta classificado como intermediário, mas que tenha um alcance máximo de 60 cm indicaria que a parte técnica e/ou mental são os elementos que limitam seu desempenho. Pensando no controle de fadiga durante um período pré-competitivo, um escalador avançado que esteja realizando o BoteCon e BoteCAE abaixo da média para as variáveis mensuradas no CB está sujeito a um risco maior de não atingir seu desempenho máximo durante a competição devido ao déficit em sua força rápida. Para o Estudo 2, os treinadores utilizarem resistências externas maiores que 30% de 1RM em para escaladores avançados produziram adaptações relacionadas ao componente força máxima.

Os resultados obtidos nos dois estudos contribuem para uma compreensão mais aprofundada das capacidades físicas e do desempenho de escaladores intermediários e avançados no contexto do BoteCon e BoteCAE no CB. Os achados destes estudos oferecem *insights* para atletas, treinadores e pesquisadores interessados na melhoria do desempenho de escaladores esportivos. Ressalta-se a necessidade do treinamento individualizado, considerando o nível de habilidade e a seleção de resistências externas apropriadas para otimizar o desempenho no CB. Além disso, a validade do método do impulso-momento como ferramenta de avaliação da capacidade motora força muscular no CB pode ser

aplicada com confiança. Essa linha de pesquisa ainda pode se beneficiar de estudos adicionais para aprofundar a compreensão das complexidades da escalada esportiva.

## REFERÊNCIAS

ABREU, E.; ARAUJO, S.; CHAGAS, M.; ANDRADE, A.; CANÇADO, G.; MENZEL H.J. Test-retest reliability of kinetic variables measured on campus board in sport climbers. **Sports Biomechanics**, v. 3141, p.1–14, 2018.

AMCA, A. M.; VIGOUROUX, L.; ARITAN, S.; BERTON, E. Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. **Journal of Sports Sciences**, v.30, n. 7. p. 669–677, 2012.

BALAGHI, A. S.; A. BAHARI, M. Inventing the hand grip strength tester for climbing and determining correlation coefficient with men sport climbers' ability. **European Journal of Experimental Biology**, 4(2), 333–336, 2014.

BAKER, D.; NANCE, S.; MOORE, M. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 15, n. 1, p. 20–24, 2001.

BERNARDINA, G.R.D *et al.* Moving system with action sport cameras: 3D kinematics of the walking and running in a large volume. **PloS one**, v. 14, n. 11, p 1-13, 2019.

BERTUZZI, R. C. M. *et al.* Energy system contributions in indoor rock climbing. **European Journal of Applied Physiology**, v. 101, n. 3, p. 293–300, 2007.

BLAND, J.M.; ALTMAN, DG. Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement. **Lancet**, v. 327, n. 1, p. 307–310, 1986.

BOFFEY, D. *et al.* Effects of load on peak power output fatigue during the bench throw. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 2, p. 355–359, 2019.

BOSCO, C.; LUHTANEN, P.; KOMI, P. V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 50, n. 2, p. 273–282, 1983.

BOSCO, C. *et al.* The effect of pre-stretch on mechanical efficiency of human skeletal muscle. **Acta Physiologic Scandinavica**, v. 131, n. 3, p. 323–329, 1987.

BOTTINELLI, R. *et al.* Specific contributions of various muscle fiber types to human muscle performance: an in vitro study. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 9, n. 2, p. 87–95, 1999.

BUNCE, C. Correlation, Agreement, and Bland-Altman Analysis: Statistical Analysis of Method Comparison Studies. **American Journal of Ophthalmology**, v. 148, n. 1, p. 4–6, 2009.

CAVAGNA, G. A.; DUSMAN, B.; MAGARIA, R. Positive work done by a previously stretched muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 24, n. 1, p. 21–32, 1968.

CHA, K. *et al.* Analysis of climbing postures and movements in sport climbing for realistic 3D climbing animations. **Procedia Engineering**, v. 112, n 1, p. 52–57, 2015.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2. ed. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1988.

CORMIE, P.; MCBRIDE, J. M.; MCCAULLEY, G. O. Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. **Journal of Applied Biomechanics**, v.23, n.2, p.103–118, 2007.

CORMIE, P.; MCBRIDE, J. M.; MCCAULLEY, G. O. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 24, n. 2, p. 112–120, 2008.

CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Developing maximal neuromuscular power: part1 biological basis of maximal power production. **Sports Medicine**, v. 41, n. 1, p. 17–38, 2011a.

CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. **Sports Medicine**, v. 41, n. 2, p. 125–146, 2011b.

COOK, C. S.; MCDONAGH, M. J. N. Force Responses to controlled stretches of muscle-tendon complex. **Experimental Physiology**, v. 80, n. 1, p. 477–490, 1995.

CRONIN, J; SLEIVERT, G. Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. **Sports Medicine**, v. 35, n. 3, p. 213–34, 2005.

DRAPER, N. *et al.* Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: international rock-climbing research association position statement. **Sports Technology**, v. 8, n. 3, p. 88–94, 2016.

DRAPER, N. *et al.* Sport specific power assessment for rock climbing. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 51, n. 3, p. 417–425, 2011.

DUGAN, E. L.; DOYLE, T. L.; HUMPHRIES, B.; HASSON, C. J.; NEWTON, R. U. Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n. 3, p. 668–674. 2004.

FIELD, Andy; MILES, Jeremy; FIELD, Zoë. **Discovering statistics using R**. London: Sage, 2012.

FUSS, F. K.; NIEGL, G. Instrumented climbing holds and performance analysis in sport climbing. **Sports Technology**, v. 1, n. 6, p. 301–313, 2009.

FUSS, F. K.; NIEGL, G. Biomechanics of the two-handed dyno technique for sport climbing. **Sports Engineering**, v. 13, n. 1, p. 19–30, 2010.

GARCÍA-RAMOS, A.; JARIC, S.; PADIAL, P.; FERICHE, B. Force-velocity relationship of upper body muscles: Traditional versus ballistic bench press. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 32, n. 2, p. 178–185, 2016.

GINSZT, Michał *et al.* Body Composition, Anthropometric Parameters, and Strength-Endurance Characteristics of Sport Climbers: A Systematic Review. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 37, n. 6, p. 1339-1348, 2023.

GOLLHOFER, A.; KYROLAINEN, H. Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. **International Journal of Sports Medicine**, v. 12, n. 1, p. 34–40, 1991.

GRGIC, J. *et al.* Test–retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. **Sports medicine-open**, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2020.

HAFF, G. G.; NIMPHIUS, S. Training principles for power. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 6, p. 2–12, 2012.

HÄKKINEN, K.; KOMI, P. V.; ALEN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force and relaxation time, electromyographic and muscle fiber characteristics of leg extensor muscles. **Acta Physiologic Scandinavica**, v. 125, n. 4, p. 587–600, 1985.

HARMAN, E. A.; ROSENSTEIN, M. T.; FRYKMAN, P. N.; ROSENSTEIN, R. M.; KRAEMER, W. J. Estimation of human power output from vertical jump. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 5, p. 116–120, 1991.

HATZE, H. Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 14, n. 2, p. 127–140, 1998.

HILL, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 126, n. 843, p. 136–195, 1938.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports medicine**, v. 30, n. 1, p. 1–15, 2000.

HORI, N. *et al.* Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, 2007.

HUXLEY, A. F.; SIMMONS, R. M. Proposed mechanism of force generation in striated muscle. **Nature**, v. 233, n. 5321, p. 533–538, 1971.

KANEKO, M. *et al.* Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. **Scandinavian Journal of Sports Sciences**, v. 5, n. 2, p. 50–55, 1983.

KIBELE, A. Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a methodological study. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 14, n. 1, p. 105–117, 1998.

KIRBY, T. J.; ERICKSON, T.; MCBRIDE, J. M. Model for progression of strength, power, and speed training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 5, p. 86–90, 2010.

KNUDSON, D. V. Correcting the use of the term “power” in the strength and conditioning literature. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 6, p. 1902–1908, 2009.

KOMI, P. V. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics**, v. 33, n. 10, p. 1197–1206, 2000.

KOO, T. K.; LI, Mae Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 15, n. 2, 2016.

LACERDA, L. T. *et al.* Variations in repetition duration and repetition numbers influence muscular activation and blood lactate response in protocols equalized by time under tension. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 30, n. 1, p. 251-258, 2016.

LAFFAYE, G. *et al.* Upper-limb power test in rock-climbing. **International Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 8, p. 670–675, 2014.

LAFFAYE, G.; LEVERNIER, G.; COLLIN, J. M. Determinant factors in climbing ability: Influence of strength, anthropometry, and neuromuscular fatigue. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 26, n. 10, p. 1151–1159, 2016.

LANGER, K.; SIMON, C.; WIEMEYER, Josef. Physical performance testing in climbing—A systematic review. **Frontiers in Sports and Active Living**, v. 5, p. 1130812, 2023.

LEONARD, T. R.; HERZOG, W. Regulation of muscle force in the absence of actin-myosin-based cross-bridge interaction. **American Journal of Physiology**, v. 299, n. 1, p. 14–20, 2010.

LEVERNIER, G.; SAMOZINO, P.; LAFFAYE, G. Force–velocity–power profile in high-elite boulder, lead, and speed climber competitors. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 15, n. 7, p. 1012–1018, 2020.

LIMONTA, E. *et al.* On-Sight and Red-Point Climbing: Changes in Performance and Route-Finding Ability in Male Advanced Climbers. **Frontiers in Psychology**, v. 11, p. 911, 2020.

LINTHORNE, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. **American Journal of Physiology**, v. 69, n. 11, p. 1198–1204, 2001.

LOMBARDI, V.; PIAZZESI, G. The contractile response during steady lengthening of stimulated frog muscle fibers. **Journal of Physiology**, v. 431, n. 1, p. 141–171, 1990.

LOPES A. L., CANÇADO G.H.C.P, ANDRADE A. G. P, CHAGAS M. H., ABREU E. A. C. **Correlação entre o teste de 1RM realizado no pulley, na barra fixa e no Campus Board**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, XX, 2023, (Baurú): Brazilian Journal of Motor Behavior, Abril de 2023. Vol. 17 p 67.

LUTTER, C. *et al.* Sport climbing: Medical considerations for this new olympic discipline. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 1, p. 2–3, 2017.

MACDONALD, K. *et al.* Validation of an inertial measurement unit for the measurement of jump count and height. **Physical Therapy in Sport**, v. 25, p. 15–19, 2017.

MENZEL, H.J. *et al.* Usefulness of the jump-and-reach test in assessment of vertical jump performance. **Perceptual and motor skills**, v. 110, n. 1, p. 150–8, 2010.

MERMIER, C. M. *et al.* Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 5, p. 359–365, 2000.

MICHAILOV, M. L. *et al.* Physiological responses during two climbing tests with different hold types. **International Journal of Sports Science and Coaching**, v. 12, n. 2, p. 276–283, 2017.

NICOL, C.; AVELA, J.; KOMI, P. V. The stretch-shortening cycle: A model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. **Sports Medicine**, v. 36, n. 11, p. 977–999, 2006.

NEWTON, R. U. *et al.* Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 4, p. 333–342, 1997.

PHILIPPE, M. *et al.* The effects of 8 weeks of two different training methods on on-sight lead climbing performance. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 59, n. 4, p. 561–568, 2018.

PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. **Foundations of clinical research: applications to practice**. 3rd. ed. Boston: Prentice Hall, 2009.

RAZALI, N. M. *et al.* Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. **Journal of statistical modeling and analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

SAMOZINO, P., E., PRAMPERO, P. E., BELLI, A., & MORIN, J. B. Optimal force-velocity profile in ballistic movements-Altius: Citius or Fortius? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 2, p. 313–322, 2012.

SAS-NOWOSIELSKI, KRZYSZTOF J. Comparison of power, force, velocity and one repetition maximum of pull-ups performed by climbers on portable holds and a fingerboard. **Trends in Sport Sciences**, v. 29, n. 1, 2022.

SAUL, D. *et al.* Determinants for success in climbing: A systematic review. **Journal of Exercise Science and Fitness**, v. 17, n. 3, p. 91–100, 2019.

SCHMIDTBLEICHER, D.; HARALAMBIE, G. Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 46, n. 3, p. 221–228, 1981.

SCHWEIZER, A.; FURRER, M. Correlation of forearm strength and sport climbing performance. **Isokinetics and Exercise Science**, v. 15, n. 3, p. 211–216, 2007.

SHROUT, P. E.; FLEISS, J. L. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. **Psychological Bulletin**, v. 86, n. 2, p. 420, 1979.

STONE, M. H. *et al.* Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 140–147, 2003.

SUGI, H.; TSUCHIYA, T. Enhancement of mechanical performance in frog muscle fibres after quick increases in load. **Journal of Physiology**, v. 319, n. 1, p. 239–252, 1981.

VALENZUELA, P. L.; DE LA VILLA, P.; FERRAGUT, C. Effect of two types of active recovery on fatigue and climbing performance. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 14, n. 4, p. 769–775, 2015.

VERKHOSHANSKY, Y. V.; LAZAREV, V. V. Principles of planning speed and strength/speed endurance training in sports. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.11, n. 2, p. 58–61, 1989.

VIGOUROUX, L.; FERRY, M.; COLLOUD, F.; PACLET, F.; CAHOUE, V.; QUAINÉ, F. Is the principle of minimization of secondary moments validated during various fingertip force production conditions? **Human Movement Science**, v.27, n. 3 p. 396–407, 2008.

VIGOUROUX, Laurent *et al.* Performing pull-ups with small climbing holds influences grip and biomechanical arm action. **Journal of sports sciences**, v. 37, n. 8, p. 886–894, 2019.

WATTS, P. B. Anthropometry of young competitive sport rock climbers. **British Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 5, p. 420–424, 2004.

WEIR, J. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 231–240, 2005.

WILSON, G. J.; NEWTON, R. U.; MURPHY, A. J.; HUMPHRIES, B. J. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 25, n. 11, p. 1279–1286, 1993.

WINTER, E. M. *et al.* Misuse of “power” and other mechanical terms in sport and exercise science research. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 1, p. 292–300, 2015.

ZIMMERMAN, D. W. A note on preliminary tests of equality of variances. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 57, n. 1, 2004.

## APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Convidamos você a participar do projeto de pesquisa intitulado “Comparação das curvas força–tempo, aceleração–tempo, velocidade–tempo e deslocamento–tempo e determinação do pico de potência individual durante a execução do bote concêntrico e bote ciclo de alongamento–encurtamento em escaladores esportivos”.

O objetivo do presente estudo é comparar escaladores de diferentes níveis de rendimento em relação a força e potência muscular dos membros superiores em dois exercícios com ação concêntrica e ciclo de alongamento–encurtamento no *Campus Board*. O *Campus Board* é um equipamento desenvolvido em madeira e resina, onde o escalador fica suspenso pelos membros superiores e sem ajuda dos membros inferiores, lança as duas mãos simultaneamente em direção a um ponto de apoio “agarra” superior, deslocando seu corpo verticalmente, como em um salto vertical.

A metodologia da pesquisa será realizada em dois dias de coleta com intervalo mínimo de 48 horas entre elas. Serão dois testes realizados (BoteCon e BoteCAE) no equipamento *Campus Board*. Em cada teste serão realizadas cinco tentativas com intervalos de um (1) minuto entre tentativas e dez (10) minutos entre os testes. O teste será precedido de uma atividade preparatória padronizada (aquecimento) de 15 minutos.

Será garantido o anonimato quanto à sua participação e os dados obtidos serão armazenados e utilizados exclusivamente para fins de pesquisa pelo Laboratório de Biomecânica e poderão ser usados em projetos de pesquisa futuros. Você pode recusar a participar desse estudo ou pode abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar se justificar e sem qualquer constrangimento. O COEP só deve ser procurado em caso de dúvidas envolvendo os aspectos éticos da pesquisa. Não está prevista qualquer forma de remuneração e todas as despesas relacionadas com o estudo são de responsabilidade do pesquisador – UFMG.

A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde e serão adotados todos os procedimentos descritos no Protocolo de Biossegurança e medidas de proteção individual divulgadas pela UFMG. O risco de lesões associado aos testes a serem realizados é aquele relativo à prática de atividades físicas. É importante ressaltar que os testes aplicados envolvem exercícios que a amostra do presente estudo realizado no cotidiano da modalidade esportiva (escalada). Além disso, é possível afirmar que lesões relativas aos exercícios a serem realizados no presente projeto ocorrem com muito baixa frequência em condições laboratoriais. Não tivemos registro de nenhum caso em pesquisas anteriores no nosso Laboratório. Outros riscos específicos estão relacionados a possíveis quedas ao solo de uma altura de aproximadamente um metro e meio, minimizados com a adição de colchões de segurança para diminuir o impacto contra o solo e a presença de pessoal treinado para fazer a segurança dos voluntários. Caso ocorra alguma lesão será prestado os primeiros socorros e será acionado o serviço móvel de saúde (SAMU – telefone: 192). O atendimento de saúde em casos de lesões será feito pelo Sistema Único de Saúde (SUS) prioritariamente. Os critérios para a interrupção/suspensão da pesquisa são: impossibilidade de executar o teste independente dos motivos e/ou desconforto, dor ou constrangimento por parte do voluntário.

Compreendo e concordo com o que foi exposto acima e dou o meu consentimento.

Belo Horizonte, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2021.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador responsável

Declaro que expliquei os objetivos desse estudo, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

Pesquisadores:

Prof Dr Mauro Heleno Chagas: Rua Dom José Gaspar, 301 apto:302, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, MG – Brasil CEP: 30535-610; tel: (31) 3464-9457

Ms. Edgardo Alvares de Campos Abreu: Rua Rogério Fajardo, 37, apto: 302, Anchieta, Belo Horizonte, MG – Brasil CEP:30310-450; tel: (31) 98853-3005, Belo Horizonte - Minas Gerais

COEP: Av. Antônio Carlos, 6627- Unidade Administrativa II - 2º andar - Sala 2005

Campus Pampulha Belo Horizonte, MG – Brasil

CEP: 31270-901 tel:(31) 3409- 4592

### APÊNDICE B – Questionário perfil esportivo

Nome (iniciais)
Idade (anos)
Tempo de prática escalada (anos)
Tempo de prática <i>Campus Board</i> (anos)
Frequência semanal de escalada últimos 3 meses?
Tempo médio em cada dia de escalada (minutos)
Quantos dias vez utilizou o <i>Campus Board</i> no último mês?
Qual o maior grau já escalado. Via/Boulder (grau brasileira)?
Qual a graduação das três vias/boulder mais difíceis dos últimos 30 dias? Vias: _____ boulder?
Com qual mão você escreve?
Você praticou musculação nos últimos 3 meses?
Você faz outro esporte regularmente? Qual?
Você já participou de competições de escalada? Qual nível? Qual colocação?
Você participou de competições nos últimos 3 meses? Qual nível? Qual colocação?
Qual modalidade esportiva/boulder você mais praticou na vida? Nos últimos 3 meses?
Utiliza bebida alcoólica? Qual a frequência semanal?
Foi diagnosticado alguma lesão musculoesquelética (últimos 3 meses) nos membros superiores que impediu de escalar?
Consumiu cafeína nas 4 horas anteriores ao teste?
Alterou a dieta ou iniciou suplementação alimentar nos último 2 meses?

## APÊNDICE C – Ficha de coleta

### Dia 1 - FAMILIARIZAÇÃO

Participante nº	Horário:	Temperatura:	Humidade:	Massa:
Altura:	Envergadura:	Posição mão esq.:	Posição mão dir.:	
Distância entre mãos:		Obs.:		

Teste de 1RM (Maiores aumentos de lastro nas primeiras tentativas. Ajustes de 1kg nas últimas tentativas)						
Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Tentativa 4	Tentativa 5	Tentativa 6	Tentativa 7
07kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg

Sorteio da ordem dos exercícios	
Bote _____	Bote _____
Tentativa 1 Agarra:	Tentativa 1 Agarra:
Alcance máx. Agarra:	Alcance máx. Agarra:
Agarra utilizada para os lastros:	Agarra utilizada para os lastros:

Sorteio ordem dos lastros %1RM (5% 10% 20% 30%) Manter a ordem entre exercícios			
% 1RM	% 1RM	% 1RM	% 1RM
kg	kg	kg	kg

### Dia 2 – Teste

Participante nº	Horário:	Temperatura:	Humidade:	Massa:
Altura: XXX	Envergadura: XXX	Posição mão esq.:	Posição mão dir.:	
Distância entre mãos:		Obs.:		

Teste de 1RM (Iniciar próximo ao máximo dia anterior. Ajustes de 1kg ou 2kg nas últimas tentativas)						
Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Tentativa 4	Tentativa 5	Tentativa 6	Tentativa 7
Kg (~max)	kg	kg	kg	kg	kg	kg

Ordem inversa dos exercícios em relação ao sorteio dia 1	
Bote _____	Bote _____
Tentativa 1 Agarra:	Tentativa 1 Agarra:
Alcance máx. Agarra:	Alcance máx. Agarra:
Agarra utilizada para os lastros:	Agarra utilizada para os lastros:

Sorteio ordem dos lastros %1RM (5% 10% 20% 30%) Manter a ordem entre exercícios			
% 1RM	% 1RM	% 1RM	% 1RM
kg	kg	kg	kg

## APÊNDICE D – Tabelas pressupostos estatísticos

Estudo - 1

Tabela 14: Resultados do teste de *Shapiro-Wilk* no BoteCon

Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub>			Grupo <sub>INTER</sub>		
	Norm.	W	p	Norm.	W	p
<b>Alcance máximo</b>	Não	0,814	0,021	Não	0,802	0,015
<b>Pico de potência</b>	Sim	0,926	0,414	Sim	0,972	0,915
<b>Impulso</b>	Sim	0,899	0,218	Sim	0,971	0,899
<b>Deslocamento centro de massa</b>	Não	0,763	0,005	Sim	0,916	0,325
<b>Pico de velocidade centro de massa</b>	Sim	0,928	0,433	Sim	0,927	0,421
<b>Pico de velocidade L5</b>	Sim	0,980	0,969	Sim	0,913	0,305
<b>Pico de força</b>	Sim	0,904	0,244	Sim	0,935	0,499

Legenda Norm.= distribuição normal; Valor-p = probabilidade; Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançado; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; Fpico = maior valor de força; N = Newtons, s = segundos; W = Valor da estatística; kg = quilograma;  
Fonte: elaboração própria

Tabela 15: Resultados do teste de *Levene* no BoteCon

Variáveis	Variâncias homogêneas	df (resíduo)	F	p
<b>Alcance máximo</b>	Sim	1(18)	0,684	0,418
<b>Pico de potência</b>	Sim	1(18)	2,893	0,106
<b>Impulso</b>	Sim	1(18)	1,657	0,214
<b>Deslocamento centro de massa</b>	Sim	1(18)	2,039	0,170
<b>Pico de velocidade centro de massa</b>	Sim	1(18)	0,325	0,575
<b>Pico de velocidade L5</b>	Sim	1(18)	2,531	0,129
<b>Pico de força</b>			0.287	

Legenda df = graus de liberdade; F = valor da estatística; p = probabilidade; L5 = Marcador refletivo na vertebra lombar L5.

Fonte: elaboração própria

Tabela 16: Resultados do teste de *Shapiro-Wilk* no BoteCAE

Variáveis	Grupo <sub>AVAN</sub>			Grupo <sub>INTER</sub>		
	Norm.	W	p	Norm.	W	p
<b>Alcance máximo</b>	Sim	0,885	0,152	Não	0,751	0,003
<b>Pico de potência</b>	Sim	0,947	0,636	Sim	0,956	0,745
<b>Impulso</b>	Sim	0,864	0,084	Sim	0,982	0,976
<b>Deslocamento centro de massa</b>	Sim	0,929	0,439	Sim	0,951	0,684
<b>Pico de velocidade centro de massa</b>	Sim	0,946	0,626	Sim	0,949	0,665
<b>Pico de velocidade L5</b>	Sim	0,908	0,272	Não	0,739	0,002
<b>Pico de força</b>	Sim	0,840	0,043	Sim	0,895	0,195

Legenda Norm.= distribuição normal; W = valor da estatística; p = probabilidade; Grupo<sub>AVAN</sub> = grupo de escaladores avançado; Grupo<sub>INTER</sub> = grupo de escaladores intermediários; L5 = Marcador refletivo na vertebra lombar L5.

Fonte: elaboração própria

Tabela 17: Resultados do teste de *Levene* no BoteCAE

Variáveis	Variâncias homogêneas	df (resíduo)	F	p
Alcance máximo	Sim	1(18)	2,584	0,125
Pico de potência	Não	1(18)	10,505	0,004
Impulso	Sim	1(18)	2,501	0,131
Deslocamento centro de massa	Não	1(18)	10,905	0,003
Pico de velocidade centro de massa	Não	1(18)	9,139	0,007
Pico de velocidade L5	Não	1(18)	30,623	0,001
Pico de força				

Legenda *df* = graus de liberdade; *F* = Valor da estatística; *p* = probabilidade; L5 = Marcador refletivo na vertebra lombar L5.

Fonte: elaboração própria

## Estudo – 2

Para o BoteCon foram identificados *outliers* para o pico de potência, sendo que estes foram encontrados nas intensidades de 0%, 5% e 10% de 1RM. Esses *outliers* não foram removidos pois foram medidas reais do participante. O teste de normalidade para o pico de potência foi agrupado pelo percentual de 1RM. Somente para a intensidade de 10%1RM o pico de potência apresentou um valor de *p* abaixo de 0,05, indicando que essa nessa intensidade o pico de potência pode não seguir uma distribuição normal. Como para as outras intensidades a normalidade o pico de potência foi verificada, assumiu-se que este pressuposto foi atendido. Os resultados obtidos por meio do teste de esfericidade de *Mauchly* indicaram que o pressuposto da esfericidade não foi atendido para pico de potência ( $W = 0,251$ ;  $p = 0,019$ ). Portanto o valor de *p* reportado utilizou as correções de Greenhouse-Geisser.

Para o exercício BoteCAE, a análise dos resultados também revela a presença de *outliers* no pico de potência somente para intensidade de 20%1RM. O resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk indicou desvio da distribuição normal para o pico de potência nas intensidades de 0%1RM e 20%1RM. Como para as outras intensidades a normalidade o pico de potência foi verificada, assumiu-se que este pressuposto foi atendido. O resultado do teste de esfericidade para o pico de potência foi de *Mauchly* ( $W = 0,148$ ;  $p = 0,001$ ) indicam evidência de violação da homogeneidade das variâncias entre os cinco níveis de intensidades. Portanto o valor de *p* reportado utilizou as correções de Greenhouse-Geisser.

## APÊNDICE E – Cálculo Amostral

F tests - ANOVA: Repeated measures, within-between interaction

Analysis: A priori: Compute required sample size

Input: Effect size  $f = 0.4$

$\alpha$  err prob = 0.05

Power ( $1-\beta$  err prob) = 0.8

Number of groups = 2

Number of measurements = 2

Corr among rep measures = 0.5

Nonsphericity correction  $\epsilon = 1$

Output: Noncentrality parameter  $\lambda = 10.2400000$

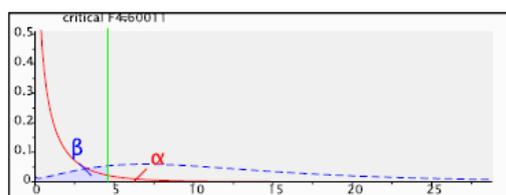
Critical F = 4.6001099

Numerator df = 1.0000000

Denominator df = 14.0000000

Total sample size = 16

Actual power = 0.8447932



Legenda: Estudo 1

Fonte: elaboração própria

F tests - ANOVA: Repeated measures, within factors

Analysis: A priori: Compute required sample size

Input: Effect size  $f = 0.3$

$\alpha$  err prob = 0.05

Power ( $1-\beta$  err prob) = 0.8

Number of groups = 1

Number of measurements = 5

Corr among rep measures = 0.5

Nonsphericity correction  $\epsilon = 1$

Output: Noncentrality parameter  $\lambda = 13.5000000$

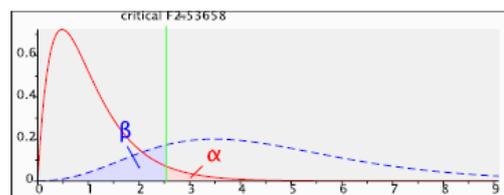
Critical F = 2.5365794

Numerator df = 4.0000000

Denominator df = 56.0000000

Total sample size = 15

Actual power = 0.8171475



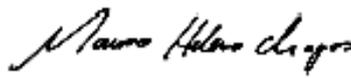
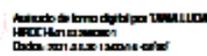
Legenda: Estudo 2

Fonte: elaboração própria

## ANEXO A – Folha de rosto de submissão CEP/COEP



## FOLHA DE ROSTO PARA PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS

<b>1. Projeto de Pesquisa:</b> Comparação das curvas força-tempo, aceleração-tempo, velocidade-tempo e deslocamento-tempo e determinação do pico de potência individual durante a execução do bote concêntrico e bote com ciclo de alongamento-encurtamento em esquiadores esportivos.			
<b>2. Número de Participantes da Pesquisa:</b> 50			
<b>3. Área Temática:</b>			
<b>4. Área de Conhecimento:</b> Grande Área 4: Ciências da Saúde			
<b>PESQUISADOR RESPONSÁVEL</b>			
<b>5. Nome:</b> Mauro Heleno Chagas			
<b>6. CPF:</b> 514.241.008-82		<b>7. Endereço (Rua, n.º):</b> DOM JOSE GASPAR, 301 CORACAO EUCARISTICO apto:302 BELO HORIZONTE MINAS GERAIS 30535610	
<b>8. Nacionalidade:</b> BRASILEIRO		<b>9. Telefone:</b> (31) 3464-9457	<b>10. Outro Telefone:</b>
		<b>11. Email:</b> maurofmg@hotmail.com	
Termo de Compromisso: Declaro que conheço e cumpro os requisitos da Resolução CNS-469/12 e suas complementares. Comprometo-me a utilizar os materiais e dados coletados exclusivamente para os fins previstos no protocolo e a publicar os resultados sejam eles favoráveis ou não. Aceito as responsabilidades pela condução científica do projeto acima. Tanto ciência que esta folha será anexada ao projeto devidamente assinada por todos os responsáveis e fará parte integrante da documentação do mesmo.			
Data: 29 / 03 / 2021		 Assinatura	
<b>INSTITUIÇÃO PROPONENTE</b>			
<b>12. Nome:</b> Universidade Federal de Minas Gerais		<b>13. CNPJ:</b> 17.217.965/0048-08	<b>14. Unidade/Órgão:</b> PRO REITORIA DE PESQUISA
<b>15. Telefone:</b>		<b>16. Outro Telefone:</b>	
Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaro que conheço e cumpro os requisitos da Resolução CNS-469/12 e suas Complementares e como esta instituição tem condições para o desenvolvimento deste projeto, autorizo sua execução.			
<b>Responsável:</b> Tânia Lucia Hirochi		<b>CPF:</b> 013.326.809-01	
<b>Cargo/Função:</b> Vice-Diretora			
Data: 30 / 03 / 2021		TANIA LUCIA HIROCHI 01332680801  Assinatura	
<b>PATROCINADOR PRINCIPAL</b>			

**ANEXO B – Tabela de classificação e sistemas de graduação.**

Classificação	IRCRA	YDS	FRENCH	BRL
Lower Grade	1	5.1	1	I sup
	2	5.2	2	II
	3	5.3	2+	II sup
	4	5.4	3	III
	5	5.5		
	6	5.6	3+	IV
	7	5.7	4	VI
	8	5.8	4+	
	9	5.9	5	
Intermediate	10	5.10a	5+	VI sup
	11	5.10b	6a	
	12	5.10c	6a+	
	13	5.10d	6b	
	14	5.11a	6b+	7a
	15	5.11b	6c	7b
	16	5.11c	6c+	7c
	17	5.11d	7a	8a
Advanced	18	5.12a	7a+	8b
	19	5.12b	7b	8c
	20	5.12c	7b+	9a
	21	5.12d	7c	9b
	22	5.13a	7c+	9c
	23	5.13b	8a	10a
Elite	24	5.13c	8a+	10b
	25	5.13d	8b	10c
	26	5.14a	8b+	11a
	27	5.14d	8c	11b
High Elite	28	5.14c	8c+	11c
	29	5.14d	9a	12a
	30	5.15a	9a+	12b
	31	5.15b	9b	12c
	32	5.15c	9b+	

Legenda: IRCRA = *International Rock Climbing Research Association*; YDS = *Yosemit Decimal Scale*; BRL = *Escala Brasileira*.

Adaptado de (Draper et al., 2016)

## ANEXO C – Questionário *Par-Q*.

### **PAR-Q**

*Physical Activity Readiness Questionnaire*  
QUESTIONÁRIO DE PRONTIDÃO PARA ATIVIDADE FÍSICA

***Este questionário tem objetivo de identificar a necessidade de avaliação clínica e médica antes do início da atividade física. Caso você marque um SIM, é fortemente sugerida a realização da avaliação clínica e médica. Contudo, qualquer pessoa pode participar de uma atividade física de esforço moderado, respeitando as restrições médicas.***

O PAR-Q foi elaborado para auxiliar você a se auto-ajudar. Os exercícios praticados regularmente estão associados a muitos benefícios de saúde. Completar o PAR-Q representa o primeiro passo importante a ser tomado, principalmente se você está interessado em incluir a atividade física com maior frequência e regularidade no seu dia a dia.

O bom senso é o seu melhor guia ao responder estas questões. Por favor, leia atentamente cada questão e marque SIM ou NÃO.

- | SIM                      | NÃO                      |  |
|--------------------------|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1. Alguma vez seu médico disse que você possui algum problema cardíaco e recomendou que você só praticasse atividade física sob prescrição médica? |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 2. Você sente dor no tórax quando pratica uma atividade física?  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 3. No último mês você sentiu dor torácica quando não estava praticando atividade física?   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 4. Você perdeu o equilíbrio em virtude de tonturas ou perdeu a consciência quando estava praticando atividade física?                              |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 5. Você tem algum problema ósseo ou articular que poderia ser agravado com a prática de atividades físicas?  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6. Seu médico já recomendou o uso de medicamentos para controle da sua pressão arterial ou condição cardiovascular?                                |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 7. Você tem conhecimento de alguma outra razão física que o impeça de participar de atividades físicas?  |

