

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

FERNANDO VILELA FILHO

DÉFICIT BILATERAL EM ESCALADORES E SUA RELAÇÃO COM O
DESEMPENHO NEUROMUSCULAR

BRASÍLIA, 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

FERNANDO VILELA FILHO

DÉFICIT BILATERAL EM ESCALADORES E SUA RELAÇÃO COM O
DESEMPENHO NEUROMUSCULAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Física

Orientador: Prof. Dr. Martim Bottaro

BRASÍLIA, 2025

Resumo

A escalada esportiva demanda elevados níveis de força e resistência dos membros superiores, especialmente dos dedos, sendo o déficit bilateral (DBL) um possível fator de impacto no desempenho e na prevenção de lesões. Este estudo investigou a presença de DBL em escaladores recreativos e sua relação com variáveis de desempenho neuromuscular. Quinze escaladores (11 homens e 4 mulheres; 25–45 anos; experiência ≥ 3 anos) foram avaliados por meio dos seguintes testes: 1) preensão manual, 2) força isométrica específica (FIE) bilateral e unilateral, 3) índice de resistência à fadiga (IRF) e 4) capacidade de resistência (CR). As análises incluíram teste t pareado de Student, correlação de Pearson, coeficiente de correlação intraclasse (ICC) e erro típico (ET) para confiabilidade. A confiabilidade dos testes de FIE foi classificada como excelente ($ICC > 0,93$; $ET \leq 4,36$ kg). Os resultados indicaram DBL médio de $-2,53 \pm 4,49\%$ na FIE e $-2,05 \pm 3,29\%$ na preensão manual, sem diferença significativa entre métodos ($p = 0,731$). Observou-se correlação positiva significativa entre DBL na FIE e a CR ($r = 0,526$; $p = 0,044$), mas não com o IRF ($r = 0,258$; $p = 0,354$). Em síntese, os achados indicam boa consistência metodológica e sugerem que o DBL pode estar relacionado à resistência em escaladores recreativos, enquanto a força relativa à massa corporal se configura como importante preditor da capacidade de resistência nessa população.

Abstract

This study aimed to describe the bilateral deficit in the upper body of recreational climbers and examine its relationship with neuromuscular performance. Fifteen recreational climbers (11 men, 4 women; 25–45 years; ≥ 3 years of experience) performed handgrip strength, unilateral and bilateral maximal isometric voluntary contraction (MIVC), fatigue resistance index (FRI), and endurance capacity (EC) tests. The Pearson's correlation was used to assess relationships between these variables with the level at 5%. The results showed a bilateral deficit in MIVC ($-2.53 \pm 4.49\%$) and handgrip ($-2.05 \pm 3.29\%$), with no difference between methods. A positive correlation was found between bilateral deficit in MIVC and EC ($r = 0.53$; $p = 0.044$), while no correlation was observed with FRI. Relative bilateral strength to body mass was strongly associated with EC ($r = 0.92$; $p < 0.001$). Higher relative strength predicted greater endurance, and greater bilateral deficit was associated with endurance capacity.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Agarra half crimp e agarra open hand.	11
Figura 2: Estrutura do delineamento experimental.	16
Figura 3: Posição do teste de preensão manual.	17
Figura 4: Modelos de fingerboard Patrik (a) e Poli 2 (b).	18
Figura 5: Posição dos braços (a) e das pernas (b) durante o teste de FIE.....	19
Figura 6: Teste de capacidade de resistência.....	21
Figura 7: Equação do cálculo do déficit bilateral.....	21
Figura 8: Gráfico de dispersão do DBL FIE vs. CR (a) e do DBL FIE vs. IRF.	26
Figura 9: Gráfico de dispersão do FIE Bilateral Relativo vs. CR (a) e 26	26
Figura 10: Gráfico de dispersão do CR vs. IRF.	27
 Tabela 4: Coeficiente de Correlação Intraclassa do teste de força isométrica específica (FIE).	 23
Tabela 1: Valores descritivos dos testes específicos de escalada e de preensão manual.....	24
Tabela 2: Resultado do teste t pareado de Student.....	24
Tabela 3: Correlação entre o déficit bilateral do teste de força isométrica específica (FIE) e a FIE bilateral relativa à massa corporal, em relação aos testes de desempenho específicos da escalada.	25

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS	9
3.	REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1.	BREVE HISTÓRIA DA ESCALADA ESPORTIVA NO BRASIL	9
3.2.	TREINAMENTO E PERFIL DE SUCESSO	10
3.3.	TIPO DE PEGADA E TAMANHO DA AGARRA	11
3.4.	DÉFICIT BILATERAL	12
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1.	SUJEITOS	13
4.2.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	14
4.3.	MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS	16
4.4.	TESTE DE PREENSÃO MANUAL	16
4.5.	TESTE DE FORÇA ISOMÉTRICA ESPECÍFICA DOS MEMBROS SUPERIORES (FIE)	17
4.6.	AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A FADIGA (IRF)	19
4.7.	TESTE DE CAPACIDADE DE RESISTÊNCIA (CR)	20
4.8.	DÉFICIT BILATERAL DA FORÇA MUSCULAR DOS MEMBROS SUPERIORES	21
4.9.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
5.	RESULTADOS	22
6.	DISCUSSÃO	27
7.	CONCLUSÃO	29
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

A escalada esportiva tem ganhado destaque mundial, especialmente após sua inclusão nos Jogos Olímpicos de Tóquio 2020, o que estimulou maior interesse em investigações sobre aspectos físicos, fisiológicos e biomecânicos relacionados ao desempenho. O rendimento nessa modalidade é multifatorial e depende da interação entre habilidades técnicas, atributos físicos e componentes psicológicos e tático-cognitivos (BALÁŠ *et al.* 2011; LAFFAYE *et al.* 2016; MACKENZIE *et al.*, 2020; MERMIER *et al.*, 2000; OZIMEK *et al.*, 2017; SAUL *et al.*, 2019; WATTS, 2004). Entre os fatores físicos, a coordenação e a força dos membros superiores, especialmente a força de preensão dos dedos, são considerados determinantes para o desempenho e a segurança do escalador (GRANT *et al.*, 2003; MACLEOD *et al.*, 2007). De fato, MacLeod *et al.* (2007) observaram que escaladores apresentam maior resistência da força de dedos em testes intermitentes quando comparados a não escaladores.

Um aspecto neuromuscular cada vez mais discutido no esporte é o desequilíbrio neuromuscular de força entre os membros. Foley *et al.* (2025), em revisão sistemática, reportaram assimetria média de 11,6% em favor do membro dominante na força dos membros superiores em atletas de diferentes modalidades. Tais desequilíbrios podem comprometer o desempenho esportivo, aumentar a sobrecarga assimétrica e contribuir para o risco de lesões (DONATH *et al.*, 2013; GILES *et al.*, 2017). Nesse sentido, a assimetria entre membros superiores e inferiores vem sendo frequentemente investigada em atletas por meio do déficit bilateral (DBL). O DBL é caracterizado pela redução da força resultante em contrações bilaterais quando comparada à soma das contrações unilaterais dos mesmos membros (JAKOBI; CHILLIBECK, 2001).

A dinamometria de preensão manual é uma das ferramentas utilizadas para avaliar a força dos membros superiores, tanto de forma unilateral quanto bilateral. Ela permite a realização de contrações isométricas máximas com ambas as mãos

simultaneamente, possibilitando o cálculo do déficit bilateral de força e a realização de uma avaliação bilateral específica da força de preensão (ODA; MORITANI, 1995). Entretanto, sua aplicação para escaladores tem sido questionada. Baláš *et al.* (2014) demonstraram que o *hand grip* pode não refletir adequadamente as demandas específicas dessa modalidade, sugerindo que o uso do *fingerboard* associado a uma célula de carga ou balança eletrônica oferece maior precisão para a avaliação da força dos dedos.

O DBL tem sido associado ao desempenho esportivo. Estudos indicam que sua magnitude pode influenciar positivamente a performance e a fadiga em modalidades com predominância unilateral, como judô, voleibol e tênis (PLEŠA *et al.* 2022; TURNES *et al.*, 2019; SHU *et al.*, 2025). No entanto, a escalada, por envolver ações simultâneas e coordenadas de ambos os membros superiores, pode apresentar um padrão distinto em relação a outras modalidades, o que torna a investigação do DBL particularmente relevante nessa população.

A utilização do *fingerboard* como ferramenta para mensurar o DBL em escaladores surge como uma alternativa metodológica mais específica e sensível às demandas da modalidade. Diferentemente da dinamometria manual tradicional, o *fingerboard* permite a avaliação direta da força de preensão dos dedos em posições e profundidades de agarras semelhantes às encontradas durante a escalada, o que aumenta a validade ecológica das medidas. Além disso, quando associado a uma célula de carga, o *fingerboard* possibilita a quantificação precisa da força produzida em contrações unilaterais e bilaterais, fornecendo dados adequados para o cálculo do DBL. Esse método também favorece a padronização de pegadas, a estabilidade corporal e o controle do ângulo articular, reduzindo variáveis confundidoras que podem interferir na mensuração da força dos flexores dos dedos (BALÁŠ *et al.*, 2014). Dessa forma, a avaliação do déficit bilateral por meio do *fingerboard* se apresenta como uma abordagem mais específica, confiável e representativa do desempenho neuromuscular de escaladores recreativos e experientes.

Até o momento, contudo, não foram encontrados estudos que analisem a existência e a magnitude do DBL em escaladores. Dessa forma, torna-se essencial investigar o DBL em escaladores e sua associação com o desempenho, utilizando métodos específicos e válidos com os *fingerboards*. Assim, o presente estudo teve

como objetivo mensurar o déficit bilateral em escaladores recreativos e analisar sua associação com variáveis neuromusculares de força e resistência. Espera-se que os achados contribuam para a compreensão dos mecanismos relacionados ao desempenho nessa modalidade, bem como para o desenvolvimento de estratégias de treinamento e prevenção de lesões.

2. OBJETIVOS

O primeiro objetivo foi investigar a confiabilidade dos dados obtidos em testes específicos de *fingerboard* aplicados a escaladores recreativos. Um segundo objetivo foi examinar a magnitude do déficit bilateral de força e sua associação com o desempenho específico nessa população.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. BREVE HISTÓRIA DA ESCALADA ESPORTIVA NO BRASIL

O advento da escalada esportiva, caracterizada pelo uso de proteções fixas instaladas na rocha, permitiu que os escaladores se concentrassem mais na dificuldade técnica das vias e menos nos riscos associados à queda. Nos anos 1980, a popularidade da escalada esportiva cresceu exponencialmente com o surgimento das competições de escalada, que estimularam a evolução das técnicas e do treinamento específico. A inclusão da escalada como esporte olímpico nos Jogos de Tóquio 2020 marca um ponto culminante na história desta disciplina, evidenciando seu reconhecimento e importância no cenário esportivo global. No Brasil, a primeira academia de escalada esportiva foi inaugurada em 1993, na capital de São Paulo. Em 1999, o Campeonato Mundial realizado na cidade de Leipzig, na Alemanha, foi o primeiro com a participação de escaladores brasileiros, desde o início das competições internacionais em 1989 (BERTUZZI *et al.*, 2001; BOLLEN; GUNSON, 1990). Em 2014, foi fundada a Associação Brasileira de Escalada Esportiva (ABEE),

entidade filiada à *International Federation of Sport Climbing* (IFSC), organizadora das etapas internacionais. Em 2018, a ABEE passou a receber recursos do Comitê Olímpico Brasileiro (COB), permitindo a criação do Time Brasileiro de Escalada Esportiva e sua participação, em 2019, nas classificatórias dos Jogos Olímpicos de 2020. No entanto, o time brasileiro não conquistou vaga para a participação nos Jogos. Em 2025, a cidade de Curitiba sediou a primeira etapa da Copa do Mundo de *Boulder* da IFSC no Brasil — e na América do Sul —, consolidando o país no calendário internacional de competições de alto nível (IFSC, 2024).

3.2. TREINAMENTO E PERFIL DE SUCESSO

Com o advento da escalada de competição, diversos métodos de treinamento específico foram desenvolvidos, e a escalada esportiva evoluiu com a predominância de vias em paredes com inclinação negativa, resultando em maior recrutamento de membros superiores (BALAS; VOMÁČKO; STREJCOVÁ, 2011). Em determinados momentos, a maior parte do peso corporal é sustentada apenas pela falange distal das mãos, com suporte parcial das pernas em pequenas saliências naturalmente esculpidas na rocha, o que envolve intenso engajamento e contração isométrica intermitente da musculatura dos antebraços (KOUKUBIS *et al.*, 1995; OZIMEK *et al.*, 2017). As principais características de escaladores bem-sucedidos são a elevada força de dedos relativa à massa corporal e a resistência da musculatura dos antebraços e da cintura escapular (LAFFAYE; LEVERNIER; COLLIN, 2016; MERMIER *et al.*, 2000; SAUL *et al.*, 2019; WATTS, 2004). Foi demonstrado por Ferguson *et al.* (1997, p. 6) que indivíduos treinados possuem melhor capacidade de vasodilatação, e Quaine *et al.* (2003, p. 4) acrescentaram que esses mesmos indivíduos demoram mais para atingir a exaustão em comparação a indivíduos não treinados. Nesse sentido, observou-se que a contração isométrica do antebraço engloba mais de um terço do tempo de escalada e que, embora o metabolismo oxidativo assuma papel secundário, a capacidade de suportar altos níveis de lactato é fundamental (BILLAT *et al.*, 1995).

3.3. TIPO DE PEGADA E TAMANHO DA AGARRA

A forma de se segurar em uma agarra é relevante para o desempenho e, por isso, tem sido amplamente investigada. As técnicas *half crimp* e *open hand*, ilustradas na Figura 1, são as mais comuns entre escaladores (SCHWEIZER, 2001), pois permitem segurar agarras muito pequenas — geralmente do tamanho da falange distal — frequentemente encontradas tanto em escalada *indoor* quanto *outdoor* (BOURNE *et al.*, 2011). Nessa perspectiva, estudos submeteram indivíduos a métodos de treinamento de resistência muscular para antebraços por meio de estímulos de contração isométrica intermitentes, com mínimo intervalo de descanso, sustentando o corpo em agarras com espessuras entre 18 e 25 milímetros e utilizando as pegadas mais comuns. Tais protocolos, ao respeitarem a especificidade necessária para o desenvolvimento das estruturas ativas e passivas recrutadas durante a escalada, demonstraram correlação positiva entre o nível de escalada e a resistência muscular localizada dos antebraços (BALÁŠ *et al.*, 2012; LÓPEZ-RIVERA; GONZALEZ-BADILLO, 2012).

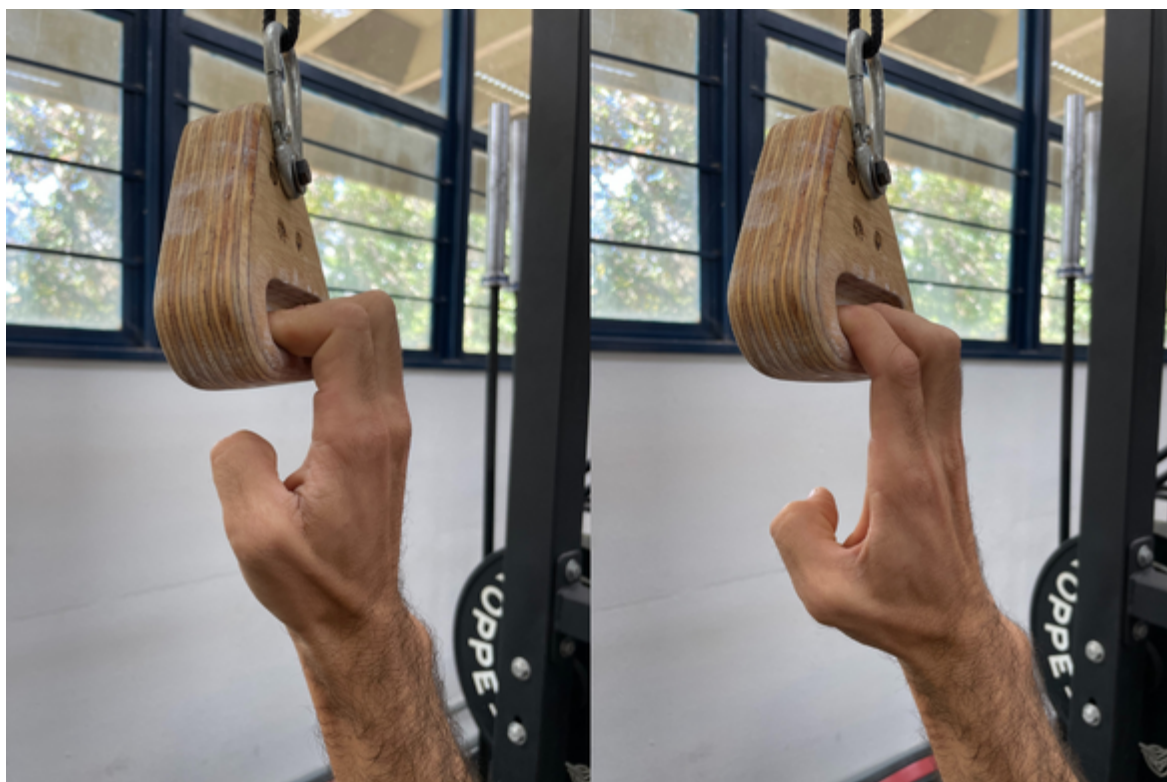


Figura 1: Agarra *half crimp* e agarra *open hand*.

3.4. DÉFICIT BILATERAL

O déficit bilateral (DBL) refere-se à redução da força muscular total quando ambos os membros são utilizados simultaneamente, em comparação com a soma das forças individuais de cada membro em ações unilaterais (ŠKARABOT *et al.*, 2016). Estudos indicam que esse comportamento é um fenômeno neural local, influenciado pelo feedback aferente e dependente da integração dos sinais neurais provenientes de fontes periféricas e centrais (HOWARD; ENOKA, 1991).

No estudo de Turnes *et al.* (2019b), realizado com atletas de judô, o objetivo foi identificar a existência do DBL na força máxima de preensão manual em posições em pé e sentado e correlacionar os achados com tarefas específicas da modalidade. Dezenove atletas do sexo masculino realizaram testes de preensão manual unilateral e bilateral. Após os testes, os participantes foram submetidos ao Teste de Força de Preensão do Judogi, em modos dinâmico e isométrico, e ao Teste de Condicionamento Físico Específico do Judô. Os resultados mostraram que a soma das forças bilaterais foi significativamente menor que a soma das forças unilaterais na posição em pé, mas não na posição sentada, evidenciando a presença do DBL apenas em pé. Além disso, o DBL foi mais pronunciado em atletas avançados do que em iniciantes. Não foram observadas correlações significativas entre o índice bilateral (IB) e o desempenho nos testes específicos de judô ($p > 0,05$), e o desempenho não diferiu entre atletas com DBL e com facilitação bilateral (FBL).

Cornwell, Khodiguian e Yoo (2012) investigaram se o membro dominante seria mais inibido na condição bilateral. A força máxima de preensão manual foi medida em 40 indivíduos canhotos e 40 destros, tanto em condições bilaterais quanto unilaterais. O DBL (-1,30%) esteve presente apenas no grupo dos canhotos, sem redução na disparidade de força entre as mãos. Entretanto, observou-se que sete indivíduos de cada grupo apresentaram maior força unilateral na mão não dominante. Reorganizando os grupos com base na dominância de força, verificou-se uma redução significativa na assimetria exclusivamente no grupo de canhotos, decorrente da inibição significativa da mão esquerda, que apresentava maior força. Nos destros, houve tendência semelhante, atribuída à redução significativa da força da mão direita dominante. Esses resultados sugerem que, em contrações máximas de preensão

manual, o DBL pode estar associado a uma inibição preferencial do membro com maior força unilateral, efeito mais evidente em indivíduos com dominância da mão esquerda.

Na pesquisa conduzida por Pleša, Kozinc e Šarabon (2022b), investigou-se a associação entre o DBL no salto com contramovimento (SCM), desempenho em mudança de direção (DMD), *sprint* linear e no salto com aproximação. Quarenta e sete jovens jogadores de voleibol realizaram SCM bilateral e unilateral, um teste T modificado, um teste 505 de DMD, *sprints* de 25 m (com divisões em 5, 10 e 15 m) e saltos verticais com aproximação. O DBL foi calculado a partir da altura do salto, da potência de pico e dos impulsos de força de fases específicas. Foram encontradas correlações significativas, de pequena a moderada, entre o DBL e o tempo no teste 505, nos *sprints*, no déficit de DMD e no salto com aproximação, mas não no teste T modificado. Os resultados indicaram que um maior DBL esteve associado a melhor desempenho em algumas dessas tarefas.

Para mitigar os efeitos do DBL e melhorar o desempenho, é fundamental que os escaladores incorporem treinamento específico que combine estratégias bilaterais e unilaterais. O treinamento bilateral tem se mostrado eficaz para reduzir o déficit bilateral e promover ganhos de força mais equilibrados (TANIGUCHI, 1998), enquanto o treinamento unilateral é particularmente eficiente para fortalecer individualmente cada membro e desenvolver padrões de movimento específicos, atendendo às demandas assimétricas da escalada (ZHANG *et al.*, 2023). A monitorização contínua do progresso e a adaptação individualizada dos programas de treinamento são essenciais para garantir que os escaladores alcancem seu potencial máximo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. SUJEITOS

Este estudo transversal incluiu escaladores recreativos da cidade de Brasília (DF), com idades entre 25 e 45 anos e experiência mínima de três anos na modalidade. Todos os participantes interromperam suas rotinas de treinamento em

fingerboard durante o período experimental e foram orientados a manter seus hábitos alimentares e de hidratação. Após receberem explicações detalhadas sobre os procedimentos, os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, e o protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília. Não foram incluídos na amostra indivíduos com doenças ortopédicas graves, especialmente nos membros superiores, aqueles que apresentaram dor torácica, falta de ar ou tontura durante atividades diárias ou com histórico recente de eventos cardiovasculares graves, como insuficiência cardíaca ou hipertensão não controlada, além de participantes com infecções agudas ou outras doenças. Também não foram incluídos os voluntários que faziam uso de medicamentos capazes de interferir na função muscular ou que responderam “sim” a qualquer item do questionário de prontidão para atividade física (PAR-Q).

4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Este estudo foi do tipo transversal e o delineamento está apresentado na figura 2. Cada voluntário visitou o laboratório duas vezes. Na primeira visita, foi realizada uma familiarização com todos os testes, e o dia da coleta foi reagendado com, no mínimo, 48 horas de descanso em relação à última visita ao laboratório. A coleta de dados para o estudo de força isométrica específica dos membros superiores (FIE) em escaladores seguiu uma sequência detalhada para garantir a padronização e a confiabilidade dos resultados, e os testes de força máxima seguiram os padrões estabelecidos por Labott *et al.* (2022). O processo começou com uma breve introdução, na qual os participantes foram recebidos e receberam explicações sobre o projeto e os procedimentos a serem realizados. Em seguida, foram coletados os dados antropométricos, incluindo estatura, envergadura, massa corporal e perímetro dos antebraços esquerdo e direito. Após essa etapa inicial, foi realizado um aquecimento geral e específico, estruturado em forma de circuito repetido três vezes, com 1 minuto de descanso entre as séries. Cada circuito incluiu 10 rotações dos braços completamente estendidos e do pescoço nos sentidos horário e anti-horário, 10 flexões de braço com apoio das mãos em uma base elevada ou diretamente no

chão (de acordo com o conforto do participante), 10 segundos de suspensão em barra fixa, 10 segundos de sustentação bilateral em agarra de 20 mm com os pés apoiados no chão e, por fim, um exercício de aquecimento dos dedos denominado *finger slides*.

Na familiarização, após o aquecimento, foram realizados os testes de preensão manual, cuja ordem foi definida por randomização. Em seguida, foi montado o setup dos testes de FIE de acordo com a randomização previamente estabelecida. A randomização considerou os três testes (unilateral esquerdo, unilateral direito e bilateral). Caso o participante tivesse iniciado pelo teste bilateral, foram realizadas três tentativas, com um minuto de descanso entre cada uma. Caso tivesse iniciado pelo teste unilateral, as tentativas foram iniciadas no lado sorteado e conduzidas de forma alternada até que cada lado tivesse realizado três tentativas, também com um minuto de descanso entre elas. A randomização do teste de preensão manual seguiu o mesmo princípio, mas foi realizada separadamente. A célula de carga foi calibrada a cada troca de equipamento, ou seja, entre os testes bilaterais e unilaterais. Após dois minutos do término dos testes de FIE, foi realizada a avaliação do índice de resistência à fadiga (IRF), que consistiu em 30 segundos de força isométrica específica, máxima e contínua. Por fim, após mais 5 minutos de descanso, foi realizado o teste de capacidade de resistência (CR).

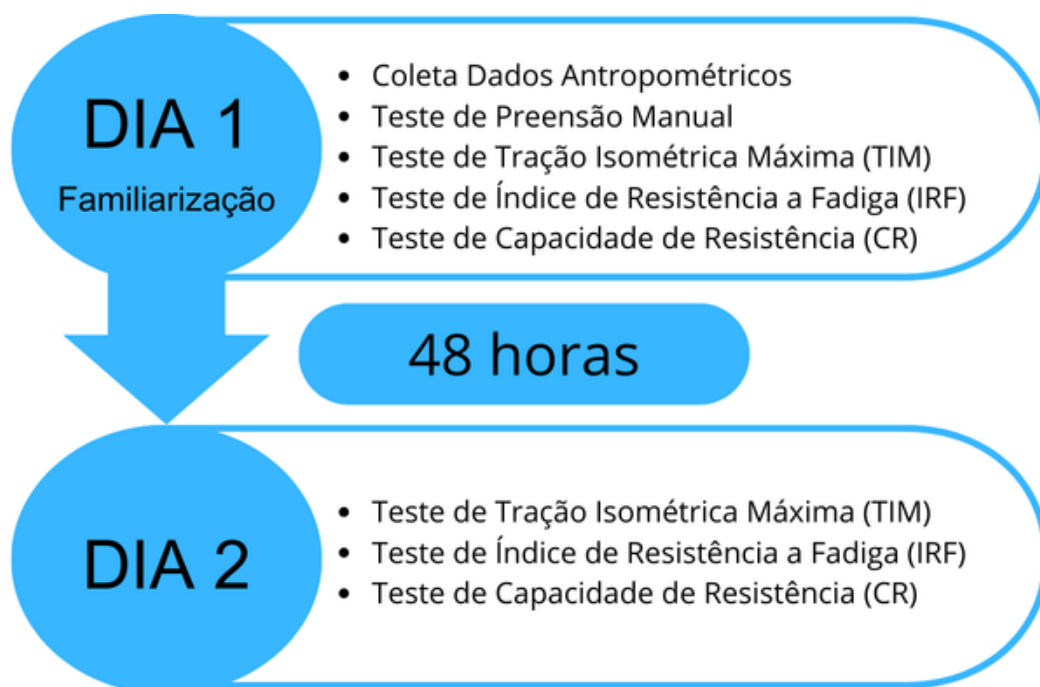


Figura 2: Estrutura do delineamento experimental.

4.3. MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS

As medidas utilizadas para a caracterização da amostra incluíram massa corporal, estatura, envergadura e perimetria dos antebraços. A massa corporal foi aferida por meio de uma balança digital (Líder, modelo P 150M, Araçatuba, SP) com resolução de 50 g. A estatura foi mensurada utilizando-se um estadiômetro (*Sanny*, modelo Profissional, São Bernardo do Campo, SP) com resolução de 0,1 cm. A envergadura e a perimetria dos antebraços foram avaliadas de acordo com o método descrito por Norton (2019).

4.4. TESTE DE PREENSÃO MANUAL

O teste de preensão manual dos participantes foi realizado utilizando um dinamômetro hidráulico de mão (*Saehan*, modelo SH5001, República da Coreia). O procedimento segue as recomendações de Turnes *et al.* (2019b), porém adaptado

para o mesmo posicionamento adotado no teste de força isométrica específica: ombro em flexão de 180° , cotovelo totalmente estendido, antebraço em pronação e joelhos flexionados, mantendo os pés abaixo do banco sem contato com o solo (Figura 3).



Figura 3: Posição do teste de preensão manual.

4.5. TESTE DE FORÇA ISOMÉTRICA ESPECÍFICA DOS MEMBROS SUPERIORES (FIE)

Para a avaliação da força isométrica específica máxima dos dedos de forma unilateral, foi utilizado um *fingerboard* modelo *Patrik* (Figura 4a) da marca *Woodtropa* (Ouro Preto, Brasil). Para a análise bilateral, o modelo *Poli 2* (Figura 4b), ambos com profundidade de 20 mm e acoplados a uma célula de carga modelo *Progressor 200* da empresa *Tindeq* (Tindeq, Trondheim, Noruega), com capacidade de 200 kg, cuja validade e confiabilidade foram determinadas por Labott *et al.* (2022). A célula de

carga foi previamente calibrada antes do início dos testes e a cada troca de equipamento, conforme as instruções do fabricante.



Figura 4: Modelos de *fingerboard* Patrik (a) e Poli 2 (b).

O tipo de pegada pode ser *half crimp* ou *open hand*, de acordo com a preferência do participante, uma vez que não há diferença significativa na geração de força entre esses tipos de preensão (Quaine & Vigouroux, 2004). Entretanto, a posição foi padronizada, com o ombro em flexão de 180°, cotovelo totalmente estendido e antebraços em pronação (Figura 5a), conforme Göb *et al.* (2022). Os participantes foram instruídos a flexionar os joelhos, mantendo os pés abaixo do banco, sem contato com o solo (Figura 5b).



Figura 5: Posição dos braços (a) e das pernas (b) durante o teste de FIE.

Durante os testes, foi fornecido motivação verbal para que os participantes exercessem força máxima no teste específico, e utilizado carbonato de magnésio para reduzir o deslizamento das mãos. Os participantes foram posicionados sentados abaixo da estrutura onde a célula de carga foi fixada, e uma fita com catraca, acoplada à estrutura metálica, utilizada para impedir a movimentação dos membros inferiores. A fita foi envolvida em espuma para proporcionar conforto durante os testes (Figura 5b).

Foram realizadas três tentativas de 5 segundos de força isométrica específica, com intervalo de 1 minuto entre elas e considerado válido para análise o maior valor de força atingido.

4.6. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A FADIGA (IRF)

O índice de resistência à fadiga foi avaliado por meio de uma célula de força durante um teste de força isométrica específica de 30 segundos, realizado bilateralmente em uma agarra de 20 mm. Para o cálculo, foi considerado o maior valor registrado nos primeiros 5 segundos de contração (V_{max}) e o maior valor registrado nos últimos 5 segundos (V_{final}), ambos em quilogramas. O IRF foi obtido pela razão entre V_{final} e V_{max} , multiplicada por 100, resultando em um valor percentual que representa a capacidade do indivíduo de manter a força máxima ao longo do teste.

4.7. TESTE DE CAPACIDADE DE RESISTÊNCIA (CR)

O teste de capacidade de resistência foi realizado cinco minutos após o término do teste de IRF e consiste em verificar o tempo máximo que o participante consegue se manter suspenso bilateralmente em uma agarra de 20 mm, sem qualquer ajuste de peso (Figura 6). O teste é encerrado quando os pés do participante tocam o solo (LÓPEZ-RIVERA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2012).



Figura 6: Teste de capacidade de resistência.

4.8. DÉFICIT BILATERAL DA FORÇA MUSCULAR DOS MEMBROS SUPERIORES

O déficit bilateral de força foi calculado como a razão entre o desempenho bilateral e o desempenho unilateral nos protocolos. Esse cálculo utilizou os valores unilaterais direito/esquerdo e bilateral, conforme ilustrado na figura 7:

$$\text{DÉFICIT BILATERAL DA FORÇA (\%)} = \left[100 * \left(\frac{\text{bilateral}}{\text{unilateral esquerda} + \text{unilateral direita}} \right) \right] - 100$$

Figura 7: Equação do cálculo do déficit bilateral.

A facilitação bilateral foi identificada quando o DBL foi significativamente acima de 0, enquanto o déficit bilateral foi observado quando o DBL foi significativamente abaixo de 0. Déficit bilateral ou facilitação bilateral foram definidos como uma diferença significativa entre o desempenho em tarefas bilaterais e os resultados combinados das tarefas unilaterais (HOWARD; ENOKA, 1991).

4.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística descritiva dos dados está apresentada em média e desvio padrão para todas as variáveis. A normalidade dos dados foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para avaliar a diferença entre os resultados da medida de DBL do teste de preensão manual e FIE foi utilizado o teste t de Student pareado. Para a correlação entre as variáveis foi empregado o teste de Pearson. Além disso, foi realizada a análise de confiabilidade entre os dias 1 e 2 dos testes de FIE bilateral e unilateral, com resultados em quilogramas (KG), por meio do coeficiente de correlação intraclasse (ICC 3:1) e erro típico de medida (ET). Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software JASP (versão 0.19.3), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$), com exceção do ET cujo cálculo foi realizado de forma manual. Para a análise de correlação, foram utilizados os critérios propostos por Hopkins (2002) para quantificar a magnitude da correlação, sendo considerados os seguintes intervalos: $r = 0-0,10$ (trivial), $0,10-0,29$ (pequena), $0,30-0,49$ (moderada), $0,50-0,69$ (grande), $0,70-0,89$ (muito grande) e $0,90-1,0$ (quase perfeita). A interpretação dos valores do coeficiente de correlação intraclasse (ICC) foi classificada de acordo com Koo e Li (2016), sendo $>0,90$ considerada excelente, $0,75-0,90$ boa, $0,50-0,75$ moderada e $<0,50$ fraca.

5. RESULTADOS

A análise de confiabilidade entre os dias 1 e 2 demonstrou excelente reprodutibilidade para todas as medidas de FIE. O teste bilateral apresentou ICC = 0.97 (IC 95% = 0.90 – 0.99), com ET de 4,21 kg. O teste unilateral esquerdo apresentou ICC = 0.97 (IC 95% = 0.910 – 0.99), com ET de 2,16 kg. Já o teste unilateral direito apresentou ICC = 0.931 (IC 95% = 0.81 – 0.98) e ET de 3,27 kg, igualmente classificado como excelente, embora com limites de confiança ligeiramente mais amplos (Tabela 4). Esses resultados reforçam que as medidas de força absoluta obtidas nos testes de força isométrica específica bilateral e unilateral apresentam alta confiabilidade intra-avaliação, com erros típicos baixos em relação às médias de força.

Tabela 1: Coeficiente de Correlação Intraclassa do teste de força isométrica específica (FIE).

Teste FIE	Média ± DP	ICC (95% IC)	ET (95% IC)
Bilateral (kg)	108.31 ± 22.23	0.97 (0.90–0.99)	4.21 (2.82–5.15)
Unilateral (Esquerda, kg)	54.49 ± 12.06	0.97 (0.91–0.99)	2.16 (1.21–2.85)
Unilateral (Direita, kg)	56.56 ± 11.96	0.93 (0.81–0.98)	3.27 (1.77–4.33)

FIE = força isométrica específica; ICC = Coeficiente de correlação intraclassa; ET = erro típico; DP = desvio padrão; IC = Intervalo de confiança.

A análise descritiva das variáveis (Tabela 1) dos participantes (11 homens e 4 mulheres) mostrou que a idade média foi de $32,7 \pm 5,9$ anos, com massa corporal média de $70,0 \pm 14,4$ kg, estatura média de $173,1 \pm 10,5$ cm, e envergadura média de $177,3 \pm 12,9$ cm. Em relação às variáveis de desempenho, o IRF apresentou média de $78,99 \pm 10,74\%$, o teste de CR apresentou média foi de $37,87 \pm 14,99$ segundos. A força relativa bilateral correspondeu a $158,33 \pm 32,15\%$, enquanto os valores relativos unilaterais foram de $79,8 \pm 16,12\%$ para o braço esquerdo e $82,3 \pm 14,93\%$ para o braço direito. As medidas absolutas de força bilateral apresentaram uma média de $107,53 \pm 21,91$ kg e nos testes unilaterais, a média no braço esquerdo foi de $55,1 \pm 12,3$ kg, enquanto no braço direito foi de $56,95 \pm 11,90$ kg. O teste de Shapiro-Wilk confirma a normalidade em todas as variáveis ($p > 0,05$). O teste t de Student (Tabela 2) não mostrou diferença significativa entre os valores de DBL obtidos no teste de FIE

específico e no teste de preensão manual ($t(14) = -0.351$; $p = 0.731$). As médias observadas foram $-2,53\% \pm 4,49\%$ para o DBL do teste de FIE e $-2,05\% \pm 3,29\%$ para o DBL do teste de preensão manual, sugerindo coerência entre os dois métodos de avaliação.

Tabela 2: Valores descritivos dos testes específicos de escalada e de preensão manual.

Variáveis	Média \pm DP	Mínimo	Máximo
IRF (%)	78.99 \pm 10.74	57.98	100.95
CR (s)	37.87 \pm 14.99	3.96	61.80
Déficit Bilateral FIE (%)	-2.53 \pm 4.49	-7.53	7.33
Déficit Bilateral Preensão (%)	-2.05 \pm 3.29	-7.58	3.80
FIE Bilateral (kg)	107.53 \pm 21.91	68.40	139.20
FIE Unilateral (Esquerda, kg)	55.13 \pm 12.27	35.00	73.90
FIE Unilateral (Direita, kg)	56.95 \pm 11.90	33.00	73.90
FIE Bilateral relativa (%)	158.33 \pm 32.15	102.99	205.11
FIE Unilateral relativa (Esquerda, %)	79.84 \pm 16.12	53.85	105.35
FIE Unilateral relativa (Direita, %)	82.32 \pm 14.93	57.54	104.46
Preensão Bilateral (kg)	93.60 \pm 20.55	55.00	137.00
Preensão Unilateral (Esquerda, %)	47.33 \pm 11.08	30.00	72.00
Preensão Unilateral (Direita, %)	48.27 \pm 10.88	26.00	73.00

FIE = Força isométrica específica; IRF = Índice de resistência a fadiga; CR = Capacidade de resistência; DP = Desvio padrão.

Tabela 3: Resultado do teste t pareado de Student.

DBL FIE (%)	DBL Preensão (%)	t	p
-2,53% \pm 4,49%	-2,05% \pm 3,29%	-0.351	0.731

DBL FIE = déficit bilateral do teste de força isométrica específica; DBL Preensão = déficit bilateral do teste de preensão manual.

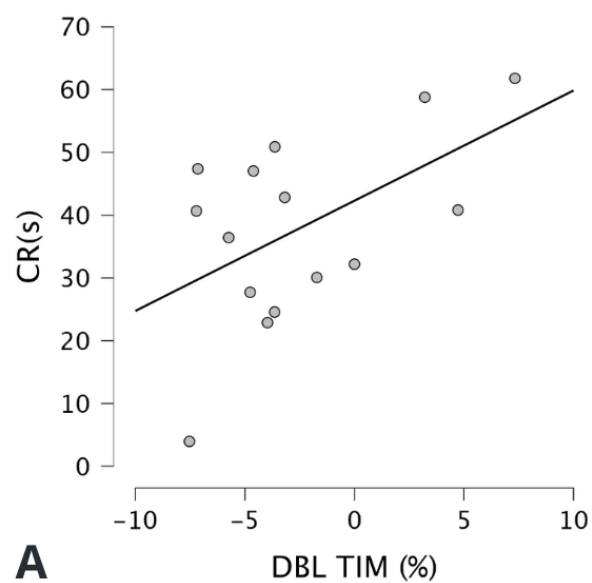
As análises de correlação de Pearson (Tabela 3) indicam associação positiva e significativa entre o DBL do teste específico de FIE e o teste de CR ($r = 0.526$; $p = 0.044$ [magnitude grande], figura 7a), sugerindo que indivíduos com maior tempo de resistência tendem a apresentar maior déficit bilateral no teste de força máxima. Por outro lado, não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre o DBL do teste de FIE e o IRF ($r = 0.258$; $p = 0.354$ [magnitude pequena], figura 7b), nem entre o teste de CR e o IRF ($r = 0.240$; $p = 0.389$ [magnitude pequena], figura 9). Em relação ao resultado do teste de FIE bilateral, quando relativizado à massa corporal, observou-se correlação positiva e significativa com o teste de CR ($r = 0.919$; $p < 0.001$ [magnitude quase perfeita], figura 8a), indicando que maiores níveis de força relativa à massa corporal estão associados a maior tempo de resistência. No entanto, não foi encontrada correlação significativa entre a força relativa e o IRF ($r = 0.098$; $p = 0.728$ [magnitude trivial], figura 8b).

Tabela 4: Correlação entre o déficit bilateral do teste de força isométrica específica (FIE) e a FIE bilateral relativa à massa corporal, em relação aos testes de desempenho específicos da escalada.

Variáveis	CR (s)	IRF (%)
FIE Déficit Bilateral (%)	0.526*	0.258
FIE Bilateral relativa (%)	0.919*	0.098

FIE = Força isométrica específica; CR = Capacidade de resistência; IRF = Índice de resistência a fadiga. * $p < 0.05$.

DBL TIM (%) vs. CR(s)



DBL TIM (%) vs. IRF(%)

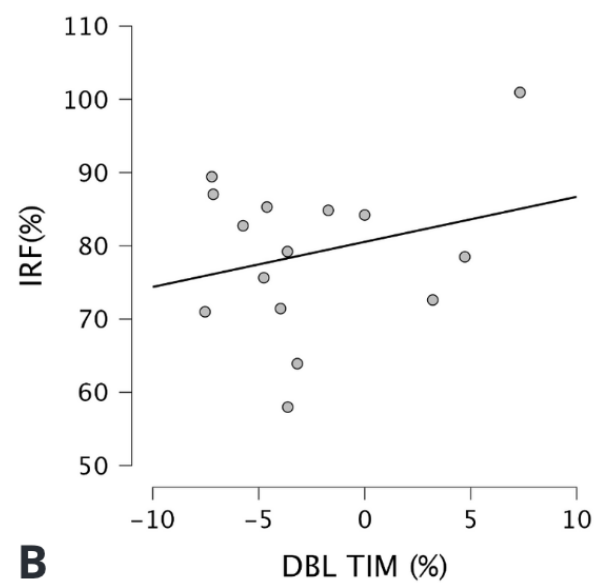
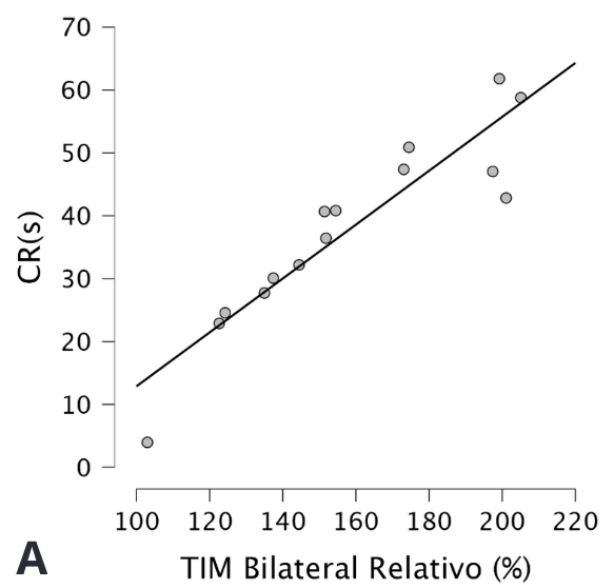


Figura 8: Gráfico de dispersão do DBL FIE vs. CR (a) e do DBL FIE vs. IRF.

TIM Bilateral Relativo (%) vs. CR(s)



TIM Bilateral Relativo (%) vs. IRF(%)

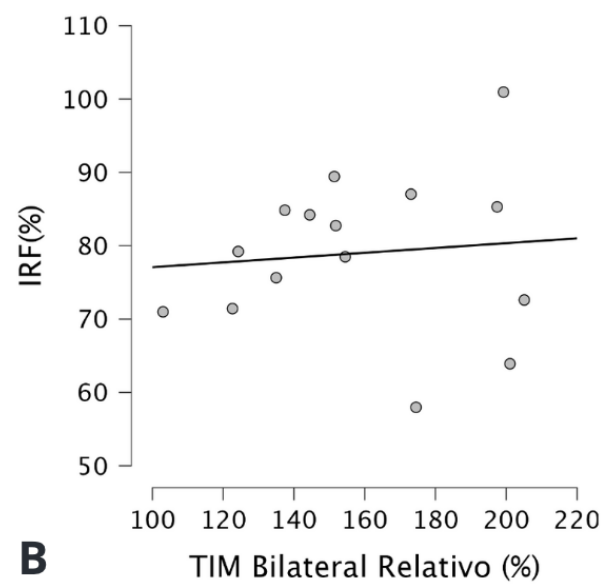


Figura 9: Gráfico de dispersão do FIE Bilateral Relativo vs. CR (a) e FIE Bilateral Relativo vs. IRF (b).

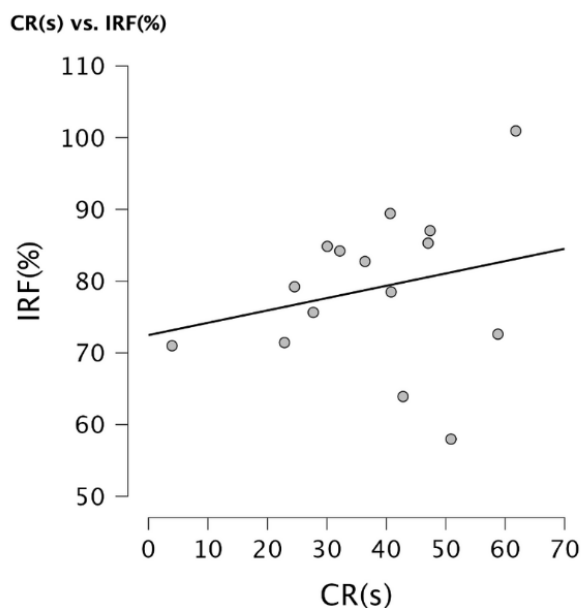


Figura 10: Gráfico de dispersão do CR vs. IRF.

6. DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi investigar a existência do déficit bilateral (DBL) em escaladores recreativos e verificar sua relação com variáveis de desempenho. Os resultados mostraram DBL médio de $-2,53 \pm 4,49\%$ no teste de força isométrica específica (FIE) e de $-2,05 \pm 3,29\%$ na preensão manual, sem diferenças significativas entre os métodos. Esses achados indicam que o teste específico de FIE é uma ferramenta válida para a mensuração do DBL nessa população, apresentando valores inferiores aos descritos em outras modalidades esportivas. Por exemplo, Turnes *et al.* (2022) observaram DBL de $-4,5 \pm 7,1\%$ em judocas, enquanto Pleša, Kozinc e Šarabon (2022) relataram déficits de -20% a -31% em saltos com contramovimento de atletas de voleibol. Esses resultados reforçam a ideia de que a magnitude do DBL varia conforme as demandas neuromusculares da modalidade.

O DBL tem origem predominantemente neural e está associado a mecanismos como inibição inter-hemisférica e menor recrutamento de unidades motoras em contrações bilaterais (Howard & Enoka, 1991; Škarabot *et al.*, 2016). Apesar de geralmente estar relacionado a redução de desempenho em tarefas de força máxima, o DBL apresenta plasticidade e pode ser atenuado ou revertido em facilitação bilateral

de acordo com a especificidade da modalidade. Evidências recentes sustentam essa variabilidade: Kons *et al.* (2023) observaram DBL significativo em parâmetros de potência e salto em judocas, correlacionados ao desempenho no Special Judô Fitness Test; Shu *et al.* (2025) identificaram déficits de $-11,8 \pm 6,7\%$ em jogadores de tênis, associados positivamente à velocidade e agilidade; e Kozinc e Šarabon (2024) reportaram correlação entre DBL em saltos e mudanças de direção em atletas de basquete e tênis. Em conjunto, esses achados sugerem que, em esportes unilaterais, o DBL pode assumir caráter adaptativo, enquanto em esportes bilaterais tende a ser menor (Železníc *et al.*, 2024).

A hipótese inicial de que escaladores apresentariam baixo DBL sem associação significativa com desempenho foi parcialmente refutada. Apesar dos valores reduzidos, foi identificada correlação fraca, porém significativa, entre DBL e desempenho no teste de capacidade de resistência, indicando que a escalada não pode ser considerada estritamente bilateral. De fato, a imprevisibilidade das vias e *boulders*, tanto em contextos recreativos quanto competitivos, exige a utilização de ambos os membros em diferentes padrões de esforço, o que inclui demandas unilaterais ocasionais. Essa característica reforça a importância de programas de treinamento que incorporem tanto estímulos bilaterais — por meio de equipamentos como *fingerboards* e *campus boards* — quanto estímulos unilaterais, para minimizar possíveis desequilíbrios.

Por outro lado, não foi encontrada associação significativa entre DBL e o índice de resistência à fadiga (IRF), sugerindo que a fadiga localizada dos flexores dos dedos pode não estar diretamente relacionada ao DBL. Cabe destacar que o protocolo utilizado teve duração de apenas 30 s, resultando em redução média de ~21% da força máxima — valores inferiores aos reportados em outros estudos com protocolos semelhantes (Michailov *et al.*, 2018). É possível que protocolos mais longos ou mais exigentes sejam mais sensíveis para detectar eventuais associações entre DBL e fadiga. Portanto, novos testes de resistência a fadiga necessitam ser desenvolvidos e validados, assim como a relação entre DBL e fadiga, em escaladores, deve ser melhor investigada em futuros estudos.

Outro achado importante foi a forte associação entre a força bilateral relativa à massa corporal e a capacidade de resistência (CR), confirmando a força relativa como preditor fundamental da performance na escalada (Watts, 2004; López-Rivera &

González-Badillo, 2012). Além disso, os testes de FIE apresentaram excelente confiabilidade ($ICC > 0,93$; $ET \leq 4,36$ kg), corroborando estudos prévios sobre a validade de protocolos que utilizam *fingerboards* com células de carga (Baláš *et al.*, 2014; Labott *et al.*, 2022), o que confere robustez metodológica aos resultados. Embora tradicionalmente interpretado como limitação de desempenho, o DBL pode também refletir adaptação positiva. Déficits de pequena magnitude podem indicar maior eficiência neural em ações bilaterais, refletindo uma distribuição mais equilibrada da ativação motora e menor custo energético. Essa economia favorece a manutenção da força em esforços intermitentes e contribui para melhor controle motor, fundamental para estabilizar o corpo e ajustar a aplicação de força dos braços em posições técnicas da escalada. Além disso, o DBL pode funcionar como um mecanismo adaptativo, permitindo alternância eficiente de esforço entre os membros superiores. Como a escalada raramente exige força máxima simultânea, um DBL moderado pode representar uma estratégia que otimiza a distribuição da carga, reduz a fadiga local e aumenta a sustentabilidade do movimento ao longo da escalada.

Entre as limitações do estudo destacam-se o reduzido tamanho da amostra ($n = 15$), composta apenas por escaladores recreativos, e o caráter laboratorial das avaliações, que não reproduz integralmente as demandas complexas da escalada em rocha ou competições. Futuras investigações devem incluir amostras maiores e mais diversificadas, além de explorar intervenções de treinamento voltadas à modulação do DBL e sua relação com o desempenho em contextos reais. Em síntese, os resultados sugerem que escaladores recreativos apresentam DBL de baixa magnitude, mas ainda relacionado ao desempenho em tarefas de resistência. A força relativa à massa corporal emerge como preditor mais consistente da performance, reforçando sua importância em estratégias de treinamento. O DBL, por sua vez, deve ser interpretado não apenas como limitação, mas também como possível adaptação funcional às demandas específicas da escalada.

7. CONCLUSÃO

Em conclusão, o déficit bilateral (DBL) foi identificado em escaladores recreativos tanto no teste de força isométrica específica (FIE) quanto na preensão

manual, apresentando valores reduzidos com baixa variabilidade em comparação a outras modalidades esportivas. Apesar da baixa magnitude, o DBL mostrou correlação negativa fraca, mas significativa, com o desempenho, sugerindo que a escalada não pode ser classificada como atividade estritamente bilateral, uma vez que também envolve demandas unilaterais. Além disso, a força bilateral relativa à massa corporal apresentou forte associação com a capacidade de resistência, confirmando-se como um preditor robusto de performance. A análise de confiabilidade indicou excelente reprodutibilidade para os testes de FIE ($ICC > 0,93$), validando o protocolo com *fingerboard* e célula de carga. Em conjunto, esses achados sugerem que a avaliação do DBL pode ser utilizada como ferramenta complementar de monitoramento da performance em escaladores recreativos. Estudos futuros devem incluir diferentes níveis de praticantes e explorar intervenções de treinamento voltadas à modulação do DBL e sua relação direta com o desempenho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSMANN, M.; STEINMETZ, G.; SCHILLING, A. F.; SAUL, D. Comparison of grip strength in recreational climbers and non-climbing athletes—A cross-sectional study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 1, p. 129, 2020.

BAILEY, C. A.; SATO, K.; BURNETT, A.; STONE, M. H. Force-production asymmetry in male and female athletes of differing strength levels. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 10, n. 4, p. 504–508, 2015.

BALÁŠ, J.; MRŠKOČ, J.; PANÁČKOVÁ, M.; DRAPER, N. The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, v. 14, n. 2, p. 345–354, 2014.

BALÁŠ, J.; PECHA, O.; MARTIN, A. J.; COCHRANE, D. Hand-arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, v. 12, n. 1, p. 16–25, jan. 2012.

BALÁŠ, J.; VOMÁČKO, L.; STREJCOVÁ, B. Anthropometric and strength characteristics in young and adult elite climbers. *Acta Universitatis Carolinae Kinanthropologica*, v. 47, n. 1, p. 26–33, 2011.

BERTUZZI, R. C. M.; FRANCHINI, E.; TAKITO, M. Y.; KISS, M. A. P. D. M.; LIMA, A. F. M. Características antropométricas e desempenho motor de escaladores esportivos brasileiros de elite e intermediários. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v. 9, n. 1, p. 9–12, 2001.

BILLAT, V.; PALLEJA, P.; CHARLAIX, T.; RIZZARDO, P.; JANEL, N. Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, v. 35, p. 20–24, 1995.

BOLLEN, S. R.; GUNSON, C. K. Hand injuries in competition climbers. *British Journal of Sports Medicine*, v. 24, n. 1, p. 16–18, 1990.

BOURNE, R.; HALAKI, M.; VANWANSEEELE, B.; CLARKE, J. Measuring lifting forces in rock climbing: effect of hold size and fingertip structure. *Journal of Applied Biomechanics*, v. 27, n. 1, p. 40–46, 2011.

ČIKOTOVÁ, E. **Functional upper-limb bilateral asymmetry in intermediate and advanced climbers**. 2025. Bachelor thesis (Physical Education and Sport) — Charles University, Faculty of Physical Education and Sport, Praga, 2025. Disponível em: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/200536/130428682.pdf>.

CORNWELL, A.; KHODIGUIAN, N.; YOO, E. J. Relevance of hand dominance to the bilateral deficit phenomenon. *European Journal of Applied Physiology*, v. 112, n. 12, p. 4163–4172, 2012.

DONATH, L.; SÁNCHEZ-MORENO, C. C.; RINGHOFER, C.; MÜLLER, E.; FAUDE, O. Work-relief ratios and imbalances of load application in sport climbing: Another link to overuse-induced injuries? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, v. 23, n. 4, p. 406–414, ago. 2013.

FOLEY, R. C. A. et al. A comprehensive scoping review and meta-analysis of upper limb strength asymmetry. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, p. 4636, 2025.

GILES, D.; HARTLEY, C.; MASLEN, H.; HADLEY, J.; TAYLOR, N.; TORR, O.; CHIDLEY, J.; RANDALL, T.; FRYER, S. An all-out test to determine finger flexor critical force in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 16, n. 7, p. 942–949, 2021.

GILES, D.; RHODES, J.; TAUNTON, J.; MITCHELL, J.; RANDALL, T. Differences in oxygenation kinetics between the dominant and nondominant flexor digitorum profundus in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 12, n. 1, p. 137–139, 2017.

GÖB, S.; MATROS, P.; SCHÖBERL, M.; GÖTZ, T. I. Effect of the grip position on maximal fingertip force during a rock climbing gripping exercise. *SportRxiv*, preprint, 25 nov. 2021.

GRANT, S.; SHIELDS, C.; FITZPATRICK, V.; LOH, W. M.; WHITTAKER, A.; WATT, I.; WILSON, J. Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *Journal of Sports Sciences*, v. 21, n. 8, p. 621–630, ago. 2003.

HARTLEY, C.; TAYLOR, N.; CHIDLEY, J.; BALÁŠ, J.; GILES, D. Handedness, bilateral, and interdigit strength asymmetries in male climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 18, n. 12, p. 1390–1397, 2023.

HOPKINS, W. G. A scale of magnitudes for effect statistics. In: **A new view of statistics**. 2002. Disponível em: <https://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>.

HOWARD, J. D.; ENOKA, R. M. Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *Journal of Applied Physiology*, v. 70, n. 1, p. 306–316, 1991.

INTERNATIONAL FEDERATION OF SPORT CLIMBING (IFSC). **Curitiba, Brazil to host first-ever IFSC World Cup in South America in 2025**. 23 set. 2024. Disponível em: <https://www.ifsc-climbing.org/news/curitiba-brazil-to-host-first-ever-ifsc-world-cup-in-south-america-in-2025>.

JAKOBI, J. M.; CHILLIBECK, P. D. Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 26, n. 1, p. 12–33, 2001.

KONS, R. L. et al. Bilateral deficit in the countermovement jump and its associations with judo-specific performance. *Research in Sports Medicine*, v. 31, n. 5, p. 638–649, 2023.

KOO, T. K.; LI, M. Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, v. 15, n. 2, p. 155–163, 2016.

KOUKOUBIS, T. D.; KAPETANOS, G. C.; MALLIARAS, P.; PROVATIDIS, P.; KOUKOUBIS, I. An electromyographic study of arm muscles during climbing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, v. 3, n. 2, p. 121–124, 1995.

KOZINC, Ž.; ŠARABON, N. Bilateral deficit in countermovement jump and its association with change of direction performance in basketball and tennis players. *Sports Biomechanics*, v. 23, n. 10, p. 1370–1383, 2021.

LABOTT, B. K.; HELD, S.; WIEDENMANN, T.; RAPPELT, L.; WICKER, P.; DONATH, L. Validity and reliability of a commercial force sensor for the measurement of upper body strength in sport climbing. *Frontiers in Sports and Active Living*, v. 4, art. 838358, 22 jul. 2022.

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, out. 2016.

LÓPEZ-RIVERA, E.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. The effects of two maximum grip strength training methods using the same effort duration and different edge depth on grip endurance in elite climbers. *Sports Technology*, v. 5, n. 3–4, p. 100–110, 2012.

MACKENZIE, R.; MONAGHAN, L.; MASSON, R. A.; WERNER, A. K.; CAPREZ, T. S.; JOHNSTON, L.; KEMI, O. J. Physical and physiological determinants of rock climbing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 15, n. 2, p. 168–179, fev. 2020.

MACLEOD, D.; SUTHERLAND, D. L.; BUNTIN, L.; WHITTAKER, A.; AITCHISON, T.; WATT, I.; GRANT, S. Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences*, v. 25, n. 12, p. 1433–1443, out. 2007.

MERMIER, C. M.; JANOT, J. M.; PARKER, D. L.; SWAN, J. G. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *British Journal of Sports Medicine*, v. 34, n. 5, p. 359–365, 2000.

MICHAILOV, M. L.; BALÁŠ, J.; TANEV, S. K.; ANDONOV, H. S.; KODEJŠKA, J.; BROWN, L. Reliability and validity of finger strength and endurance measurements in rock climbing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, v. 89, n. 2, p. 246–254, 2018.

NORTON, K. I. Standards for anthropometry assessment. In: ESTON, R.; REILLY, T. (org.). **Kinanthropometry and Exercise Physiology**. 4. ed. London: Routledge, 2018. p. 68–137.

ODA, S.; MORITANI, T. Maximal isometric strength and neural activity of the elbow flexors and extensors during bilateral and unilateral contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 72, n. 3, p. 208–212, 1995.

OZIMEK, M.; STASZKIEWICZ, R.; ROKOWSKI, R.; STANULA, A.; PIEKARZ, Z.; WIELKOSZYŃSKI, T. The role of physique, strength and endurance in the achievements of elite climbers. *PLoS ONE*, v. 12, n. 8, e0182026, 2017.

PLEŠA, J.; KOZINC, Ž.; ŠARABON, N. Bilateral deficit in countermovement jump and its influence on linear sprinting, jumping, and change of direction ability in volleyball players. *Frontiers in Physiology*, v. 13, art. 768906, 2022.

QUAINE, F.; VIGOUROUX, F. Maximal resultant four-fingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport-climbing finger grips. *International Journal of Sports Medicine*, v. 24, n. 8, p. 634–637, 2003.

ROKOWSKI, R.; STASZKIEWICZ, R.; STANULA, A.; OZIMEK, M.; CHMIELEWSKI, Z.; BOCHEŃSKI, M. Muscle strength and endurance in high-level rock climbers. *Sports Biomechanics*, v. 23, n. 8, p. 1057–1072, 2024.

SAUL, D.; STEINMETZ, G.; SCHOLLHORN, W.; ELGENDI, M.; YARON, M. Determinants for success in climbing: a systematic review. *Journal of Exercise Science & Fitness*, v. 17, n. 3, p. 91–100, jul. 2019.

SCHWEIZER, A. Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of Biomechanics*, v. 34, n. 2, p. 217–223, 2001.

SHU, L.; ZHANG, J.; CHEN, T.; DONG, H.; WANG, Z.; CHEN, J.; HU, M.; LIAO, J. Associations of bilateral deficit during jumping with physical performance in tennis players. *Journal of Human Kinetics*, v. 99, p. 13–22, 2025.

ŠKARABOT, J.; CRONIN, N.; STROJNIK, V.; AVELA, J. Bilateral deficit in maximal force production. *European Journal of Applied Physiology*, v. 116, n. 11–12, p. 2057–2084, dez. 2016.

SÖDERQVIST, K.; IDENTEG, F.; ZIMMERMAN, J.; HAMRIN SENORSKI, E.; SANSONE, M.; HEDELIN, H. Validity and reliability of finger-strength testing in 6 common grip techniques for the assessment of bouldering ability in men. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 19, n. 3, p. 290–298, 2024.

TANIGUCHI, Y. Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 78, n. 3, p. 226–230, 1998.

TURNES, T.; SILVA, B. A.; KONS, R. L.; DETANICO, D. Is bilateral deficit in handgrip strength associated with performance in specific judo tasks? *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 36, n. 2, p. 455–460, fev. 2022.

WATTS, P. B. Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, v. 91, n. 4, p. 361–372, abr. 2004.

ŽELEZNIK, P.; SLAK, V.; KOZINC, Ž.; ŠARABON, N. The association between bilateral deficit and athletic performance: a brief review. *Sports (Basel)*, v. 10, n. 8, p. 112, 27 jul. 2022.

ZHANG, W.; CHEN, X.; XU, K.; XIE, H.; LI, D.; DING, S.; SUN, J. Effect of unilateral training and bilateral training on physical performance: a meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, v. 14, e1128250, 2023.