



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Raynier Montoro Bombú

Avaliação e controlo da carga no treino pliométrico  
em atletas de velocidade e saltos.

Tese no âmbito Doutoramento em Ciências do Desporto: Ramo Treino Desportivo, orientada pelos professores Doutor Luis Manuel Pinto Lopes Rama e Doutor Amândio Manuel Cupido Santos e apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra.

Julho de 2023





UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO DESPORTO E  
EDUCAÇÃO FÍSICA

Tese de Doutoramento em Ciências do Desporto: Ramo Treino Desportivo, da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra.

**Título:** Avaliação e controlo da carga no treino pliométrico em atletas de velocidade e saltos.

**Doutorado:** Lic. Raynier Montoro Bombú, Msc.

**Orientadores:** PhD. Luis Manuel Pinto Lopes Rama  
PhD. Amândio Manuel Cupido Santos

**Estudante:** 2020137491

**COIMBRA, 2023**

Montoro, R. (2023). Avaliação e controlo da carga no treino pliométrico em atletas de velocidade e saltos. Tese para o grau de Doutor em Ciências do Desporto. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal



*“We cannot expect things to change if we keep doing the same things.”*

*“The crisis is the greatest blessing for people and nations because the crisis brings progress. Creativity comes from anxiety as the day comes from the dark night. In the crisis that is inventiveness, discoveries, and great strategies. Those who overcome the crisis, overcome themselves, without being overcome.*

*Who gives the crisis its failures and difficulties, violent his own talent and gives more value to the solutions to the problems. The real crisis is the crisis of incompetence. ‘Inconvenience of people and nations is the laziness in seeking solutions and ways out.*

*Without crisis there are no challenges, without challenges life is a routine, a slow agony. Without crisis there is no merit.*

*In crisis emerges the best of each, because without crisis all winds are only mild breezes. Talk of crisis means increasing it and be silent in the crisis is to exalt conformism. Instead, we work hard. Let us stop, once and for all with the only dangerous crisis, which is the tragedy of not being willing to overcome.”*

A handwritten signature in black ink, reading "A. Einstein". The signature is written in a cursive, flowing style with a large initial 'A'.

1879-1975

## *Dedicação*

---

*À:*

*Os meus pais, que tanto lutaram pela minha formação e educação.*

*A minha avó Milagro, que tanto se sacrificou para que eu pudesse alcançar este objetivo.*

*O meu tio Aldenis Bombú, a espinha dorsal da minha formação social.*

*Os meus irmãos Richard Montoro e Karla Montoro.*

*Em especial à minha mulher e ao meu filho, por todo o amor, apoio e compreensão que me deram ao longo deste processo de formação.*

## *Agradecimentos*

---

À Universidade de Coimbra, que muito tem justamente contribuído para a minha formação científica e profissional. Aos orientadores deste projeto de tese. Em particular, ao Professor **Luís Rama**, que me deu inúmeros conselhos dentro e fora do contexto científico e académico. Graças a ele, conheci uma nova forma de fazer investigação; ele foi um fator fundamental neste processo de formação doutoral. Obrigado, professor, pela sua paciência, lealdade e amizade.

Ao meu coorientador, Professor **Amândio Santos**, por acompanhar-me na realização do meu trabalho de doutoramento e pela sua constante motivação para a conclusão desta tese.

Gostaria também de agradecer ao **Professor Hugo Sarmento**, que guiou os meus passos em todas as etapas do meu doutoramento, acompanhou o meu crescimento científico, profissional e social. Ele é umas das pessoas a quem não tenho palavras para agradecer o suficiente.

A todos os professores e investigadores envolvidos neste projeto de tese: **Marije T Elferink-Gemser; Paulo Miranda-Oliveira, Maria João Valamatos, Filipa João e Tom J.W. Buurke**. Todos os seus contributos foram importantes para a consolidação e conclusão deste trabalho.

Ao corpo docente da Universidade de Coimbra, em especial ao **Vasco Vaz**, por acolher-me no seu corpo docente e ter-me feito parte da família universitária portuguesa.

Finalmente, um agradecimento especial à minha principal equipa de trabalho, **Merlem Rodríguez e Marlom Montoro**, que fizeram parte de todos os estudos realizados nesta tese. A vossa paciência, dedicação, compreensão e confiança foram fundamentais para chegarmos até aqui.

**Muito obrigado a todos**



## Resumo

Os critérios para determinar os principais componentes da atividade pliométrica são atualmente apresentados como um aspeto que requer um maior aprofundamento em aspetos metodológicos. Tendo em consideração a falta de consenso na comunidade científica, parece justificado fornecer indicações metodológicas e novas referências para a determinação do volume e intensidade do treino pliométrico. O objetivo da tese é desenvolver um procedimento baseado na força reativa para o controlo do volume e intensidade do salto em profundidade *Drop Jump* (DJ) destinado a atletas especialistas de velocidade e saltos. São apresentados cinco estudos: uma revisão sistemática, um estudo de validação, dois estudos comparativos e um estudo experimental. Para o estudo de revisão, foram utilizadas as orientações do método do prisma de 2020. Dum total de 31495 estudos, 288 foram elegíveis para revisão de texto completo. Duzentos e sessenta e seis estudos foram excluídos com base nos seguintes critérios: participantes (71), intervenção (47), comparação (36), resultados (14) e desenho do estudo (98). Assim, um total de (22) foi incluído na revisão para análise crítica. Nos estudos de validação foi utilizada uma caixa de 0.30m de altura de queda (AQ) e cada atleta realizou 3 tentativas de DJ. A estratégia de sincronização permitiu gravações de dados simultâneas para cada tentativa de salto tanto na plataforma de força como nos dispositivos. Os coeficientes de correlação intraclasse encontrados demonstraram uma fiabilidade boa a excelente, mas com uma grande amplitude de intervalos de confiança (IC) para o tempo de contacto com o solo (TCS) ( $r = 0,825$ , IC = 0,291-0,930), tempo de voo ( $r = 0,928$ , IC = 0,756-0,958), altura do salto ( $r = 0,921$ , IC = 0,773-0,964), e índice de força reativa ( $r = 0,772$ , IC = 0,151-0,907). O teste de Bland-Altman mostrou que o dispositivo sobrestimava os TCS. Para os estudos de análise comparativa, foram utilizados durante uma única sessão, ensaios randomizados de medidas repetidas. As tentativas de DJ e DJ horizontal a 0.20m AQ foram efetuadas com a plataforma de força a uma distância de 0.10m da caixa de saltos. Para as tentativas entre 0.30 e 0.40m, a plataforma de força estava a 0.15m da caixa de saltos, enquanto as tentativas entre 0.50 e 0.60m estavam a 0.20m. Os resultados mostraram que entre atletas de 100m e 400m não se observaram diferenças significativas entre grupos para nenhuma das variáveis de força reativa analisadas ( $p > .05$ ), enquanto as comparações entre saltos horizontais e verticais mostraram diferenças

significativamente maiores no DJ sobre o DJ Horizontal ( $p < .05$ ). Para o estudo confirmatório experimental foram recrutados um total de 29 atletas. Os atletas foram divididos num grupo (G-RT1 = 9) que iniciou o experimento com treino pliométrico baseado no índice integral de força reativa (IIFR), num grupo (G-PT2 = 10) que iniciou com treino pliométrico tradicional, e num grupo de controlo (G-CT3 = 8) que manteve o seu treino sem intervenção pliométrica específica. O experimento teve a duração de 19 semanas com os grupos cruzando após a 8ª semana. Encontramos uma interação significativa na relação grupo-tempo nos testes de salto em comprimento ( $p \leq .001$ ), 60 m sprint ( $p \leq .001$ ), salto triplo ( $p \leq .001$ ) e IIFR ( $p \leq .001$ ). A análise da covariância revelou que na interação entre grupos não foram encontradas diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ). Conclui-se que o desenvolvimento dum procedimento baseado no IIFR para o controlo do volume e intensidade do salto em profundidade apresenta melhores resultados do que o programa tradicional e este resultado baseia-se na magnitude dos efeitos. O treino baseado no IIFR permite uma melhor individualização, enfatiza a manutenção de alta intensidade e garante melhores resultados com menos trabalho acumulado.

**Palavras-chave:** Força Reativa, Salto Horizontal, Salto Vertical

## Abstract

The criteria for determining the main components of plyometric activity are currently presented as an aspect requiring further scientific study. Considering the lack of consensus, providing methodological indications and useful metrics for determining the volume and intensity of plyometrics training seems justified. The thesis aims to develop a procedure based on reactive force for controlling the volume and intensity of the Drop Jump (DJ) depth jump for specialist jumpers and speed athletes. Five studies are presented: a systematic review, a validation study, and two comparative and experimental studies. For the review study, the guidelines of the 2020 prism method were used. Of a total of 31495 studies, 288 were eligible for full-text review. Two hundred and sixty-six studies were excluded based on the following criteria: participants (71), intervention (47), comparison (36), results (14), and study design (98). Thus, a total of (22) were included in the review for critical analysis. In the validation studies, a box with a drop height of 0.30m (AQ) was used, and each athlete made 3 DJ attempts. The synchronization strategy allowed simultaneous data recordings for each jump attempt on both the force platform and the devices. We found that the intraclass correlation coefficients showed good to excellent reliability, but with a wide range of confidence intervals (CI) for ground contact time (TCS) ( $r = 0.825$ ,  $CI = 0.291-0.930$ ), flight time ( $r = 0.928$ ,  $CI = 0.756-0.958$ ), jump height ( $r = 0.921$ ,  $CI = 0.773-0.964$ ), and reactive force index ( $r = 0.772$ ,  $CI = 0.151-0.907$ ). The Bland-Altman test showed that the device overestimated TCS. Repeated measures of randomized trials were used during a single session for the comparative analysis studies. The DJ and horizontal DJ trials at 0.20m AQ were performed with the force platform at a distance of 0.10m from the jump box. For the trials between 0.30 and 0.40m, the force platform was 0.15m from the jump box, while the trials between 0.50 and 0.60m were at 0.20m. The results showed that there were no significant differences among sprinters (100 and 400 m) for any of the reactive strength variables analyzed ( $p > .05$ ). In contrast, comparisons between horizontal and vertical jumps showed significantly greater differences in DJ over horizontal DJ ( $p < .05$ ). The experimental confirmatory study lasted 19 weeks with two groups and crossover after the eighth week. The athletes were divided into a group (G-RT1 = 9) that started the experiment with Integral reactive strength index (IIFR), a group (G-PT2 = 10) that started with traditional

plyometric training, and a control group (G-CT3 = 8) that maintained their training without specific plyometric intervention. We found a significant interaction in the group-time relationship in the long jump ( $p \leq .001$ ), 60m sprint ( $p \leq .001$ ), triple jump ( $p \leq .001$ ), and IIFR ( $p \leq .001$ ) tests. The analysis of covariance revealed that no significant differences were reported in the group-group interaction ( $p \geq 0.05$ ). It is concluded that the development of a procedure based on the IIFR for controlling the volume and intensity of the depth jump shows better results than the traditional program, and this result is based on the effect sizes. IIFR-based training improves group individualization, emphasizes high-intensity maintenance, and guarantees better results with less accumulated work.

**Keywords:** Reactive Strength, Horizontal Jump, Vertical Jump

## Resumen

Los criterios para determinar los principales componentes de la actividad pliométrica se presentan actualmente como un aspecto que requiere mayor exploración. Teniendo en cuenta la falta de consenso en la comunidad científica, parece justificado proporcionar indicaciones metodológicas y nuevas referencias para determinar el volumen y la intensidad del entrenamiento pliométrico. El objetivo de esta tesis fue desarrollar un procedimiento basado en la fuerza reactiva para controlar el volumen y la intensidad del salto en profundidad (DJ) en atletas de salto y velocidad. Se presentan cinco estudios: una revisión sistemática, un estudio de validación, dos estudios comparativos y un estudio experimental. Para el estudio de revisión, se utilizaron las directrices del método del prisma 2020. De un total de 31495 estudios, 288 fueron elegibles para la revisión de texto completo. Se excluyeron 266 estudios en función de los siguientes criterios: participantes (71), intervención (47), comparación (36), resultados (14) y diseño del estudio (98). Así, quedó incluido en la revisión final un total de (22) estudios. Para los estudios de validación, se utilizó una caja con una altura de caída de 0,30 m (AQ) y cada atleta realizó 3 intentos de DJ. La estrategia de sincronización permitió el registro simultáneo de datos de cada intento de DJ tanto en la plataforma de fuerza como en los dispositivos. Se encontró que los coeficientes de correlación intraclase mostraban una fiabilidad de buena a excelente, pero con una amplia variación de intervalos de confianza (IC) para el tiempo de contacto con el suelo (TCS) ( $r = 0,825$ , IC = 0,291-0,930), tiempo de vuelo ( $r = 0,928$ , IC = 0,756-0,958), altura de salto ( $r = 0,921$ , IC = 0,773-0,964) e índice de fuerza reactiva ( $r = 0,772$ , IC = 0,151-0,907). La prueba de Bland-Altman mostró que los dispositivos también sobrestimaban el TCS. Para los estudios de análisis comparativo, se utilizaron ensayos aleatorios de medidas repetidas durante una única sesión. Las tentativas de DJ y DJ horizontal desde los 0,20m AQ se realizaron con la plataforma de fuerza a una distancia de 0,10m de la caja de salto. Para las tentativas entre 0,30 y 0,40m, la plataforma de fuerza estaba a 0,15m de la caja de salto, mientras que entre 0,50 y 0,60m estaban a 0,20m. Los resultados mostraron que entre los velocistas no había diferencias significativas entre grupos (100 e 400 m) para ninguna de las variables de fuerza reactiva ( $p > .05$ ) analizadas, mientras que las comparaciones entre saltos horizontales y verticales mostraron diferencias significativamente mayores en el DJ respecto al Drop Jump Horizontal ( $p < .05$ ). El estudio experimental confirmatorio duró 19 semanas con dos

grupos y cruce después de ocho semanas. Los atletas se dividieron en un grupo (G-RT1 = 9) que comenzó el experimento con entrenamiento pliométrico basado en el índice integral de fuerza reactiva (IIFR), un grupo (G-PT2 = 10) que comenzó con entrenamiento pliométrico tradicional, y un grupo control (G-CT3 = 8) que mantuvo su entrenamiento sin intervención pliométrica específica. Se encontró una interacción significativa en la relación grupo-tiempo en las pruebas de salto de longitud ( $p \leq .001$ ), sprint de 60 m ( $p \leq .001$ ), triple salto ( $p \leq .001$ ) y IIFR ( $p \leq .001$ ). El análisis de covarianza reveló que en la interacción grupo-grupo no se registraron diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ). Se puede concluir que el desarrollo de un procedimiento basado en el IIFR para controlar el volumen y la intensidad del salto en profundidad muestra mejores resultados que el programa tradicional, y este resultado se basa en los tamaños del efecto. El entrenamiento basado en el IIFR mejora la individualización del grupo, hace hincapié en el mantenimiento de la alta intensidad y garantiza mejores resultados con menos trabajo acumulado.

**Palabras claves:** Fuerza reactiva, salto horizontal, salto vertical

## Esta tese inclui a seguinte produção científica

---

### Publicações de artigos

1. Montoro-Bombú R, Sarmiento H, Buzzichelli C, Moura NA, Gonzales Badillo JJ, Santos A and Rama L (2023), Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Front. Physiol.* 14:1181781. DOI: 10.3389/fphys.2023.1181781
2. Montoro-Bombú, R., de la Paz Arencibia, L., Buzzichelli, C., Miranda-Oliveira, P., Fernandes, O., Santos, A., & Rama, L. (2022). The Validity of the Push Band 2.0 on the Reactive Strength Index Assessment in Drop Jump. *Sensors*, 22(13), 4724. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/13/4724>
3. Montoro-Bombu, R., Field, A., Santos, A. C., & Rama, L. (2022). Validity and reliability of the Output sport device for assessing drop jump performance. *Front Bioeng Biotechnol*, 10, 1015526. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1015526>

### Capítulo de libro

The kinetic differences between vertical and horizontal plyometric exercises in youth football players.

## Comunicações orais em seminários e congressos internacionais

---

1. Congresso europeu de Ciências do Desporto. Spatiotemporal differences associated with vertical and horizontal jumps in elite athletes. 4-7 de julho de 2023. Paris, França.
2. 10º Congresso da Sociedade Portuguesa de Biomecânica. Características cinéticas do Drop Jump vertical e horizontal em saltadores e sprinters de elite. 5 e 6 de maio de 2023. Figueira da Foz. Portugal.
3. XIX congresso de ciências do desporto e educação física dos países de língua portuguesa. Variáveis dinâmicas e cinemáticas do Drop Jump horizontal e vertical. 26, 27 e 28 de janeiro de 2023. Coimbra Portugal.
4. Congresso Internacional de Educação Física e Desporto CEPLADEPORTES 2023. Un nuevo enfoque para la determinación de la intensidad y la intensidad del entrenamiento pliométrico. 15-17 de mayo 2023, Ciudad de México, México.
5. IX Congreso Internacional de Educación Física, Deporte e Recreación y ciencias afines. Incidencia de la pliometría en el entrenamiento deportivo. 5-14 de mayo del 2023 Riobamba, Ecuador.
6. 32º congresso mundial de atletismo. Confederação da América do Norte, América Central e Caraíbas. Considerações científico-metodológicas para o treino de velocidade e força reativa em sprinters de elite. 16 e 17 de dezembro de 2022. EEUU, Online.
7. Congresso mundial de ciências do futebol: Variáveis cinemáticas do Drop Jump em atletas de futebol. 15, 16 e 17 de junho de 2022. Coimbra Portugal.
8. 12<sup>NO</sup> Seminário internacional sobre o treino desportivo: Controlo da carga de treino pliométrico. 20-23 de marzo 2022, Quito, Ecuador

9. Congresso mundial de atividade física universidade de Loja 2022. Paradigmas de intensidade do treino pliométrico. 24-28 de maio de 2022, Loja, Ecuador.
10. Conferência mundial de treinadores de atletismo. CONSUDATLE. Indicações metodológicas para a seleção da intensidade do treinamento pliométrico. Maio de 2022. Online
11. Congresso internacional de Ciência Humanas, Equador 2021. Treino formação pliométrico. Uma nova abordagem à determinação da intensidade. Maio de 2022. Online
12. Seminário de treinadores da Universidade de Coimbra. Modelos contemporâneos do treino desportivo. Junho de 2022. Online
13. Congresso internacional AFIDE 2021. Critérios para a seleção da intensidade do treino pliométrico. Novembro de 2021. Online
14. Congresso internacional de treino desportivo México 2021. Características do treino pliométrico em atletas de alta competição. Junho de 2021. Online

## **Abreviaturas**

---

**AS**– Altura do salto

**AQ**– Altura de queda

**PB2.0**–Acelerômetro Push Band 2.0

**CAE**– Ciclo de alongamento encurtamento

**SEC** – Contramovement Jump

**CR**– Capacidade reativa

**CV**– Coeficiente de variação

**DJ**– Drop Jump

**EMG**– Eletromiografia

**EPM**– Erro padrão da média

**ESE**– Escala subjetiva de esforço

**PF** – Plataforma de força

**FRS**– Força de reação no solo

**FRS<sub>C</sub>**– Força de reação no solo na fase concêntrica

**FRS<sub>E</sub>**– Força de reação no solo na fase excêntrica

**G–CT3**– Grupo de controlo

**G–RT1**– Grupo que iniciou o experimento com PTP baseado no IIFR

**G–RT2**– Grupo que iniciou o experimento com PTP tradicional

**HDJ**– Drop Jump Horizontal

**HDJa**– Eixo ântero–posterior do DJ horizontal

**HDJv**– Eixo vertical do DJ horizontal

**IC**– Impulso concêntrico

**IC**– Intervalo de confiança

**ICI**– Índice de correlação intraclasse

**IE**– Impulso excêntrico

**IFR**– Índice de força reativa

**IHP** – Impulsão horizontal parada

**IIFR**– Índice integral de força reativa

**IMC**– Índice de massa corporal

**LC**– Limite de concordância

**LS** – Limite superior

**LI** – Limite inferior

**$\eta p^2$** – Eta quadrado parcial

**OPT**– Optojump

**P**– Valor de significância

**Pt**– Potencia

**PTP**– Programa de Treino pliométrico

**PTS**– Programa de treino de saltos

**r**– Coeficiente de correlação

**R<sup>2</sup>**– Coeficiente de determinação R–quadrado

**SJ**– Squat Jump

**SP**– Deviação padrão

**SPF**– Salto em profundidade

**TCS**– Tempo de contacto com o solo

**TDF**– Taxa de desenvolvimento da força

**TDFe**– Taxa de decrescimento da força da fase concêntrica.

**TE**– Tamanho do efeito

**TF<sub>C</sub>**– Tempo de fase concêntrica

**TF<sub>E</sub>**– Tempo da fase excêntrica

**TSP**– Triplo salto parado

**TPF<sub>C</sub>**– Tempo até o pico de força concêntrica.

**TV**– Tempo do voo

**UMI**– Unidade movel inercial Output Sport

## **Unidades de medição**

---

**Bits/s**– Bits por segundo

**G**– Gigas

**Graus/ s**– Graus por segundo

**Hz**– Hertz

**m**– Metros

**mA**– Miliampère

**mm**– Milímetros

**ms** – milissegundos

**m/s** – Metros por segundo

**N**– Newton

**W**– Watt

## Índice de conteúdo

<b>I. Preâmbulo.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: Introdução geral e campo de investigação.....</b>	<b>5</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	5
1.2 OBJETIVO GERAL .....	6
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.3 QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO .....	8
1.4 NOVIDADE CIENTÍFICA .....	8
1.5 SIGNIFICÂNCIA TEÓRICA E PRÁTICA .....	8
REFERÊNCIAS CAPÍTULO I .....	9
<b>CAPÍTULO II: Considerações metodológicas para determinar o volume e a intensidade do treino do Drop Jump. Revisão da literatura.....</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	16
2.1.1. PRINCIPAIS CRÍTICAS E OBSERVAÇÕES SOBRE OS PROGRAMAS DE TREINO .....	19
2.1.2 ANÁLISE CRÍTICA DA UTILIZAÇÃO DA ALTURA DE QUEDA COMO FATOR DETERMINANTE PARA O CÁLCULO E PRESCRIÇÃO DA INTENSIDADE PLIOMÉTRICA. ....	23
2.1.3 ANÁLISE GERAL SOBRE A INTENSIDADE .....	25
2.1.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O VOLUME DE TREINO NOS ESTUDOS INCLUÍDOS. ....	30
REFERÊNCIAS CAPÍTULO II .....	32
<b>CAPÍTULO III: Métodos e procedimentos.....</b>	<b>47</b>
3.1 AMOSTRA.....	47
3.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS NO CONTROLO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE.....	48
IMPULSÃO HORIZONTAL PARADA .....	48
3.3 RECOLHA DOS DADOS .....	50
3.4 MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS .....	52
3.5 INSTRUMENTOS .....	52
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	53
REFERÊNCIAS CAPÍTULO III .....	56
<b>CAPÍTULO IV: Principais resultados dos estudos .....</b>	<b>61</b>
4.1 VALIDADE E FIABILIDADE DOS DISPOSITIVOS PUSH BAND 2.0 E OUTPUT SPORT PARA A AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE FORÇA REATIVA DURANTE O SALTO EM PROFUNDIDADE DROP JUMP .....	62
4.1.1 Introdução .....	63
4.1.2 Materiais e métodos.....	65
4.1.2.1 A bordagem experimental do problema.....	65

4.1.2.2 Participantes .....	65
4.1.2.3 Procedimentos.....	66
4.1.2.4 Análise estatística.....	67
4.1.3 Resultados de PB2.0 .....	67
4.1.4 Resultados de IMU .....	70
4.1.5 Discussão.....	73
<b>4.2 ANÁLISE COMPARATIVA NAS VARIÁVEIS DE FORÇA REATIVA EM VELOCISTAS OLÍMPICOS MASCULINOS DE 100M E 400M PLANOS.</b> .....	<b>77</b>
4.2.1 Introdução .....	78
4.2.2 Metodologia.....	79
4.2.2.1 Abordagem experimental do problema. ....	79
4.2.2.2 Participantes .....	80
4.2.2.3 Procedimentos.....	80
4.2.2.4 Análise estatística.....	81
4.2.3 Resultados .....	81
4.2.4 Discussão.....	83
<b>4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O DROP JUMP E O DROP JUMP HORIZONTAL EM ATLETAS DE VELOCIDADE E SALTOS.</b> .....	<b>89</b>
4.3.1 Introdução .....	90
4.3.2 Métodos .....	93
4.3.2.1 Abordagem experimental do problema .....	93
4.3.2.2 Participantes .....	93
4.3.2.3 Procedimentos.....	94
4.3.2.4 Instrumentação .....	94
4.3.2.5 Análises estatísticas .....	95
4.3.3 Resultados .....	95
4.3.4 Discussão.....	101
<b>4.4 EFEITO DO TREINO PLIOMÉTRICO BASEADO NO ÍNDICE INTEGRAL DE FORÇA REATIVA SOBRE AS VARIÁVEIS ESPACIO-TEMPORAIS ASSOCIADAS AO DESEMPENHO DE SALTADORES E VELOCISTAS DE NÍVEL NACIONAL.</b> .....	<b>109</b>
4.4.1 Introdução .....	110
4.4.2 Métodos .....	112
4.4.2.1 Abordagem experimental do problema. ....	112
4.4.2.2 Participantes .....	113
4.4.2.3 Procedimento .....	113
4.4.2.3.1 Programa do treino .....	113
4.4.2.4 Análise estatística.....	115
4.4.3 Resultados .....	115
4.4.4 Discussão.....	118
<b>REFERÊNCIAS CAPÍTULO IV</b> .....	<b>125</b>
<b>CAPÍTULO V: Discussão geral</b> .....	<b>149</b>
<b>REFERÊNCIAS CAPÍTULO V</b> .....	<b>157</b>
<b>CAPÍTULO VI: Conclusões gerais</b> .....	<b>165</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>168</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

---

TABELA 1: CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS PARA A DETERMINAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DOS PARTICIPANTES EM ATIVIDADE PLIOMÉTRICA E BALÍSTICA. ....	23
TABELA 2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE CADA ESTUDO. ....	47
TABELA 3: VALIDAÇÃO CONCORRENTE DA SIGNIFICÂNCIA DO TESTE T E BLAND-ALTMAN ENTRE DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DURANTE O DJ30.....	67
TABELA 4: VALIDAÇÃO CONCORRENTE ATRAVÉS DA REGRESSÃO LINEAR E ICC ENTRE DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DURANTE O DJ30.....	69
TABELA 5: VALORES DE $M \pm SD$ DAS VARIÁVEIS CINEMÁTICAS REGISTRADAS POR AMBOS OS DISPOSITIVOS. ....	71
TABELA 6: COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO INTRACLASSE E INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95% PARA MEDIDAS REPORTADAS PELO DISPOSITIVO OUTPUT SPORT. ....	73
TABELA 7: CARACTERÍSTICAS ( $M \pm SD$ ) DOS VELOCISTAS OLÍMPICOS (N=10).....	80
TABELA 8: VARIÁVEIS DE FORÇA REATIVA ( $M \pm SD$ ) DOS ATLETAS DE 100M E 400M.....	83
TABELA 9: MÉDIAS DP DA TENDÊNCIA DA DISTÂNCIA DE SALTO COM O AUMENTO DA ALTURA DURANTE O HDJ.....	97
<b>TABELA 10. A MÉDIA (<math>\pm SD</math>) DE CADA VARIÁVEL RELACIONADA ENTRE O DROP JUMP E O HORIZONTAL DROP JUMP. ...</b>	<b>99</b>
<b>TABELA 11. RESUMO DO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE AS DIFERENÇAS ENTRE O DROP JUMP E O HORIZONTAL DROP JUMP.....</b>	<b>100</b>
TABELA 12: PROGRAMA DO TREINO BASEADO NO IIFR.....	114
TABELA 13: EFEITOS DA RELAÇÃO GRUPO-TEMPO ENTRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES DURANTE O PRÉ-TESTE E ENTRE OS PROGRAMAS ANTES E DEPOIS DO CRUZAMENTO.....	116
TABELA 14: EFEITOS DA RELAÇÃO GRUPO-GRUPO ENTRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES DURANTE O PRÉ-TESTE E ENTRE OS PROGRAMAS ANTES E DEPOIS DO CRUZAMENTO.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

FIGURA 1: O PROCESSO DE DETERMINAÇÃO PARA O TREINO ÓTIMO AQ .....	24
FIGURA 3. EXEMPLO DE LOCALIZAÇÃO DO CINTO COM FITA ADESIVA DE DUPLA FACE ENTRE L3 E L4 INCORPORANDO O ACELERÔMETRO PUSH BAND 2.0.....	66
FIGURA 4. EXEMPLO DE LOCALIZAÇÃO DA IMU NO PÉ DO ATLETA.....	67
FIGURA 5. ACORDO SOBRE OS RESULTADOS DA ANÁLISE DE BLAND-ALTMAN. O EIXO X REPRESENTA OS VALORES DOS MEIOS, E O EIXO Y REPRESENTA AS DIFERENÇAS ENTRE OS MEIOS. OS CRITÉRIOS PARA TODAS AS ANÁLISES FORAM (+1,96 SD) COMO A GAMA SUPERIOR E (-1,96 SD) COMO A GAMA INFERIOR. (A) ANÁLISE BLAND-ALTMAN IFR ENTRE PB2.0 E PF; (B) ANÁLISE BLAND-ALTMAN IFR ENTRE PB2.0 E OPT; (C) ANÁLISE BLAND-ALTMAN IFR ENTRE PF E OPT; (D) ANÁLISE BLAND-ALTMAN HJ ENTRE PB2.0 E OPT.....	68
FIGURA 6. ACORDO ENTRE OS MÉTODOS UTILIZADOS. (A) COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO INTRACLASSE DO IFR ENTRE PB2.0 E PF; (B) COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO INTRACLASSE DO IFR ENTRE PB2.0 E OPT; (C) COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO INTRACLASSE DO IFR ENTRE PF E OPT; (D) COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO INTRACLASSE DO HJ ENTRE PB2.0 E OPT. ....	69
FIGURA 7. A ANÁLISE DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO R <sup>2</sup> . (A) O R <sup>2</sup> DO IFR ENTRE PB2.0 E PF; (B) O R <sup>2</sup> DO IFR ENTRE PB2.0 E OPT; (C) O R <sup>2</sup> DO IFR ENTRE PF E OPT; (D) O R <sup>2</sup> DO HJ ENTRE PB2.0 E OPT.....	70
FIGURA 8. TESTE BLAND ALTMAN. AS MEDIÇÕES SÃO OBTIDAS A PARTIR DA PLATAFORMA DE FORÇA E DO DISPOSITIVO OUTPUT. (A) DIFERENÇA DE MEDIAS DO TEMPO DE CONTACTO COM O SOLO (TCS) V/S A MEDIA TCS, (B) DIFERENÇA DE MEDIAS DE TEMPO DO VOO (TV) V/S A MEDIA DE TV, (C) DIFERENÇA DE MEDIAS DE ALTURA DE SALTO (AS) V/S MÉDIAS DE AS E (D) DIFERENÇA DE MEDIA DO ÍNDICE DE FORÇA REATIVA (IFR) V/S MÉDIA DO IFR.....	72
FIGURA 9. REGRESSÃO LINEAR SIMPLES (LR). AS MEDIDAS SÃO OBTIDAS A PARTIR DA DIFERENÇA DE MEDIAS VS. MEDIAS PARA CADA VARIÁVEL. A (A) RL DE TCS ENTRE IMU VS. PF; A (B) RL DE TV ENTRE IMU VS. PF; (C) RL DE HJ ENTRE IMU VS. PF E (D) RL DE IFR ENTRE IMU VS. PF. ....	72
FIGURA 10: RESULTADOS DO TESTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS IFR E RC. O EIXO Y REPRESENTA O CR MÉDIO, E O EIXO X REPRESENTA AS VARIÁVEIS IFR.....	82
FIGURA 11: IFR (PAINEL ESQUERDO) E IIFR (PAINEL DIREITO) PARA CADA DROP JUMP OBTIDO EM VELOCISTAS DE 100M E 400M.....	82
FIGURA 12: PLATAFORMA DE MADEIRA DESENHADA E CONSTRUÍDA PARA ESTE ESTUDO. A GRADUAÇÃO DA DISTÂNCIA FOI FEITA EM MILÍMETROS.....	95
FIGURA 13: COMPARAÇÃO DO FRSE E FRSC ENTRE O SALTO EM QUEDA (DJ) E O SALTO EM QUEDA HORIZONTAL (HDJ) COM DELINEAMENTO DAS FASES EXCÊNTRICA E CONCÊNTRICA A PARTIR DA VELOCIDADE = 0. (A) CURVA DE FORÇA-TEMPO DURANTE DJ30, (B) CURVA DE FORÇA-TEMPO DURANTE DJ40, (C) CURVA DE FORÇA-TEMPO DURANTE DJ50, (D) CURVA DE FORÇA-TEMPO DURANTE HDJ30, (E) CURVA DE FORÇA-TEMPO DURANTE HDJ40 E (F) CURVA DE FORÇA-TEMPO DURANTE HDJ50. ....	98
FIGURA 14: DIAGRAMA DO DESENHO EXPERIMENTAL DO ESTUDO .....	112

FIGURA 15: HETEROCRONISMO DO TREINO PLIOMÉTRICO COM BASE NO IIFR. ....	119
FIGURA 16. RESULTADOS DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO NA INTERAÇÃO GRUPO-TEMPO PARA O ENSAIO IIFR COM UMA AQ DE 0.60M.....	120



## I. Preâmbulo

---

O atletismo é um desporto tão antigo como a humanidade e caracteriza-se por exigir um conjunto de habilidades motoras predominantes que se agrupam em provas específicas, são elas: caminhada ou marcha desportiva, corrida, saltos, lançamentos e provas combinadas.

Historicamente no atletismo, os homens procuraram encontrar de uma forma multivariada, estratégias para aumentar o seu desempenho. Assim começou uma luta intensa para descobrir formas de melhorar o desempenho competitivo dos atletas. Para as disciplinas de velocidade e saltos, investigadores entre os anos 60 e 70 introduziram diferentes recomendações para otimizar o desempenho dos atletas. Este processo trouxe novas abordagens ao planeamento do treino e à investigação de diferentes capacidades e manifestações do desempenho. Um dos aspetos que mais foi profundamente estudado relaciona-se com o treino pliométrico. Em termos gerais, este método baseia-se num tipo de atividade que melhora a capacidade elástica reativa do músculo a fim de produzir potência mecânica.

A literatura científica tem relatado extensa informação sobre a atividade pliométrica. Atualmente, verificou-se que muitos dos resultados da investigação se baseavam em critérios anedóticos, ou metodologicamente inconsistentes. Embora consideremos que existe um grande valor na informação fornecida por diferentes investigadores, é nossa convicção que uma parte substancial precisa de ser fortemente revista. Até à data, os conceitos da magnitude da carga do treino pliométrico não são claros e dificultam compreender os critérios de seleção de volume e intensidade nos diferentes programas propostos. Neste sentido, consideramos necessário voltar à investigação sobre a ação pliométrica e desenvolver diferentes estudos que nesta dão corpo ao projeto desta tese.

A presente tese intitulada: Avaliação e controlo da carga no treino pliométrico em atletas de velocidade e saltos. Foi estruturada em seis capítulos principais:

**Capítulo I:** Introdução geral e campo de investigação. É apresentada uma breve descrição da importância do treino pliométrico nas ciências do desporto. Os objetivos gerais e específicos, questões de investigação, assim como delimitação da relevância e pertinência do tema são delimitados.

**Capítulo II:** Este capítulo trata do fundamento teórico do objeto de estudo com base numa revisão da literatura dos principais critérios metodológicos sobre o volume e intensidade do treino pliométrico. É feita uma crítica atualizada da realidade do tema e propostas metodológicas para futuros programas do treino.

**Capítulo III:** As principais orientações que sustentaram a conceção metodológica, os procedimentos experimentais, os critérios de seleção, os procedimentos e a intervenção, bem como o tratamento estatístico e a aprovação do comité de ética da Universidade de Coimbra são detalhados neste capítulo.

**Capítulo IV:** Aqui são apresentados numa sequência lógica os principais resultados estudos que originaram 6 artigos científicos, submetidos todos a revisão por pares em revistas com fator de impacto no quartil Q1e Q2 da Web of Science: um estudo de validade e fiabilidade de dispositivos, com utilidade para ser utilizados na investigação da variável intensidade no contexto do treino pliométrico. Seguem-se três estudos sobre a análise das variáveis cinéticas e cinemáticas relevantes para a compreensão do treino pliométrico. O capítulo termina com um estudo experimental de treino pliométrico baseado na proposta de indicador denominado índice integral de força reativa (IIFR).

**Capítulo V:** Comtempla uma discussão geral dos resultados dos diferentes estudos. Estes foram apresentados numa sequência que nos permitiu identificar os principais resultados e contribuições para a teoria e metodologia do treino pliométrico.

**Capítulo VI:** Aqui são abordadas as conclusões gerais dos estudos e as aplicações práticas para treinadores e investigadores.

## **CAPÍTULO I**

### **Introdução geral e campo de investigação**



# CAPÍTULO I: Introdução geral e campo de investigação

---

## 1.1 Introdução

A filosofia, como ciência mãe, envolve diferentes campos de investigação num ambiente aplicado. Para o nosso **campo de investigação**: O processo do treino desportivo é determinado por um conjunto de manifestações de desempenho que, se não forem corretamente integradas sob a forma de um processo, podem levar ao fracasso (Bompa and Buzzichelli, 2019).

No desporto de alto nível, a eficácia da atividade competitiva é avaliada pelo resultado demonstrado na competição ou pelo grau de proximidade ao resultado esperado, com base em cálculos ou testes de controlo (Zatsiorsky et al., 2000). No entanto, o resultado competitivo como estrutura integral do processo não apresenta toda a informação sobre como os resultados máximos são alcançados e, portanto, não deteta os efeitos fortes e fracos no nível de preparação, nem indica formas de eliminar deficiências. Isto sublinha a importância de analisar e controlar as direções individuais que condicionam e/ou determinam o desempenho desportivo.

Para atletas de sprint e saltos, a capacidade de produzir (num ambiente controlado) a quantidade máxima de força num tempo mínimo de contacto (take off e puhs off nas fases de sprint) é um pré-requisito para os elevados resultados desportivos (Samozino et al., 2008, Jimenez-Reyes et al., 2017, Samozino et al., 2022). De facto, pesquisas científicas (Weyand et al., 2000) mostraram que estes atletas durante a sua atividade desportiva principal, têm tempos de contacto inferiores a 120 ms. Isto significa que para eles o mais importante não é ter uma alta percentagem de força máxima, mas sim saber como transferi-la rapidamente (Young, 2006, Randell et al., 2010), ou seja, produzir forças rapidamente num ambiente aplicado. Neste contexto, podemos afirmar que não há outro exercício, que começa com uma queda e que produza uma força máxima no menor tempo possível e que, por sua vez se aproxime mais do ambiente de aplicação de força exigido por estes atletas do que os saltos em queda. Sendo o mais estudado destes o Drop Jump (DJ), objeto de estudo da nossa investigação.

Em relação ao DJ, diferentes investigações abordaram a sua importância no desenvolvimento da produção de potência (Matic et al., 2015b, Walsh et al., 2004b, Makaruk et al., 2010, Di Giminiani and Petricola, 2016, Di Giminiani et al., 2020), desenvolvimento da capacidade de saltar (McCurdy et al., 2012, Marshall and Moran, 2013, Schuster et al., 2020, Peng et al., 2022), força reativa (Flanagan and Comyns, 2008b, Ebben and Petushek, 2010b, Healy et al., 2018). Atualmente podemos encontrar numerosos programas de treino pliométrico especialmente dedicados a jovens (Ramirez-Campillo et al., 2014a, Ramirez-Campillo et al., 2018c, Padrón-Cabo et al., 2021). No entanto, permanecem alguns **problemas na investigação conduzida neste âmbito** nomeadamente metodológicos, concretamente na prescrição do volume e da intensidade e com a avaliação da força reativa do atleta relativamente à altura da queda. Além disso, até à data, encontramos uma base conceptual pouco lógica na estrutura organizacional e na distribuição do volume de treino.

Neste sentido, apresentam-se como **campo de estudo** o volume e a intensidade do treino pliométrico.

Com a finalidade de delimitar o âmbito da investigação, propõe-se o seguinte objetivo geral.

## **1.2 Objetivo geral**

Desenvolver um procedimento baseado na força reativa para o controlo do volume e intensidade do salto em profundidade *Drop Jump* (DJ) destinado a atletas especialistas de velocidade e saltos.

A fim de atingir este objetivo geral, e constituir a dimensão organizacional do problema, são propostos os seguintes objetivos específicos

### **1.2.1 Objetivos específicos**

Avaliar, na literatura científica, os critérios metodológicos relacionados com o volume e a intensidade do treino pliométrico.

Comprovar a validade e a fiabilidade dos acelerômetros comerciais disponíveis para medir a força reativa durante o Drop Jump.

Comparar o comportamento das variáveis cinéticas e espaciotemporais do salto vertical em relação ao salto horizontal em velocistas e saltadores.

Examinar os efeitos de 8 semanas de treino de Drop Jump utilizando um novo indicador proposto por nós, nomeado índice integral de força reativa (IIFR) como critério de intensidade em atletas de velocidade e saltos.

Esta sequência de objetivos de estudo permitirá realizar uma crítica dos procedimentos metodológicos reportados noutros estudos sobre o volume e a intensidade do treino pliométrico. Para além disso, serão propostas recomendações metodológicas para a implementação de programas de treino pliométrico. Tendo em conta que a tese pretende investigar o volume e a intensidade do treino pliométrico em condições de campo, foi necessário realizar validações de equipamentos de elevada portabilidade disponíveis comercialmente, partindo do pressuposto de que, a confirmação da validade para medir as variáveis associadas à Pliometria, fornece a possibilidade de analisar o treino diário sem a necessidade do recurso a plataformas de força ou dispositivos de interrupção ótica onerosos. Uma vez estabelecidos os critérios de validade, passamos a analisar o comportamento do índice de força reativa (IFR) como uma das variáveis mais utilizadas na avaliação pliométrica. Este indicador só foi descrito anteriormente como um índice (Flanagan and Comyns, 2008), mas não se sabe se poderia ser utilizado como critério para analisar a intensidade do treino pliométrico ou como critério para determinar o volume adequado. Uma vez determinado isso, foi necessário comparar os resultados obtidos pela realização de DJ com projeção horizontal e vertical. Este estudo justificou-se porque os estudos demonstraram que os saltos pliométricos verticais apenas se transferem para a vertical, enquanto os saltos pliométricos horizontais apenas se transferem para o desempenho horizontal (Loturco et al., 2015, Ramírez-Campillo et al., 2015). Embora estes critérios tenham um argumento lógico, existiam algumas dúvidas sobre o comportamento dos indicadores associados ao desempenho de atletas de alto rendimento nas disciplinas de salto e velocidade. Os resultados dos estudos anteriores foram reunidos e foi efetuado um estudo comparativo sobre os efeitos do programa de treino baseado nos indicadores tradicionais com uma nova abordagem metodológica sustentada nos resultados dos estudos anteriores.

### **1.3 Questões de investigação**

Que critérios metodológicos estão disponíveis na literatura para determinar o volume e a intensidade do treino pliométrico?

Os acelerômetros disponíveis no mercado são capazes de medir com precisão e em condições de campo, as variáveis associadas à força reativa?

Para os atletas de alto nível, as variáveis associadas à força reativa diferem entre as alturas de queda e entre exercícios horizontais e verticais?

A aplicação de um programa de treino pliométrico baseado no índice integral de força reativa (IIFR) conduz a melhores resultados quando comparados com os programas de treino tradicionais?

### **1.4 Novidade científica**

Esta tese introduz uma novidade no controlo e avaliação do DJ em atletas especialistas de saltos e de velocidade ao introduzir o IIFR, como resultado da integração entre o IFR e a capacidade reativa (CR). Este novo indicador, garante uma melhor organização e individualização do processo de treino pliométrico.

### **1.5 Significância teórica e prática**

Os procedimentos propostos nesta tese, proporciona aos treinadores e cientistas do desporto uma estratégia aplicável cientificamente comprovada. Além disso, não requer muitos recursos tecnológicos para a sua utilização e fornece informações em tempo real sobre o comportamento da força reativa do atleta relativamente à altura da queda (AQ). O procedimento é introduzido na teoria e metodologia do treino desportivo, especificamente no treino pliométrico do DJ com uma conceção sólida. A investigação oferece também indicações metodológicas para a sua utilização e critérios de avaliação.

## **Referências Capítulo I**

- BOMPA, T. O. & BUZZICHELLI, C. 2019. Periodization: theory and methodology of training. Sixth edition. ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
- DI GIMINIANI, R., GIOVANNELLI, A., CAPUANO, L., IZZICUPO, P., DI BLASIO, A. & MASEDU, F. 2020. Neuromuscular Strategies in Stretch-Shortening Exercises with Increasing Drop Heights: The Role of Muscle Coactivation in Leg Stiffness and Power Propulsion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- DI GIMINIANI, R. & PETRICOLA, S. 2016. The power output-drop height relationship to determine the optimal dropping intensity and to monitor the training intervention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 117-125.
- EBBEN, W. P. & PETUSHEK, E. J. 2010. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res*, 24, 1983-7.
- FLANAGAN, E. P. & COMYNS, T. M. 2008. The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30, 32-38.
- HEALY, R., KENNY, I. C. & HARRISON, A. J. 2018. Reactive Strength Index: A Poor Indicator of Reactive Strength? *Int J Sports Physiol Perform*, 13, 802-809.
- JIMENEZ-REYES, P., SAMOZINO, P., PAREJA-BLANCO, F., CONCEICAO, F., CUADRADO-PENAFIEL, V., GONZALEZ-BADILLO, J. J. & MORIN, J. B. 2017. Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *Int J Sports Physiol Perform*, 12, 36-43.
- MAKARUK, H., SACEWICZ, T., CZAPLICKI, A. & SADOWSKI, J. 2010. Effect of Additional Load on Power Output during Drop Jump Training. *Journal of Human Kinetics*, 26, 31-37.
- MARSHALL, B. M. & MORAN, K. A. 2013. Which drop jump technique is most effective at enhancing countermovement jump ability, "countermovement" drop jump or "bounce" drop jump? *J Sports Sci*, 31, 1368-74.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 3300-3310.

- MCCURDY, K., WALKER, J., SAXE, J. & WOODS, J. 2012. The effect of short-term resistance training on hip and knee kinematics during vertical drop jumps. *J Strength Cond Res*, 26, 1257-64.
- LOTURCO, I., PEREIRA, L. A., KOBAL, R., ZANETTI, V., KITAMURA, K., ABAD, C. C. & NAKAMURA, F. Y. 2015. Transference effect of vertical and horizontal plyometrics on sprint performance of high-level U-20 soccer players. *J Sports Sci*, 33, 2182-91.
- PADRÓN-CABO, A., LORENZO-MARTÍNEZ, M., PÉREZ-FERREIRÓS, A., COSTA, P. B. & REY, E. 2021. Effects of Plyometric Training with Agility Ladder on Physical Fitness in Youth Soccer Players. *Int J Sports Med*, 42, 896-904.
- PENG, H. T., SONG, C. Y., CHEN, Z. R., LAI, C. T., GU, C. Y. & WANG, L. I. 2022. Effects of attaching elastic bands to the waist and heels on drop jumps. *European Journal of Sport Science*, 22, 808-816.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ALVAREZ, C., GENTIL, P., MORAN, J., GARCIA-PINILLOS, F., ALONSO-MARTINEZ, A. M. & IZQUIERDO, M. 2018. Inter-individual Variability in Responses to 7 Weeks of Plyometric Jump Training in Male Youth Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 9.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ANDRADE, D. C., ALVAREZ, C., HENRIQUEZ-OLGUIN, C., MARTINEZ, C., BAEZ-SANMARTIN, E., SILVA-URRA, J., BURGOS, C. & IZQUIERDO, M. 2014. The Effects of Interset Rest on Adaptation to 7 Weeks of Explosive Training in Young Soccer Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13, 287-296.
- RANDELL, A. D., CRONIN, J. B., KEOGH, J. W. L. & GILL, N. D. 2010. Transference of Strength and Power Adaptation to Sports Performance—Horizontal and Vertical Force Production. *Strength & Conditioning Journal*, 32, 100-106.
- SAMOZINO, P., MORIN, J. B., HINTZY, F. & BELLI, A. 2008. A simple method for measuring force, velocity, and power output during squat jump. *J Biomech*, 41, 2940-5.
- SAMOZINO, P., PEYROT, N., EDOUARD, P., NAGAHARA, R., JIMENEZ-REYES, P., VANWANSEELE, B. & MORIN, J. B. 2022. Optimal mechanical force-velocity profile for sprint acceleration performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32, 559-575.
- SCHUSTER, R. W., PATERNOSTER, F. K. & SEIBERL, W. 2020. High-density electromyographic assessment of stretch reflex activity during drop jumps from varying drop heights. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 50.

- WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRUGGEMANN, G. P. 2004. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-6.
- WEYAND, P. G., STERNLIGHT, D. B., BELLIZZI, M. J. & WRIGHT, S. 2000. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol (1985)*, 89, 1991-9.
- YOUNG, W. B. 2006. Transfer of Strength and Power Training to Sports Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 74-83.
- ZATSIORSKY, V. M., IOC MEDICAL COMMISSION. & INTERNATIONAL FEDERATION OF SPORTS MEDICINE. 2000. *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention*, Oxford UK; Malden, MA, USA, Blackwell Science.



## **CAPÍTULO II**

### **Revisão da literatura**



## CAPÍTULO II: Considerações metodológicas para determinar o volume e a intensidade do treino do Drop Jump. Revisão da literatura

---

**Objetivo 1:** Avaliar, na literatura científica, os critérios metodológicos relacionados com o volume e a intensidade no treino pliométrico

**Questão 1:** Que critérios metodológicos estão disponíveis na literatura para determinar o volume e a intensidade do treino pliométrico?

Assume-se como necessária a sistematização dos programas de treino pliométrico existentes na literatura científica, para determinar os critérios metodológicos a utilizar na programação do volume e da intensidade do treino pliométrico.

**Publicação** [Frontiers | Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review \(frontiersin.org\)](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.884211)

## 2.1 Introdução

Os exercícios pliométricos têm sido frequentemente utilizados quer no treino quer em trabalhos de investigação desde os anos 60 do século XX. Este método de treino tem crescido em popularidade ao longo dos últimos 12 anos. Uma pesquisa PubMed para o termo "plyometric" resultou em 237 artigos de investigação publicados entre 1983 e 2010, enquanto 301 foram publicados apenas entre 2021 e 2022, realçando assim a importância do tema.

Entre os exercícios mais clássicos estão o Salto em Profundidade (SPF) e o Drop Jump (DJ). Durante estes saltos, o atleta fica de pé sobre uma caixa, e mantém as suas mãos sobre as ancas, determina a perna inicial, e depois executa uma altura que queda (AQ) a fim de provocar uma força intensa contra o chão e descolar no menor tempo possível no caso do DJ, atingindo uma altura de salto (AS) maior no caso do SPF (Clutch et al., 1983). As diferenças entre estas tarefas são apresentadas (*anexo I*) nesta tese. Durante a AQ, o sistema neuromuscular prepara-se para contrabalançar os efeitos da gravidade, uma fase em que a pré-ativação neuromuscular (Taube et al., 2012, Di Giminiani et al., 2020) e os recetores propriocetivos controlados pelo sistema nervoso central (Taube et al., 2012) intervêm para assegurar uma aterragem segura e eficaz. O atleta entra então em contacto com o solo, onde tem lugar o ciclo de alongamento encurtamento (CAE) (Dietz et al., 1979, Schmidtbleicher and Haralambie, 1981, Horita et al., 2003, Turner and Jeffreys, 2010, Pedley et al., 2022). Este consiste em duas fases: Uma excêntrica em que a unidade músculo-tendão do componente contrátil já pré-ativado (Taube et al., 2012, Bosco et al., 1982b) inicia uma fase de travagem e de alongamento, acumulando de energia elástica nos tendões (Ishikawa et al., 2006) para a produção de impulso mecânico. A isto segue-se um tempo de estabilização (Wikstrom et al., 2004, Flanagan et al., 2008) e uma transição de ação excêntrica para concêntrica, onde a velocidade = 0 é atingida, após o que se inicia a fase concêntrica do movimento, onde a energia elástica é libertada resultando o encurtamento da unidade músculo-tendão (Ishikawa et al., 2006), somando-se ao reflexo miotático de estiramento para uma ação concêntrica mais potente (Dietz et al., 1979).

Não é possível identificar quem foram os primeiros a introduzir o termo "pliométrico", sendo vulgarmente partilhada entre Margaria. R e Wilt. F (Wilt, 1976), O termo pliométrico deriva do grego "plio", que está associado a mais longo ou mais largo e, "métrico", que significa medir. Tanto quanto nos foi possível perceber ao rever, a investigação mais antiga relatada na literatura científica sobre o exercício pliométrico é da autoria de Asmussen e col. (Asmussen and Bonde-Petersen, 1974) e Y. Verkhoshansky (Verkhoshansky and Chernousov, 1974). Asmussen (Asmussen and Bonde-Petersen, 1974) reportaram uma melhoria de 5% na AS quando comparando o Squat Jump (SJ) com o Contramovement Jump (CMJ) e 11% quando comparando o SJ com o atualmente conhecido DJ a partir de uma AQ de 0.40m, demonstrando que uma fase que precede o salto, aumenta significativamente a altura do salto até um determinado limite. O próprio Y. Verkhoshansky (Y. Verkhoshansky, 2006) assume que este conceito de trabalho pliométrico tinha sido anteriormente caracterizado por Sechenov (Sechenov and Mikhailovich, 1863), quando descreveu a componente elástica do músculo. Y. Verkhoshansky, no seu trabalho com atletas saltadores, explorou a energia cinética acumulada nos membros inferiores como resultado de quedas livres e enfatizou que o método pliométrico não resulta de uma simples deformação do músculo como resultado do alongamento, mas que este também tem de ser rápido (Y. Verkhoshansky, 2006). De acordo com este critério, propôs uma gama de AQ para o treino dos membros inferiores (0,10 a 2,2 m), e o conceito de "carga pliométrica ótima" (0,75 m) com base na potência média de saída, o que tem sido fortemente criticado até hoje (Bobbert et al., 1987b, Bobbert et al., 1987a, Baechle et al., 2008). Durante o período 1976-1982, contribuições consideráveis foram feitas por C. Bosco, que, por exemplo, verificou que os atletas melhoraram o seu CMJ em 11% e o seu DJ em 15%, quando utilizaram DJ no seu programa de treino (Komi and Bosco, 1978b, Bosco and Komi, 1979, Bosco and Komi, 1980, Bosco et al., 1982a, Bosco et al., 1982c, Bosco et al., 1982d). Bosco também comparou a capacidade de salto de homens e mulheres (Komi and Bosco, 1978b). Juntamente com Verkhoshansky, o trabalho de Bosco sobre exercícios pliométricos e balísticos é considerada a base do treino pliométrico (Bosco et al., 1982c, Bosco et al., 1982d, Viitasalo and Bosco, 1982, Bosco et al., 1983b, Bosco et al., 1983c, Bosco et al., 1986), no entanto, o treino pliométrico continuou a evoluir ao longo dos anos (Baechle et al., 2008, Morin et al., 2019).

Outros investigadores também deram contribuições para a teoria do treino pliométrico moderno. Cavagna (Margaria et al., 1960, Cavagna et al., 1965, Cavagna and Citterio, 1974, Cavagna, 1975, Cavagna, 1977) foi um dos primeiros a fornecer uma justificação experimental para o treino pliométrico, conduzindo experimentos sobre a fase negativa dos saltos contribuindo para compreensão da ação da componente contrátil dos músculos. Hakkinen, Komi, et al. (Hakkinen et al., 1985) foram também dos primeiros a comparar as características eletromiográficas após um programa de treino de 24 semanas, encontrando melhorias significativas no desempenho dos saltos. Bobbert. M, trouxe contribuições essenciais para a estrutura técnica do DJ, encontrando no seu primeiro estudo diferenças biomecânicas (Bobbert et al., 1987a), entre o DJ com ressalto e o DJ com contramovimento, e recomendando o primeiro para atletas que procuravam melhorar a saída mecânica dos extensores dos joelhos e flexores plantares. No entanto, o seu segundo estudo (Bobbert et al., 1987a) sugeriu um AQ a 0.20 ou 0.40m quando investigou os efeitos do treino do DJ com ressalto. Bobbert foi então o primeiro a justificar cientificamente uma gama de diferentes AQ. As contribuições anteriores de AQ (Bobbert et al., 1987b, Komi and Bosco, 1978b, Bobbert et al., 1987a), foram refutadas (Lees and Fahmi, 1994b), indicando que o melhor desempenho para um aumento líquido em AS, potência (Pt) instantânea, e outros parâmetros, ocorreu a 0.12m AQ. Houve contribuições consideráveis relativamente às melhores condições de produção de Pt (Bosco et al., 1983a, Morin et al., 2019, Matic et al., 2015c), forças de reação no solo (FRS), taxa de desenvolvimento da força (TDF) (Jensen and Ebben, 2007, Ebben et al., 2008b, Flanagan et al., 2008, Kossow and Ebben, 2018a), e o IFR, bem como as diferenças entre CMJ e DJ (Young, 1995, Young et al., 1995, Flanagan et al., 2008, Struzik et al., 2016), embora nem sempre tenha existido consistência nas abordagens. A definição destas variáveis levou à utilização de diferentes critérios para definir a intensidade do treino pliométrico. No entanto, todos estes parâmetros exigem uma utilização de equipamento de laboratório e procedimentos de análise, por vezes complexos que os torna difíceis de implementar diariamente para programas de treino pliométrico.

Nos últimos anos, um grande número de programas pliométricos investigou a prevenção de lesões e a redução da obesidade (Nobre et al., 2017, van de Hoef et al., 2019, Zubac et al., 2019, Lee et al., 2020), em relação com a potência dos membros inferiores e carga ótima (Miller et al., 2002, Young, 2006, Terzis et al., 2016, Baechle et

al., 2008), em relação com economia da corrida e com o desempenho global em atividades dinâmicas (Besier et al., 2001, Balsalobre-Fernandez et al., 2016b). Isto exigiu o desenvolvimento de um programa de treino onde inferimos que era necessário compreender as diferentes componentes do treino, tais como volume de exercício, frequência, duração do programa, progressão e intensidade. No entanto, um artigo de revisão mostrou que 42% dos estudos não relatam a intensidade do treino pliométrico, presumivelmente devido a dificuldades metodológicas (Ramirez-Campillo et al., 2020c). Além disso, a investigação publicada mostrou a inexistência de consenso sobre o melhor método para determinar a intensidade do exercício pliométrico (Ebben, 2007, Ebben et al., 2008b, Jarvis et al., 2016, Ramirez-Campillo et al., 2020c). Por outro lado, embora os benefícios da pliometria tenham sido objeto de investigação, não encontramos atualmente um consenso crítico e sólido sobre as variáveis mais frequentemente utilizadas para a prescrição do volume e da intensidade em programas de treino Pliométrico. Por conseguinte, os critérios aplicáveis para determinar os principais componentes do treino pliométrico justificam um maior investimento exploratório. Considerando a falta de consenso, parece justificado aprofundar na literatura científica os critérios existentes para a prescrição do volume e da intensidade do treino pliométrico.

### **2.1.1. Principais críticas e observações sobre os programas de treino**

Uma revisão sistemática por nós realizada mostrou um conhecimento limitado das principais características do treino pliométrico (Montoro-Bombú et al., 2023). De facto, 90,90% (n = 20) dos desenhos dos estudos relatados na revisão (*anexo 2*) não especificam algumas variáveis que afetam o treino (Bompa and Buzzichelli, 2019). Por exemplo, no que diz respeito à superfície de aterragem, a maioria dos estudos não relata nem o objetivo principal do trabalho pliométrico, nem os critérios de seleção para o tipo de superfície. Sabe-se que o tipo de superfície influencia o CAE (Ramírez-Campillo et al., 2013, Bobbert et al., 1987a) e que a superfície macia, como relva ou areia, não permite minimizar os tempos de contato com o solo (TCS), aumentando assim os tempos de reação. As superfícies duras, por outro lado, permitem TCS mais curtos, garantindo uma maior reatividade (Ramírez-Campillo et al., 2013). Estes critérios são por vezes relatados com pouco rigor (de Villarreal et al., 2008, Sedano et al., 2009) ou são contraditórios com o objetivo declarado (Chelly et al., 2010). No entanto, um estudo é bastante claro em relação ao tipo de superfície (Ramirez-Campillo et al., 2018d). Considerando que o

tipo de superfície está intimamente relacionado com os efeitos do treino da pliometria, a não declaração da superfície utilizada num estudo pode introduzir dúvidas tanto na sua reprodução como na interpretação dos seus resultados (Ramirez-Campillo et al., 2020e, Ramirez-Campillo et al., 2013). Nenhum dos estudos anteriormente citados analisa o tempo de utilização de superfícies duras e macias na preparação dos atletas. Embora possamos inferir claramente o melhor momento para utilizar com superfícies diferentes a partir dos resultados de alguns estudos (Ramirez-Campillo et al., 2013, Arazi et al., 2014, Ahmadi et al., 2021b, Jacobs et al., 2021, Lannerstrom et al., 2021, Pereira et al., 2022), seria interessante para futuras investigações identificar que tipo de superfície pode ser a melhor escolha conforme as fases do plano anual (preparação geral, preparação específica, ou fase de competição).

Estudos anteriores (Ramirez-Campillo et al., 2015), indicaram que os programas de treino pliométrico combinados com outros meios de treino de força têm melhores resultados do que apenas o treino pliométrico. Embora encerre alguma lógica, este raciocínio poderia ser considerado uma tautologia que precisa de ser reanalisada. A combinação do treino de DJ com treino de força (Sanchez-Sixto et al., 2021), pode apresentar melhorias na cinética e cinemática do salto vertical, mas isto não significa necessariamente que 100% dos objetivos do treino de DJ ou 100% dos objetivos do treino de força tenham sido alcançados, e seria implausível determinar a contribuição de cada um para o resultado. Da mesma forma, quando são realizadas combinações de DJ, CMJ, SJ e múltiplos outros saltos, embora se saiba que isto contribui para as adaptações do treino correspondentes (Ramirez-Campillo et al., 2015, Ramirez-Campillo et al., 2015a), os investigadores não sabem em que medida cada exercício afetou o resultado. Neste sentido, embora reconhecendo as contribuições dos estudos que envolvem Pliometria e outro tipo de treinos mistos, esta investigação incentiva o regresso a estudos em que os efeitos sobre as variáveis de desempenho pliométrico em que as suas componentes, podem ser isolados. Outro elemento fundamental a ser considerado, é a população usada nos estudos de investigação. Muitas da investigação neste domínio, reportam a implementação de programas de treino pliométrico com indivíduos recreativamente ativos, estudantes de educação física ou atletas sem experiência prévia em treino pliométrico. Nestes casos, deve-se ter cuidado na interpretação dos resultados. Como em qualquer atividade realizada com sujeitos não treinados, se não ocorrerem lesões, é provável que se esperem efeitos positivos. Pelo contrário, podemos presumir que quando

se trabalha com uma população composta por atletas experientes, pode ser difícil obter grandes dimensões de efeito e grandes diferenças com significado estatístico devido ao elevado nível de trabalho específico acumulado ao longo dos anos.

Uma variável importante que, na nossa opinião, é pouco reportada, é a densidade do treino pliométrico. Os estudos anteriormente incluídos (*anexo 2*) apenas se referem com parcimónia à frequência semanal de trabalho, e nenhum estudo indica a densidade da sessão. A densidade pode ser interpretada como a relação entre a duração total de uma sessão, e o trabalho efetivamente realizado (Bompa and Buzzichelli, 2019); por essa razão, os intervalos de descanso tornam-se um fator determinante da densidade da sessão. Consequentemente, durante o treino pliométrico, quanto maior for o tempo de recuperação, menor será a densidade de treino. Esta variável também deve ser considerada na avaliação da intensidade de treino, uma vez que a Pt produzida pode ser afetada com tempos de recuperação reduzidos ou insuficientes (Lawton et al., 2006).

Outro aspeto frequentemente ignorado, é a identificação do nível de experiência dos participantes. Um estudo anterior já tinha mostrado que variáveis dicotómicas (sim ou não) não reúnem informação suficiente sobre os atletas (Ramirez-Campillo et al., 2020e). Notamos que um estudo, reporta os anos de experiência de treino dos atletas (Sanchez-Sixto et al., 2021), mas não especificam se os indivíduos vieram da prática de desportos de equipa, de potência, ou de resistência, nem é claro se a experiência (anos) no treino pliométrico é sistemática ou apenas ocasional. Estes critérios podem ser necessários para identificar a priori, podem ser esperadas grandes efeitos no final das intervenções no treino, uma vez que os indivíduos mais experientes necessitam de maior especificidade e intensidade para produzir efeitos de treino mínimos, mas elevados. Existe claramente uma necessidade urgente de padronizar estes elementos.

Como consequência, embora reconheçamos que a experiência é um fator multidimensional, concordamos que existem características gerais que medeiam a influência da experiência. Com base em recomendações de revisões e meta-análises anteriores (Moran et al., 2019, Ramirez-Campillo et al., 2020e, Moran et al., 2021b, Ramirez-Campillo et al., 2021, Clemente et al., 2022), esta tese inclui cinco elementos que consideramos úteis para realçar o nível de experiência dos participantes em atividades pliométricas e balísticas fundamentadas em: (A) O tipo de população

desportiva. Isto está relacionado com o nível de envolvimento em atividades físicas e desportivas. (B) O tipo de desporto praticado. Isto é determinado pelas características de desempenho do desporto praticado e pela sua relação com as ações pliométricas. (C) O tempo de experiência com a prática sistemática ou intercalada do exercício pliométrico. (D). O nível de índice integral de força reativa do participante, e (E) a AS num CMJ. Estes parâmetros foram modificados e adaptados ao contexto de acordo com recomendações anteriores (Swann et al., 2015) e são apresentados na *tabela 1*. Embora esteja fora de o âmbito desta tese todas as atividades desportivas possíveis para cada nível, esta tabela pode ser uma ferramenta de utilidade para padronizar os critérios de avaliação e afirmação do nível de experiência dos atletas em novas pesquisas.

A individualização do treino é considerada um dos princípios fundamentais do processo de treino desportivo (Bompa and Buzzichelli, 2019). No entanto, a individualização não é tida em conta pelos investigadores da maioria dos estudos anteriormente incluídos (*anexo 2*). Apenas dois estudos relataram a individualização de AQ, mas ainda apresentavam problemas com a individualização dos parâmetros de volume e intensidade (Jeffreys et al., 2019, Ramirez-Campillo et al., 2018d). Do mesmo modo, os estudos anteriormente avaliados (*anexo 2*) com volume igual e AQ apresentam aumentos significativos de desempenho nos resultados, mas com grandes diferenças de resultados individuais. Por exemplo, 0.40m de AQ podem representar 70% da capacidade de salto para um sujeito, mas 90% para outro. Da mesma forma, um volume predefinido de, por exemplo, 4 séries de 10 repetições, pode ser ótimo para melhorar a potência de um sujeito, enquanto para outro sujeito pode representar um tipo de trabalho de resistência à potência, provocando assim adaptações muito diferentes, não conformes com o âmbito da intervenção. Embora um estudo considere a individualização pliométrica é pouco recomendável para os desportos de equipa (Ramirez-Campillo et al., 2018b), considerámo-la um elemento essencial quando se trabalha com o desporto de alto rendimento.

Tabela 1: Considerações metodológicas para a determinação da experiência dos participantes em atividade pliométrica e balística.

Variáveis/pontos	5	4	3	2	1
<b>A. Tipo de população</b>	Participação internacional em competições	Participações em competições nacionais	Participação em competições regionais	Prática desportiva recreativa sistemática	Sedentária ou desportiva ocasional
<b>B. Tipo de desporto</b>	Força máxima, potência e reativa	Desportos de equipa.	Desportos de combate	Resistência, artística, e Desportos aquáticos	Prática aleatória de desportos de equipa ou individuais, ou nenhuma prática
<b>C. Experiência temporal em pliometria</b>	≥ 6 anos	5-4 anos	3- 2 anos	≤ 1 anos	Nunca
<b>D. IIFR .040m</b>	≥ 1.75	1.74 – 1.25	1.24- 1.00	0.99- 0.50	≤ 0.49
<b>E. CMJ-AS</b>	≥ 0.50m	0.49-0.42m	0.41- 0.34m	0.33-0.21m	≤ 0.20m
<b>F. G. Nível de experiência pliométrica</b>	Nível 4 = ≥ 20 Experiência longa e sistemática de exercício extensivo e intensivo de pliometria	Nível 3 = 13-19 Experiência em desenvolvimento pliométrico	Nível 2 = 7-12 Experiência básica pliométrica	Nível 1 = 1-6 Baixa experiência introdutória	Nível 0 = ≤ 1 Sem experiência
<b>Equação (1)</b>	Nível de experiência pliométrica do participante* = *Critérios individualizados				

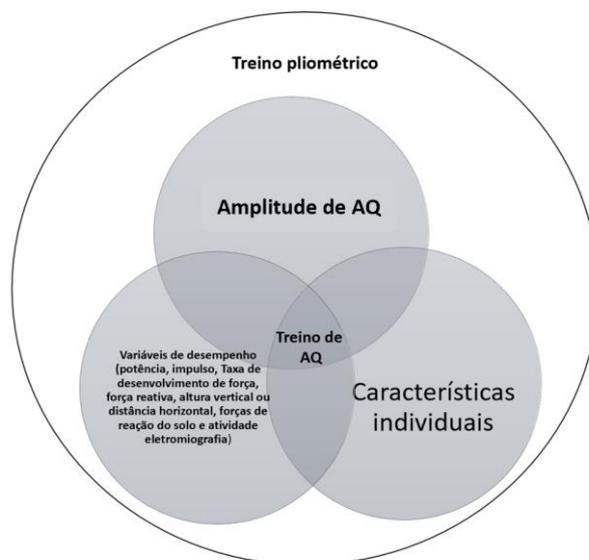
IIFR= índices de força reativa integral; AS= altura do salto; CMJ= salto de contramovimento.

### 2.1.2 Análise crítica da utilização da altura de queda como fator determinante para o cálculo e prescrição da intensidade Pliométrica.

Vários autores enfatizam que a AQ é o único fator determinante da intensidade do DJ e do SPF. No entanto, AQ por si só não gera intensidade e precisa de estar relacionada com uma variável de desempenho associada ao exercício. Com base nesta tese, compreendemos que a intensidade do treino pliométrico é determinada pela associação de uma variável quantificável (por exemplo, Pt de saída, impulso, TDF, força reativa, AS ou distância horizontal, FRS, índice de carga, atividade eletromiografia (EMG), etc.) a uma AQ previamente determinada. Neste sentido, podemos ter cenários com diferentes critérios de intensidade para a mesma AQ. Por exemplo, dado um DJ50, se compararmos um atleta (a) que apresenta uma FRS concêntrica de 4298 N, 3,15 de IFR, e uma potência de 6452 W, com outro (b) que tem 3954 N de FRS concêntrica, 2,54

de IFR e 6462 W de Pt, é claro como podem requerer diferentes AQ para maximizar a produção de força concêntrica e a força reativa, mas a mesma AQ para a potência máxima de saída.

A AQ e os seus possíveis efeitos têm sido amplamente tratados na literatura (Komi and Bosco, 1978a, Matic et al., 2015a, Bobbert et al., 1987b), mas com resultados ainda algo inconsistentes. A literatura reporta que o intervalo de AQ pode situar-se entre 0,12 e 0,80 (Lees and Fahmi, 1994a, Viitasalo et al., 1998), embora saibamos que foram estudados AQ mais elevados (Clutch et al., 1983). Ainda assim, isto pode ser considerado uma faixa de AQ demasiado ampla para ser integrada no programa de treino de um atleta. Portanto, a utilização de uma faixa tão ampla de AQ num programa de treino pliométrico pode ser considerada um erro metodológico. Para o treino pliométrico, recomendamos que os treinadores considerem uma gama de AQ ótima, que deve estar relacionada com o objetivo pliométrico a ser alcançado, como se mostra na figura 1.



**Figura 1: O processo de determinação para a otimização da altura da queda no treino pliométrico**

Num programa de treino, a AQ contribui para a especificidade do treino (Ebben and Petushek, 2010b) e aumenta a magnitude das diferentes adaptações (Young, 1995). A AQ muito elevadas, considerando a capacidade individual leva a uma carga excêntrica prolongada, o que é sinónimo de carga excessivamente pliométrica. Isto provoca TCS mais longos, que podem dissipar parcialmente a energia elástica acumulada,

prejudicando assim a AS (Asmussen and Bondepert.F, 1974). Outro elemento a considerar ao selecionar a AQ é o princípio da especificidade. De acordo com este princípio, como o atleta executa a atividade pliométrica determinará o efeito do treino (Walshe et al., 1998). Além disso, quanto maior for a AQ, dentro dos limites adequados, maior serão os níveis de pré-ativação neuromuscular (Taube et al., 2012, Di Giminiani et al., 2020), maior será a velocidade que pode ser atingida na fase excêntrica, portanto, maior será a intervenção potente da ação contrátil dos fusos musculares e a contribuição de energia elástica armazenada nos tendões (Flanagan and Comyns, 2008b). Estes mecanismos dependem também do nível da rigidez ativa durante o movimento. Estas condições criadas pelo aumento ou diminuição da AQ são o que pode subsequentemente influenciar o fator de intensidade. Da mesma forma, dois atletas que caem da mesma altura podem não estar a treinar com a mesma intensidade relativa (Byrne et al., 2017).

Embora a literatura reconheça os critérios discutidos acima, a revisão sistemática por nós conduzida, concluiu que o 90,99% dos estudos incluídos apresentam critérios arbitrários para a seleção da AQ (Montoro-Bombú et al., 2023). Os seus procedimentos podem ser definidos "arbitrários", uma vez que não existem critérios de avaliação a priori para determinar quais as AQ a utilizar conforme as características individuais dos sujeitos. Além disso, não há informações claras sobre a relação entre as AQ selecionadas e os objetivos de intervenção para cada disciplina. Alguns autores recomendaram limitar os exercícios pliométricos a AQ inferiores a 0.40m, uma vez que verificaram que, em AQ entre 0.40 e 0.60m, houve uma redução na potência, impulso vertical e AS (Bobbert, 1990, Lees and Fahmi, 1994b, Voigt et al., 1995). No entanto, esta recomendação é altamente questionável, pois consideramos que não pode ser generalizado abranger todos os tipos de população, incluindo, por exemplo, atletas de alto nível de potência, que utilizam rotineiramente AQ mais elevadas nos seus programas de treino (Kobal et al., 2017).

### **2.1.3 Análise geral sobre a intensidade**

A intensidade é um dos conceitos mais complexos dentro da teoria e metodologia do treino pliométrico. Ainda não existe um consenso definitivo entre os investigadores sobre a determinação da intensidade do treino pliométrico, dificultando a sua defesa. A fim de compreender o valor multidimensional da intensidade pliométrica, precisamos de rever os resultados dos estudos mais atuais sobre o tema.

Foi declarado que a intensidade pliométrica depende da quantidade de tensão exercida sobre os músculos, tecido conjuntivo e articulações (Kossow and Ebben, 2018b). Com base nesta afirmação, um DJ70 não pode ser considerado de alta intensidade, se as ações musculares não forem executadas ao máximo, ou, pelo contrário, pode ser considerado de intensidade excessiva, se forem inibidas devido a uma carga excêntrica demasiado elevada (Ruan and Lee, 2010). Assim, como mencionado acima, a intensidade deve ser diretamente associada a um critério específico e não apenas à AQ. Sobre este tópico, a investigação sugeriu que a intensidade pode ser examinada com base em diferentes parâmetros cinéticos (Ebben et al., 2008b), outros fizeram contribuições analisando a relação entre AQ e intensidade (Wallace et al., 2010, Young et al., 1999, Bobbert et al., 1987b, McNitt-Gray, 1993, Walsh et al., 2004b). Por exemplo, no foram encontradas diferenças biomecânicas nas articulações durante a fase excêntrica de um DJ20 e um DJ40, mas a potência máxima da fase excêntrica era menor no DJ60 do que no DJ40, e os DJ60 e DJ20 apresentam valores semelhantes (Bobbert et al., 1987b). Outro estudo (Wallace et al., 2010) descobriu que os aumentos excêntricos da FRS são diretamente proporcionais à AQ. Este facto é provavelmente devido à aceleração uniforme da gravidade e às estratégias de aterragem dos sujeitos. Se os atletas baterem conscientemente a plataforma na aterragem, as forças excêntricas irão aumentar consideravelmente, modificando assim as principais características do salto. Considerando estes parâmetros, não podemos ignorar a potência de saída como um valor de intensidade pliométrica importante (Di Giminiani and Petricola, 2016, Morin et al., 2019).

Por outro lado, embora a EMG seja criticada pela sua pequena utilidade prática (Ramirez-Campillo et al., 2020d), algumas investigações consideram-no a forma mais importante de avaliar a intensidade pliométrica (Kossow and Ebben, 2018b). Isto é consistente com vários estudos que encontraram maior atividade EMG ao executar um DJ60 e menor atividade com um DJ20, atribuindo um maior nível de intensidade para o DJ60 (Peng et al., 2011). Os exercícios pliométricos realizados com uma flexão na articulação do joelho, mostram uma maior atividade EMG em comparação com os exercícios de ressalto sem flexão na articulação do joelho (Jarvis et al., 2016). O mesmo grupo de investigadores avaliou a atividade do músculo vasto lateral e bíceps femoral durante a fase concêntrica do CMJ e do DJ. Não foram encontradas diferenças significativas para estes grupos musculares durante ambos os exercícios. Isto poderia

indicar que estes dois exercícios, no que diz respeito ao recrutamento de fibras durante a ação concêntrica, não apresentam diferenças significativas de intensidade, mas não significa que produzem o mesmo desempenho de salto, devido à diferença no armazenamento elástico de energia (Ishikawa et al., 2006). Estes resultados são consistentes com resultados previamente investigados (Wallace et al., 2010, Sugisaki et al., 2013). A classificação dos exercícios pliométricos em baixa, média e alta intensidade (Potach and Chu, 2008, Fowler and Lees, 1998b) foi muito criticada. Embora esta classificação (baseada num aumento gradual do nível de intensidade) pareça fazer sentido, a investigação mostrou resultados diferentes no desempenho mecânico dos membros inferiores, dependendo do tipo de exercício pliométrico (Sugisaki et al., 2013). Isto também se reflete noutros estudos que examinam o EMG (Kossow and Ebben, 2018b). Estudos anteriores mostraram que a atividade do EMG para o Tuck Jump é mais elevada para os músculos em torno do tornozelo. Ao mesmo tempo, apenas níveis moderados do impulso neural estão presentes nos músculos em torno do joelho. Estes resultados mostram que a atividade EMG deve ser considerada quando queremos saber qual o tipo de ativação gerado pelos exercícios que o que é sem dúvida um critério de intensidade pliométrica.

Foi também recomendado que a FRS e o impulso sejam considerados fatores que influenciam a intensidade pliométrica, uma vez que permite a comparação de diferentes variantes de exercício (Fowler and Lees, 1998b). Além disso, foi relatado que não existem diferenças nestes indicadores a nível neural quando são realizados exercícios unilaterais e bilaterais (Jarvis et al., 2016). No entanto, pode perder-se algum nível de detalhe se apenas o impulso for utilizado para medir a intensidade, porque o nível máximo de stress mecânico experimentado pelo atleta pode ser conscientemente escondido (Jarvis et al., 2016). Além disso, outras investigações corroboram as diferenças entre o impulso dos diferentes exercícios pliométricos (Ebben et al., 2010). Por conseguinte, recomenda-se a realização de uma combinação entre o FRS e o EMG, como evidenciado em diferentes estudos (Van Lieshout et al., 2014, Kossow and Ebben, 2018b). Outro elemento importante que deve ser considerado durante o DJ para a análise da ação reativa é que o impulso mecânico é igual ao produto do tempo pela força. Assim, a quantidade de força pode ser elevada, mas se o tempo for consideravelmente elevado, a força reativa pode ser afetada. Por conseguinte, o impulso pode não ser uma medida

recomendável para analisar os saltos reativos. Estes meios de avaliação da intensidade são úteis e estão em constante evolução, mas não fazem parte da realidade prática do domínio real da ação do treinador desportivo. A dinâmica da implementação de programas pliométricos não permite que estas avaliações se tornem parte de uma rotina diária de treino. Os reduzidos intervalos de descanso entre exercícios, grandes grupos de trabalho, e a necessidade não satisfeita de profissionais especializados a tempo inteiro durante o treino, limitam a presença e o rigor de protocolos válidos (Bompa and Buzzichelli, 2019).

Conforme a afirmação anterior, alguns investigadores propuseram-se avaliar a intensidade do treino com base no tempo de contacto (Walsh et al., 2004c, Ball et al., 2010), mas a técnica de salto (Bobbert et al., 1987b, Bobbert et al., 1987a) e as estratégias individuais para minimizar o TCS podem mascarar os valores globais de intensidade. Por outro lado, também foi sugerida a AS para avaliar a intensidade (Matic et al., 2015b), mas isto também é influenciado por estratégias técnicas e individuais (Bobbert et al., 1987b, Bobbert et al., 1987a). Idealmente, os atletas deveriam maximizar AS enquanto minimizam o TCS.

O IFR é à medida que tem pretendido resolver as dificuldades antes referidas (Young, 1995), através da utilização de diferentes dispositivos que podem ser facilmente aplicados durante o treino (Montoro-Bombú et al., 2022). Até agora, não encontramos na literatura nenhum estudo que pressuponha que o IFR possa ser considerado uma variável de intensidade pliométrica. Contudo, na sua avaliação, todos os parâmetros necessários para o seu cálculo são coerentes com a avaliação da intensidade. O IFR é normalmente calculado dividindo a AS pelo TCS de um DJ (Ebben and Petushek, 2010b). Entre os estudos que avaliaram o IFR, alguns implementaram um programa de treino simples (Ramirez-Campillo et al., 2016, Ramirez-Campillo et al., 2018a) e outros utilizaram um ensaio controlado duplamente (Bogdanis et al., 2019, Jeffreys et al., 2019, Falch et al., 2022). Estes estudos basearam as suas avaliações em testes de salto tradicional (DJ e CMJ) e AQ de iguais ou superiores 0.40m. Num dos estudos, os atletas foram obrigados a atingir um TCS de  $\leq 250$  ms, e o facto de não o terem feito resultou num novo teste (Ramirez-Campillo et al., 2019). Contudo, o IFR é geralmente considerado altamente modificável, uma vez que a diminuição do TCS compromete a AS, bem como o contrário (Newton and Dugan, 2002, Healy et al., 2018). Portanto, para maximizar o IFR, o atleta

deve expressar uma relação ótima entre o TCS e a AS (Healy et al., 2018). Para estabelecer um valor de IFR correto, recomenda-se que investigadores e profissionais considerem estes critérios na investigação futura e familiarizem cuidadosamente os participantes com este método antes da avaliação, a fim de alcançar pontuações válidas e fiáveis de intensidade. Outro ponto a considerar é a padronização das equações do IFR. De facto, os valores resultantes da divisão do AS pelo TCS (Young, 1995) não são os mesmos que os resultantes da divisão do tempo do voo (TV) pelo TCS (Healy et al., 2018); este último é sempre superior.

Diferentes investigações avaliaram a intensidade pliométrica usando a Escala subjetiva de esforço (ESE) recomendando esta escala como um método viável para avaliar a intensidade pliométrica (Khodaei et al., 2017, Asadi, 2014). Embora a utilização dos métodos sugeridos anteriormente para medir a intensidade seja mais popular entre os cientistas, os instrumentos necessários não estão disponíveis para os profissionais do treino da força (Asadi, 2014). Por este motivo, a investigação sugere que a ESE fornece uma alternativa prática para medir a intensidade do exercício pliométrico. Uma investigação encontrou uma ESE mais elevado para o SJ em comparação com o DJ35 (Asadi, 2014). Estes resultados contradizem outro estudo que mostra que o SJ tinha uma pontuação de intensidade percebida inferior à do DJ, enquanto a pontuação média de intensidade percebida de Tuck Jump, Box Jump, o SJ e o DJ eram apenas "moderados" na escala ESE (Khodaei et al., 2017).

É de notar que estes estudos sobre a ESE tomam uma posição sobre a intensidade pliométrica sem qualquer meio de comparação (EMG, IFR, ou plataformas de força). Isto é motivo de preocupação, dado que pesquisas anteriores encontraram uma relação fraca entre a ESE e a potência de saltos reativos (Müller, 2020). Por conseguinte, há necessidade de mais estudos que avaliem a fiabilidade e validade da ESE para determinar a intensidade pliométrica. Esta é a razão pela qual não incluímos a ESE como um método para medir a intensidade pliométrica nesta tese. Estes critérios ajudam-nos a reforçar a opinião de que a intensidade do treino pliométrico é um fator multidimensional. O desempenho humano é tão diverso que concentrar a medição da intensidade numa única variável é insensato. Cabe ao treinador ou ao cientista desportivo decidir que parâmetros querem medir dentro do programa de treino, e em que fase do processo de treino é mais conveniente avaliar alguns parâmetros do que outros. Por exemplo, o DJ

seguido de um salto reativo horizontal demonstrou ter melhor transferência para a aceleração em distâncias curtas, em comparação com o DJ seguido de um salto reativo vertical que tem melhor transferência em distâncias de sprint mais longas (Krejac et al., 2020, Meylan et al., 2009). Além disso, pode não haver relação entre a produção FRS máxima excêntrica e o IFR, porque a FRS excêntrica é favorecida pelo aumento de AQ (Peng et al., 2017a), enquanto o valor IFR mais elevado requer um AQ ótimo. Estas duas métricas podem ser avaliadas para fins diferentes e em fases diferentes do processo do treino. Apesar de não descartarmos a possibilidade de conhecer a FRS máxima durante o melhor desempenho IFR, estes valores representam dois critérios diferentes para a avaliação da intensidade pliométrica.

#### **2.1.4 Considerações sobre o volume de treino nos estudos incluídos.**

O volume é uma componente da carga do treino que deve ser corretamente estabelecida. Os autores anteriores conceptualizam volume como a quantidade total de atividade a realizar, e pode ser constituída pela soma do trabalho em sessões, semanas, meses e anos (Bompa and Buzzichelli, 2019). No caso do treino pliométrico, o volume é também um critério primário. Deve estar corretamente relacionado com os objetivos a alcançar, fase do processo de treino, características individuais dos atletas e as métricas relacionadas com a intensidade.

Relativamente ao volume do treino, uma meta-análise recomenda uma duração de dez semanas para programas pliométricos e relata que intervenções com mais de 20 sessões de trabalho e mais de 50 saltos por sessão produziram os melhores resultados (de Villarreal et al., 2009). Na mesma linha de investigação indicam também que excelentes resultados podem ser observados em menos de dez semanas (6-8 semanas), relatando que 18 sessões de trabalho e mais de 80 saltos por sessão parecem produzir adaptações positivas (Sáez de Villarreal et al., 2012). Embora vários investigadores partilham estas posições (Gehri et al., 1998, Luebbers et al., 2003, Markovic et al., 2007, de Villarreal et al., 2008), o volume do treino parece ser um parâmetro eminentemente individual. Os estudos anteriormente mencionados (*anexo 2*) apenas relatam médias de grupos nos seus resultados, mas há necessidade de realizar mais estudos analisando a resposta do volume individual. O princípio da individualização do treino (Bompa and Buzzichelli, 2019) apoia esta posição. Volumes pré-determinados podem favorecer alguns atletas fornecendo-lhes um estímulo adequado, mas também podem ser prejudiciais a outros,

dando-lhes um estímulo insuficiente ou excessivo. Não devemos ignorar que os estudos acima mencionados se basearam nas suas recomendações com base em diferentes medidas avaliadas. Neste sentido, pode haver uma diferença no volume do treino para melhorar o FRS prejudicando o IFR. No entanto, este critério requer uma investigação mais aprofundada.

Outra característica comumente observada nos programas de intervenção foi um aumento linear da carga de trabalho ao longo do tempo. Isto é amplamente sugerido na teoria do treino desportivo (Bompa and Buzzichelli, 2019), e também responde ao princípio da sobrecarga progressiva (Kasper, 2019), que, no caso do treino pliométrico significa um aumento da tensão exercida (Ramirez-Campillo et al., 2020e). No entanto, poderia ser considerado um erro metodológico estabelecer aumentos semanais (Ahmadi et al., 2021b) ou quinzenais (do Carmo et al., 2021, Ahmadi et al., 2021b) sem avaliações prévias que garantissem as adaptações pretendidas em AQ e volumes de trabalho individualizados. Nenhum dos programas pliométricos incluídos (*anexo 2*) justifica a razão para o aumento da carga. Esta tese pressupõe que o aumento gradual da carga responde a um critério de adaptação e controlo, pelo que só recomendamos o aumento da carga quando cada atleta individual apresenta uma resposta adaptativa positiva. Todos os estudos anteriormente incluídos selecionaram o incremento do volume de saltos de forma arbitrária e padronizada para todos os participantes. Este é sem dúvida um ponto que precisa de ser reconsiderado em toda a investigação futura.

Em geral, estes critérios permitem-nos ter uma visão geral do estado atual do treino pliométrico e da conceção metodológica que os investigadores têm da análise do volume e intensidade dos saltos de queda. Como se pode observar, existem vários problemas metodológicos aos quais a ciência deve dar respostas. Além disso, existem também outros problemas durante o desempenho da atividade pliométrica que nos propomos abordar nos próximos capítulos.

## **Referências Capítulo II**

---

- AHMADI, M., NOBARI, H., RAMIREZ-CAMPILLO, R., PEREZ-GOMEZ, J., RIBEIRO, A. L. D. & MARTINEZ-RODRIGUEZ, A. 2021. Effects of Plyometric Jump Training in Sand or Rigid Surface on Jump-Related Biomechanical Variables and Physical Fitness in Female Volleyball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.
- ARAZI, H., MOHAMMADI, M. & ASADI, A. 2014. Muscular adaptations to depth jump plyometric training: Comparison of sand vs. land surface. *Interventional Medicine and Applied Science*, 6, 125-130.
- ASADI, A. 2014. Use of rating of perceived exertion for determining plyometric exercises intensity in physically active men. *Sport Sciences for Health*, 10, 75-78.
- ASMUSSEN, E. & BONDE-PETERSEN, F. 1974. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand*, 91, 385-92.
- ASMUSSEN, E. & BONDEPET.F 1974. Storage of Elastic Energy in Skeletal-Muscles in Man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91, 385-392.
- BAECHLE, T. R., EARLE, R. W. & NATIONAL STRENGTH & CONDITIONING ASSOCIATION (U.S.) 2008. *Essentials of strength training and conditioning*, Champaign, IL, Human Kinetics.
- BALL, N. B., STOCK, C. G. & SCURR, J. C. 2010. Bilateral contact ground reaction forces and contact times during plyometric drop jumping. *J Strength Cond Res*, 24, 2762-9.
- BALSALOBRE-FERNANDEZ, C., SANTOS-CONCEJERO, J. & GRIVAS, G. V. 2016. Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 2361-2368.
- BESIER, T. F., LLOYD, D. G., ACKLAND, T. R. & COCHRANE, J. L. 2001. Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1176-1181.
- BOBBERT, M. F. 1990. Drop Jumping as a Training Method for Jumping Ability. *Sports Medicine*, 9, 7-22.

- BOBBERT, M. F., HUIJING, P. A. & VAN INGEN SCHENAU, G. J. 1987a. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 332-8.
- BOBBERT, M. F., HUIJING, P. A. & VAN INGEN SCHENAU, G. J. 1987b. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 339-46.
- BOGDANIS, G. C., TSOUKOS, A., KALOHERI, O., TERZIS, G., VELIGEKAS, P. & BROWN, L. E. 2019. Comparison Between Unilateral and Bilateral Plyometric Training on Single- and Double-Leg Jumping Performance and Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33, 633-640.
- BOMPA, T. O. & BUZZICHELLI, C. 2019. Periodization : theory and methodology of training. Sixth edition. ed. Champaign, IL: Human Kinetics,.
- BOSCO, C., ITO, A., KOMI, P. V., LUHTANEN, P., RAHKILA, P., RUSKO, H. & VIITASALO, J. T. 1982a. Neuromuscular Function and Mechanical Efficiency of Human Leg Extensor Muscles during Jumping Exercises. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 543-550.
- BOSCO, C. & KOMI, P. V. 1979. Potentiation of the Mechanical-Behavior of the Human Skeletal-Muscle through Prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106, 467-472.
- BOSCO, C. & KOMI, P. V. 1980. Influence of Aging on the Mechanical-Behavior of Leg Extensor Muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 45, 209-219.
- BOSCO, C., LUHTANEN, P. & KOMI, P. V. 1983a. A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50, 273-282.
- BOSCO, C., LUHTANEN, P. & KOMI, P. V. 1983b. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50, 273-82.
- BOSCO, C., MOGNONI, P. & LUHTANEN, P. 1983c. Relationship between Isokinetic Performance and Ballistic Movement. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51, 357-364.
- BOSCO, C., TARKKA, I. & KOMI, P. V. 1982b. Effect of Elastic Energy and Myoelectrical Potentiation of Triceps Surae during Stretch-Shortening Cycle Exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 137-140.

- BOSCO, C., TIHANYI, J., KOMI, P. V., FEKETE, G. & APOR, P. 1982c. Store and Recoil of Elastic Energy in Slow and Fast Types of Human Skeletal-Muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 116, 343-349.
- BOSCO, C., TIHANYI, J., LATTERI, F., FEKETE, G., APOR, P. & RUSKO, H. 1986. The Effect of Fatigue on Store and Reuse of Elastic Energy in Slow and Fast Types of Human Skeletal-Muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128, 109-117.
- BOSCO, C., VIITASALO, J. T., KOMI, P. V. & LUHTANEN, P. 1982d. Combined Effect of Elastic Energy and Myoelectrical Potentiation during Stretch-Shortening Cycle Exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 557-565.
- BYRNE, D. J., BROWNE, D. T., BYRNE, P. J. & RICHARDSON, N. 2017. Interday Reliability of the Reactive Strength Index and Optimal Drop Height. *J Strength Cond Res*, 31, 721-726.
- CAVAGNA, G. A. 1975. Force platforms as ergometers. *J Appl Physiol*, 39, 174-9.
- CAVAGNA, G. A. 1977. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev*, 5, 89-129.
- CAVAGNA, G. A. & CITTERIO, G. 1974. Effect of stretching on the elastic characteristics and the contractile component of frog striated muscle. *J Physiol*, 239, 1-14.
- CAVAGNA, G. A., SAIBENE, F. P. & MARGARIA, R. 1965. Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J Appl Physiol*, 20, 157-8.
- CHELLY, M. S., GHENEM, M. A., ABID, K., HERMASSI, S., TABKA, Z. & SHEPHARD, R. J. 2010. Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *J Strength Cond Res*, 24, 2670-6.
- CLEMENTE, F. M., RAMIREZ-CAMPILLO, R., CASTILLO, D., RAYA-GONZÁLEZ, J., RICO-GONZÁLEZ, M., OLIVEIRA, R., ROSEMAN, T. & KNECHTLE, B. 2022. Effects of plyometric jump training on soccer player's balance: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. *Biol Sport*, 39, 765-778.
- CLUTCH, D., WILTON, M., MCGOWN, C. & BRYCE, G. R. 1983. The Effect of Depth Jumps and Weight Training on Leg Strength and Vertical Jump. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, 5-10.
- DE VILLARREAL, E. S., KELLIS, E., KRAEMER, W. J. & IZQUIERDO, M. 2009. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 23, 495-506.

- DE VILLARREAL, E. S. S., GONZALEZ-BADILLO, J. J. & IZQUIERDO, M. 2008. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 715-725.
- DI GIMINIANI, R., GIOVANNELLI, A., CAPUANO, L., IZZICUPO, P., DI BLASIO, A. & MASEDU, F. 2020. Neuromuscular Strategies in Stretch-Shortening Exercises with Increasing Drop Heights: The Role of Muscle Coactivation in Leg Stiffness and Power Propulsion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- DI GIMINIANI, R. & PETRICOLA, S. 2016. The power output-drop height relationship to determine the optimal dropping intensity and to monitor the training intervention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 117-125.
- DIETZ, V., SCHMIDTBLEICHER, D. & NOTH, J. 1979. Neuronal Mechanisms of Human Locomotion. *Journal of Neurophysiology*, 42, 1212-1222.
- DO CARMO, E. C., BARROSO, R., GIL, S., DA SILVA, N. R., BERTUZZI, R., FOSTER, C. & TRICOLI, V. 2021. Can plyometric training change the pacing behaviour during 10-km running? *European Journal of Sport Science*.
- EBBEN, W. P. 2007. Practical Guidelines for Plyometric Intensity. *Performance Training Journal*, 6, 12-16.
- EBBEN, W. P. & PETUSHEK, E. J. 2010. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res*, 24, 1983-7.
- EBBEN, W. P., SIMENZ, C. & JENSEN, R. L. 2008. Evaluation of Plyometric Intensity Using Electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 861-868.
- EBBEN, W. P., VANDERZANDEN, T., WURM, B. J. & PETUSHEK, E. J. 2010. Evaluating plyometric exercises using time to stabilization. *J Strength Cond Res*, 24, 300-6.
- FALCH, H. N., HAUGEN, M. E., KRISTIANSEN, E. L. & VAN DEN TILLAAR, R. 2022. Effect of Strength vs. Plyometric Training upon Change of Direction Performance in Young Female Handball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.
- FLANAGAN, E. P. & COMYNS, T. M. 2008. The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30, 32-38.

- FLANAGAN, E. P., EBBEN, W. P. & JENSEN, R. L. 2008. Reliability of the Reactive Strength Index and Time to Stabilization during Depth Jumps. *J Strength Cond Res*, 22, 1677-1682.
- FOWLER, N. E. & LEES, A. 1998. A comparison of the kinetic and kinematic characteristics of plyometric drop-jump and pendulum exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 260-275.
- GEHRI, D. J., RICARD, M. D., KLEINER, D. M. & KIRKENDALL, D. T. 1998. A comparison of plyometric training techniques for improving vertical jump ability and energy production. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12, 85-89.
- HAKKINEN, K., KOMI, P. V. & ALEN, M. 1985. Effect of Explosive Type Strength Training on Isometric Force-Time and Relaxation-Time, Electromyographic and Muscle-Fiber Characteristics of Leg Extensor Muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125, 587-600.
- HEALY, R., KENNY, I. C. & HARRISON, A. J. 2018. Reactive Strength Index: A Poor Indicator of Reactive Strength? *Int J Sports Physiol Perform*, 13, 802-809.
- HORITA, T., KOMI, P. V., HÄMÄLÄINEN, I. & AVELA, J. 2003. Exhausting stretch-shortening cycle (CAE) exercise causes greater impairment in CAE performance than in pure concentric performance. *Eur J Appl Physiol*, 88, 527-34.
- ISHIKAWA, M., KOMI, P. V., FINNI, T. & KUITUINEN, S. 2006. Contribution of the tendinous tissue to force enhancement during stretch-shortening cycle exercise depends on the prestretch and concentric phase intensities. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16, 423-431.
- JACOBS, K., RIVEROS, D., VINCENT, H. K. & HERMAN, D. C. 2021. The effect of landing surface on landing error scoring system grades. *Sports Biomech*, 20, 190-197.
- JARVIS, M. M., GRAHAM-SMITH, P. & COMFORT, P. 2016. A Methodological Approach to Quantifying Plyometric Intensity. *Journal of strength and conditioning research*, 30, 2522-2532.
- JEFFREYS, M. A., DE STE CROIX, M. B. A., LLOYD, R. S., OLIVER, J. L. & HUGHES, J. D. 2019. The Effect of Varying Plyometric Volume on Stretch-Shortening Cycle Capability in Collegiate Male Rugby Players. *J Strength Cond Res*, 33, 139-145.
- JENSEN, R. L. & EBBEN, W. P. 2007. Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 763-767.

- KASPER, K. 2019. Sports Training Principles. *Current Sports Medicine Reports*, 18.
- KHODAEI, K., MOHAMMADI, A. & HAMEDINIA, M. R. 2017. Evaluation of plyometric exercises intensity using ratings of perceived exertion scale. *Medicina Dello Sport*, 70, 299-306.
- KOBAL, R., NAKAMURA, F. Y., KITAMURA, K., ABAD, C. C. C., PEREIRA, L. A. & LOTURCO, I. 2017. Vertical and depth jumping performance in elite athletes from different sports specialties. *Science & Sports*, 32, E191-E196.
- KOMI, P. V. & BOSCO, C. 1978a. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports*, 10, 261-5.
- KOMI, P. V. & BOSCO, C. 1978b. Utilization of Stored Elastic Energy in Leg Extensor Muscles by Men and Women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10, 261-265.
- KOSSOW, A. J. & EBBEN, W. P. 2018a. Kinetic Analysis of Horizontal Plyometric Exercise Intensity. *J Strength Cond Res*, 32, 1222-1229.
- KOSSOW, A. J. & EBBEN, W. P. 2018b. Kinetic Analysis of Horizontal Plyometric Exercise Intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32, 1222-1229.
- KREJAC, K., ZVAN, M., PEHAREC, S. & COH, M. 2020. Correlation of handgrip strength with vertical and horizontal plyometric jumps. *Kinesiologia Slovenica*, 26, 78-95.
- LANNERSTROM, J., NILSSON, L. C., CARDINALE, D. A., BJORKLUND, G. & LARSEN, F. J. 2021. Effects of Plyometric Training on Soft and Hard Surfaces for Improving Running Economy. *Journal of Human Kinetics*, 79, 187-196.
- LAWTON, T. W., CRONIN, J. B. & LINDSELL, R. P. 2006. Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20, 172-176.
- LEE, H. M., OH, S. & KWON, J. W. 2020. Effect of Plyometric versus Ankle Stability Exercises on Lower Limb Biomechanics in Taekwondo Demonstration Athletes with Functional Ankle Instability. *Int J Environ Res Public Health*, 17.
- LEES, A. & FAHMI, E. 1994a. Optimal drop heights for plyometric training. *Ergonomics*, 37, 141-8.
- LEES, A. & FAHMI, E. 1994b. Optimal drop heights for plyometric training. *Ergonomics*, 37, 141-148.

- LUEBBERS, P. E., POTTEIGER, J. A., HULVER, M. W., THYFAULT, J. P., CARPER, M. J. & LOCKWOOD, R. H. 2003. Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *J Strength Cond Res*, 17, 704-9.
- MARGARIA, R., MILIC-EMILI, G., PETIT, J. M. & CAVAGNA, G. 1960. Mechanical work of breathing during muscular exercise. *J Appl Physiol*, 15, 354-8.
- MARKOVIC, G., JUKIC, I., MILANOVIC, D. & METIKOS, D. 2007. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res*, 21, 543-9.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015a. Optimum drop height for maximizing power output in drop jump: the effect of maximal muscle strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 3300-3310.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015b. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 3300-3310.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015c. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29.
- MCNITT-GRAY, J. L. 1993. Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *J Biomech*, 26, 1037-46.
- MEYLAN, C., MCMASTER, T., CRONIN, J., MOHAMMAD, N. I., ROGERS, C. & DEKLERK, M. 2009. Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and change-of-direction performance. *J Strength Cond Res*, 23, 1140-7.
- MILLER, M. G., BERRY, D. C., BULLARD, S. & GILDERS, R. 2002. Comparisons of land-based and aquatic-based plyometric programs during an 8-week training period. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11, 268-283.
- MONTORO-BOMBÚ, R., DE LA PAZ ARENCIBIA, L., BUZZICHELLI, C., MIRANDA-OLIVEIRA, P., FERNANDES, O., SANTOS, A. & RAMA, L. 2022. The Validity of the Push Band 2.0 on the Reactive Strength Index Assessment in Drop Jump. *Sensors*, 22, 4724.

- MONTORO-BOMBÚ, R., SARMENTO, H., BUZZICHELLI, C., MOURA, N. A., GONZÁLES BADILLO, J. J., SANTOS, A. & RAMA, L. 2023. Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Frontiers in Physiology*, 14.
- MORAN, J., CLARK, C. C. T., RAMIREZ-CAMPILLO, R., DAVIES, M. J. & DRURY, B. 2019. A Meta-Analysis of Plyometric Training in Female Youth: Its Efficacy and Shortcomings in the Literature. *J Strength Cond Res*, 33, 1996-2008.
- MORAN, J., RAMIREZ-CAMPILLO, R., LIEW, B., CHAABENE, H., BEHM, D. G., GARCÍA-HERMOSO, A., IZQUIERDO, M. & GRANACHER, U. 2021. Effects of Bilateral and Unilateral Resistance Training on Horizontally Orientated Movement Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*, 51, 225-242.
- MORIN, J.-B., JIMÉNEZ-REYES, P., BRUGHELLI, M. & SAMOZINO, P. 2019. When Jump Height is not a Good Indicator of Lower Limb Maximal Power Output: Theoretical Demonstration, Experimental Evidence and Practical Solutions. *Sports Medicine*, 49, 999-1006.
- MÜLLER, C. L., ET AL. 2020. Correlação Entre Percepção Subjetiva Do Esforço E Fadiga Neuromuscular Dos Membros Inferiores Em Atletas De Futebol. *Caderno De Educação Física E Esporte* 18.
- NEWTON, R. U. & DUGAN, E. 2002. Application of strength diagnosis. *Strength and Conditioning Journal*, 24, 50-59.
- NOBRE, G. G., DE ALMEIDA, M. B., NOBRE, I. G., DOS SANTOS, F. K., BRINCO, R. A., ARRUDA-LIMA, T. R., DE-VASCONCELOS, K. L., DE-LIMA, J. G., BORBA-NETO, M. E., DAMASCENO-RODRIGUES, E. M., SANTOS-SILVA, S. M., LEANDRO, C. G. & MOURA-DOS-SANTOS, M. A. 2017. Twelve Weeks of Plyometric Training Improves Motor Performance of 7- to 9-Year-Old Boys Who Were Overweight/Obese: A Randomized Controlled Intervention. *J Strength Cond Res*, 31, 2091-2099.
- PEDLEY, J. S., LLOYD, R. S., READ, P. J., MOORE, I. S., MYER, G. D. & OLIVER, J. L. 2022. A Novel Method to Categorize Stretch-Shortening Cycle Performance Across Maturity in Youth Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36, 2573-2580.
- PENG, H. T., KERNOZEK, T. W. & SONG, C. Y. 2011. Quadricep and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height. *Physical Therapy in Sport*, 12, 127-132.

- PENG, H. T., KHUAT, C. T., KERNOZEK, T. W., WALLACE, B. J., LO, S. L. & SONG, C. Y. 2017. Optimum Drop Jump Height in Division III Athletes: Under 75 % of Vertical Jump Height. *International Journal of Sports Medicine*, 38, 842-846.
- PEREIRA, L. A., BOULLOSA, D., MOURA, T., MERCER, V. P., FERNANDES, V., BISHOP, C. & LOTURCO, I. 2022. Post-Activation Performance Enhancement in Sprinters: Effects of Hard Versus Sand Surfaces. *Journal of Human Kinetics*, 82, 173-180.
- POTACH, D. H. & CHU, D. A. 2008. Essentials of strength training and conditioning. In: BAECHLE, T. R. & EARLE, R. W. (eds.) *Plyometric training*. 3 ed.: Human Kinetics.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ALVAREZ, C., GARCIA-PINILLOS, F., SANCHEZ-SANCHEZ, J., YANCI, J., CASTILLO, D., LOTURCO, I., CHAABENE, H., MORAN, J. & IZQUIERDO, M. 2018a. Optimal Reactive Strength Index: Is It an Accurate Variable to Optimize Plyometric Training Effects on Measures of Physical Fitness in Young Soccer Players? *J Strength Cond Res.*, 32, 885-893.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ALVAREZ, C., GARCÍA-PINILLOS, F., SANCHEZ-SANCHEZ, J., YANCI, J., CASTILLO, D., LOTURCO, I., CHAABENE, H., MORAN, J. & IZQUIERDO, M. 2018b. Optimal Reactive Strength Index: Is It an Accurate Variable to Optimize Plyometric Training Effects on Measures of Physical Fitness in Young Soccer Players? *J Strength Cond Res*, 32, 885-893.
- RAMÍREZ-CAMPILLO, R., ANDRADE, D. C. & IZQUIERDO, M. 2013. Effects of plyometric training volume and training surface on explosive strength. *J Strength Cond Res*, 27, 2714-22.
- RAMÍREZ-CAMPILLO, R., BURGOS, C. H., HENRÍQUEZ-OLGUÍN, C., ANDRADE, D. C., MARTÍNEZ, C., ÁLVAREZ, C., CASTRO-SEPÚLVEDA, M., MARQUES, M. C. & IZQUIERDO, M. 2015. Effect of unilateral, bilateral, and combined plyometric training on explosive and endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 29, 1317-28.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., GALLARDO, F., HENRIQUEZ-OLGUIN, C., MEYLAN, C. M., MARTINEZ, C., ALVAREZ, C., CANIUQUEO, A., CADORE, E. L. & IZQUIERDO, M. 2015. Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 29, 1784-95.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., GARCIA-PINILLOS, F., GARCIA-RAMOS, A., YANCI, J., GENTIL, P., CHAABENE, H. & GRANACHER, U. 2018c. Effects of Different

Plyometric Training Frequencies on Components of Physical Fitness in Amateur Female Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 9.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., MORAN, J., CHAABENE, H., GRANACHER, U., BEHM, D. G., GARCIA-HERMOSO, A. & IZQUIERDO, M. 2020a. Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review update. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30, 983-997.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., MORAN, J., CHAABENE, H., GRANACHER, U., BEHM, D. G., GARCIA-HERMOSO, A. & IZQUIERDO, M. 2020b. Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review update. *Scand J Med Sci Sports*, 30, 983-997.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., MORAN, J., CHAABENE, H., GRANACHER, U., BEHM, D. G., GARCÍA-HERMOSO, A. & IZQUIERDO, M. 2020c. Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review update. *Scand J Med Sci Sports*, 30, 983-997.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., MORAN, J., DRURY, B., WILLIAMS, M., KEOGH, J. W., CHAABENE, H. & GRANACHER, U. 2019. Effects of Equal Volume But Different Plyometric Jump Training Intensities on Components of Physical Fitness in Physically Active Young Males. *J Strength Cond Res*.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., PEREIRA, L. A., ANDRADE, D. C., MENDEZ-REBOLLEDO, G., DE LA FUENTE, C. I., CASTRO-SEPULVEDA, M., GARCIA-PINILLOS, F., FREITAS, T. T. & LOTURCO, I. 2021. Tapering strategies applied to plyometric jump training: a systematic review with meta-analysis of randomized-controlled trials. *J Sports Med Phys Fitness*, 61, 53-62.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., VERGARA-PEDREROS, M., HENRIQUEZ-OLGUIN, C., MARTINEZ-SALAZAR, C., ALVAREZ, C., NAKAMURA, F. Y., DE LA FUENTE, C. I., CANIUQUEO, A., ALONSO-MARTINEZ, A. M. & IZQUIERDO, M. 2016. Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 34, 687-693.

RUAN, M. F. & LI, L. 2010. Approach run increases preactivation and eccentric phases muscle activity during drop jumps from different drop heights. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 932-938.

SÁEZ DE VILLARREAL, E., REQUENA, B. & CRONIN, J. B. 2012. The effects of plyometric training on sprint performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 26, 575-84.

- SANCHEZ-SIXTO, A., HARRISON, A. J. & FLORIA, P. 2021. Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 77, 25-35.
- SCHMIDTBLEICHER, D. & HARALAMBIE, G. 1981. Changes in Contractile Properties of Muscle after Strength Training in Man. *European Journal of Applied Physiology*, 46, 221-228.
- SECHENOV, I. M. & MIKHAILOVICH, I. 1863. *Physiologische studien über die Hemmungsmechanismen für die reflexthätigkeit des Rückenmarks im gehirne des Frosches*, Berlin : August Hirschwald.
- SEDANO, S., VAEYENS, R., PHILIPPAERTS, R. M., REDONDO, J. C., DE BENITO, A. M. & CUADRADO, G. 2009. Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23, 1714-1722.
- STRUZIK, A., JURAS, G., PIETRASZEWSKI, B. & ROKITA, A. 2016. Effect of Drop Jump Technique on the Reactive Strength Index. *Journal of Human Kinetics*, 52, 157-164.
- SUGISAKI, N., OKADA, J. & KANEHISA, H. 2013. Intensity-level assessment of lower body plyometric exercises based on mechanical output of lower limb joints. *Journal of Sports Sciences*, 31, 894-906.
- SWANN, C., MORAN, A. & PIGGOTT, D. 2015. Defining elite athletes: Issues in the study of expert performance in sport psychology. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 3-14.
- TAUBE, W., LEUKEL, C. & GOLLHOFER, A. 2012. How Neurons Make Us Jump: The Neural Control of Stretch-Shortening Cycle Movements. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40, 106-115.
- TERZIS, G., SPENGOS, K., METHENITIS, S., AAGAARD, P., KARANDREAS, N. & BOGDANIS, G. 2016. Early phase interference between low-intensity running and power training in moderately trained females. *Eur J Appl Physiol*, 116, 1063-73.
- TURNER, A. N. & JEFFREYS, I. 2010. The Stretch-Shortening Cycle: Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength and Conditioning Journal*, 32, 87-99.
- VAN DE HOEF, P. A., BRINK, M. S., HUISSTEDE, B. M. A., VAN SMEDEN, M., DE VRIES, N., GOEDHART, E. A., GOUTTEBARGE, V. & BACKX, F. J. G. 2019. Does a bounding exercise program prevent hamstring injuries in adult male soccer players? - A cluster-RCT. *Scand J Med Sci Sports*, 29, 515-523.

- VAN LIESHOUT, K. G., ANDERSON, J. G., SHELBURNE, K. B. & DAVIDSON, B. S. 2014. Intensity rankings of plyometric exercises using joint power absorption. *Clinical Biomechanics*, 29, 918-922.
- VERKHOSHANSKY, U. V. & CHERNOUSOV, G. 1974. Jumps in the training of the sprinter. *Yessis Review of Soviet Physical Education & Sports*, 9, 62-66.
- VIITASALO, J. T. & BOSCO, C. 1982. Electro-Mechanical Behavior of Human Muscles in Vertical Jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 48, 253-261.
- VIITASALO, J. T., SALO, A. & LAHTINEN, J. 1998. Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 432-40.
- VOIGT, M., SIMONSEN, E. B., DYHREPOULSEN, P. & KLAUSEN, K. 1995. Mechanical and Muscular Factors Influencing the Performance in Maximal Vertical Jumping after Different Prestretch Loads. *Journal of Biomechanics*, 28, 293-307.
- WALLACE, B. J., KERNOZEK, T. W., WHITE, J. M., KLINE, D. E., WRIGHT, G. A., PENG, H. T. & HUANG, C. F. 2010. Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. *J Strength Cond Res*, 24, 207-12.
- WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRUGGEMANN, G. P. 2004a. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-6.
- WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRÜGGEMANN, G. P. 2004b. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-6.
- WALSHE, A. D., WILSON, G. J. & ETTEMA, G. J. 1998. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *J Appl Physiol (1985)*, 84, 97-106.
- WIKSTROM, E. A., POWERS, M. E. & TILLMAN, M. D. 2004. Dynamic Stabilization Time After Isokinetic and Functional Fatigue. *J Athl Train*, 39, 247-253.
- WILT, F. 1976. Plyometrics. *Track Technique*, 63, 1992; 2022.
- Y.VERKHOSHANSKY 2006. *Todo sobre el metodo pliométrico* Barcelona, ES: Paidotribo.
- YOUNG, W. 1995. Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics* [Online].
- YOUNG, W. B. 2006. Transfer of Strength and Power Training to Sports Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 74-83.

- YOUNG, W. B., PRYOR, J. F. & WILSON, G. J. 1995. Effect of Instructions on characteristics of Countermovement and Drop Jump Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 9, 232-236.
- YOUNG, W. B., WILSON, G. J. & BYRNE, C. 1999. A comparison of drop jump training methods: effects on leg extensor strength qualities and jumping performance. *Int J Sports Med*, 20, 295-303.
- ZUBAC, D., PARAVLIĆ, A., KOREN, K., FELICITA, U. & ŠIMUNIČ, B. 2019. Plyometric exercise improves jumping performance and skeletal muscle contractile properties in seniors. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 19, 38-49.

## **CAPÍTULO III**

### **Métodos e procedimentos**



## CAPÍTULO III: Métodos e procedimentos

---

A tese é constituída por quatro estudos realizados entre janeiro de 2021 e dezembro de 2022. Os trabalhos de investigação foram aprovados pela Comissão de Ética da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra com o código: CE/FCDEF-UC/00802021. A conceção da tese tem correspondência com uma sequência de estudos detalhados na tabela 2:

Tabela 2. Características básicas de cada estudo.

Estudos	Desenho de estudo	Amostra	Variáveis de estudo
1	Aleatório de medidas repetidas numa única sessão	n= 56 (atletas de ambos sexos)	Validade e fiabilidade de dispositivos na avaliação do IFR durante o DJ a partir de 0.30m de altura.
2	Aleatório de medidas repetidas numa única sessão	n= 10 (atletas masculinos de alto nível)	Diferenças da força reativa entre grupos a diferentes alturas (DJ20, DJ30, DJ40, DJ50, DJ60)
3	Aleatório de medidas repetidas numa única sessão	n= 16 (atletas masculinos de alto nível)	Diferenças entre os exercícios pliométricos DJ e HDJ, com controlo das seguintes variáveis: TCS, TV, TFE, TFC, TPFc, FRSE, FRSc, IE, IC, Pt, e TDFc
4	Transversal, aleatório cruzado e de medidas repetidas	n= 29 (atletas masculinos de nível nacional)	Um programa de treino Pliométrico baseado no IIFR sobre as variáveis de desempenho IHP, 60m, TSP e IFR.

IRF = Índice de força reativa; IIFR = Índice integral de força reativa; DJ = Drop Jump; HDJa = eixo ântero-posterior do DJ horizontal; HDJv = eixo vertical do DJ horizontal; TCS = tempo de contacto com o solo; TV = tempo de voo; TFE = tempo da fase excêntrica; TFC = tempo da fase concêntrica; TPFc = tempo até o pico de força concêntrica; IE = impulse excêntrico; IC = Impulse concêntrico; FRSE = forças de reação do solo na fase excêntrica; FRSc = forças de reação do solo na fase concêntrica; Pt = potência máxima; TDFe = A taxa de força decrescente

### 3.1 Amostra

Foram recrutadas para este estudo 111 pessoas, das quais 34 eram estudantes universitários, 51 eram atletas nacionais de voleibol e atletismo, enquanto 26 eram atletas de atletismo de alto rendimento (velocidade e saltos). Os critérios de inclusão adotados foram: (1) mais de dois anos de treino regular com participação competitiva; (2) experiência anterior em treino pliométrico; (3) ausência de eventos patológicos

significativos ou traumáticos anteriores afetando nos membros inferiores; (4) nenhuma condição atual de pés planos. Os participantes foram também instruídos a evitar exercício intenso 24 h antes da sessão de avaliação e estiveram informados sobre os procedimentos experimentais, possíveis danos, e benefícios do estudo, e deram o seu consentimento por escrito.

### **3.2 Procedimentos adotados no controlo das variáveis de interesse**

#### **Impulsão horizontal parada**

A impulsão horizontal parada (IHP) em plataforma foi medida com os dois pés juntos à largura dos ombros, efetuaram um impulso horizontal potente com os braços livres, tentando maximizar a distância horizontal do salto. Uma linha foi colocada na plataforma de força como referência inicial. O comprimento do salto foi determinado com uma fita métrica metálica (Metal Works, Concesio, Italy). A distância do melhor salto, foi medida com uma precisão de  $\pm 0,01\text{m}$ , a partir da linha até o ponto em que o calcanhar pousou mais próximo da linha de partida, conforme relatado anteriormente (Almuzaini and Fleck, 2008). Para o IHP na caixa de areia (pista de atletismo) todos os atletas usaram sapatilhas de atletismo especializadas e colocaram-se atrás de uma linha a 0.10m de distância da caixa de areia e repetindo o mesmo movimento descrito acima.

#### **Drop Jump**

Para os DJ, os atletas foram instruídos a realizar o esforço máximo, visando diminuir o Tempo de contato com o solo (TCS) e aumentar o tempo de voo (TV). O Take OFF e a aterragem de cada atleta foram padronizadas seguindo o protocolo de salto (Ramirez-Campillo et al., 2014b). As tentativas de DJ20 foram efetuadas com uma plataforma de força (PF) a uma distância de 0.10m da caixa de saltos. Para as tentativas DJ30 e DJ40, a PF estava a 0.15m da caixa de saltos, enquanto as tentativas DJ50 e DJ60 estavam a 0.20m. A recuperação entre tentativas da mesma altura de queda (AQ) foi de 1 minuto e entre alturas diferentes AQ de 4 minutos.

### **Drop Jump Horizontal**

As tentativas de Drop Jump horizontal (HDJ) foram realizadas com balanço dos braços, procurando que os atletas apresentassem um TCS mais reduzido, e deslocando-se em direção à horizontal para maximizar a distância do salto. Foram eliminados os saltos que: (i) apresentassem contactos assimétricos, e (ii) não apresentassem contacto com a plataforma de força. Durante o HDJ, os atletas foram informados que o TCS com o PF deveria ser o mais próximo possível da linha marcada para o IHP em plataforma. A distância do salto coberto foi medida seguindo as mesmas indicações do IHP em plataforma. Foi dado um intervalo de descanso de 1 minuto entre saltos do mesmo AQ e 4 minutos entre as diferentes AQ.

### **Corrida de 60 metros**

A Corrida de 60 m realizou-se numa pista sintética oficial. Todos os atletas usaram sapatilhas de bicos. Os tempos foram registados com fotocélulas (Microgate, Bolzano, Itália), colocadas 0,15m antes da linha de partida e 0.50m acima do nível do solo. A partida foi padronizada para todos, com três pontos (típico do atletismo). Todos os atletas efetuaram o arranque individualmente, pelo que não foi dado qualquer estímulo verbal para iniciar o teste. Por este motivo, os tempos foram registados sem considerar o tempo de reação. Os atletas efetuaram duas tentativas com um tempo de recuperação de 8 a 10 minutos recuperação ativa, entre as duas. A melhor das duas tentativas foi registada para análise dos dados.

### **Triplo salto parado**

O teste do triplo salto parado (TSP) foi efetuado a 7,50 metros da caixa de areia. A partir de uma posição estática, com os pés separados à largura dos ombros, os atletas realizaram um impulso horizontal, seguido de um HOP, um Step e um salto em direção ao caixa de areia (primeira perna de apoio conforme a escolha do atleta). Os atletas efetuaram duas tentativas de TSP com aproximadamente 3-4 min de recuperação ativa. Após cada salto, a areia era alisada para a tornar plana e pronta para a tentativa seguinte. Os dados foram registados com uma fita métrica de 50 metros (Metal Works, Concesio,

Itália), tendo como referência a última pegada deixada pelo atleta na areia. Para a análise dos dados, foi registada a melhor das duas tentativas de salto.

### **Teste de 1 RM (medio-agachamento)**

Realizado em posição vertical, com o corpo totalmente estendido, pés afastados à largura dos ombros e ambos os pés apoiados no chão em paralelo. A barra era apoiada nas costas, ao nível do acrómio. A partir desta posição, o atleta deveria efetuar o movimento contínuo de meio agachamento a partir de um ângulo da articulação do joelho de 90° e depois subir o mais rápido possível até à extensão total do joelho (180°), sem permitir a extensão do tornozelo (Rodríguez-Fernández et al., 2021).

### **3.3 Recolha dos dados**

O TCS foi registado definido pelo momento em que 10 N foi ultrapassado até que 10 N foram perdidos durante o contacto. Para o DJ, o TV foi registado a partir do momento em que se perdeu 10 N até ao momento em que se ultrapassou 10 N na segunda aterragem (Simpson et al., 2018). No HDJ, o TV foi fornecido pelo equipamento OPT. O tempo da fase excêntrica ( $TF_E$ ) e o tempo da fase concêntrica ( $TF_C$ ) foram delimitadas quando a velocidade do centro de massa era próxima ou igual a zero (*equação 1*). Este cálculo foi determinado pelo rácio de variação da quantidade de movimento, que é igual ao impulso aplicado, que é a integral (método trapezoidal) dos dados força-tempo (Hori et al., 2009a). O tempo do pico de força concêntrica ( $TPF_C$ ) foi reconhecido como o tempo decorrido desde o contacto até que o pico de força que foi atingido na fase concêntrica (figura 2). O impulso excêntrico ( $I_E$ ) e o impulso concêntrico ( $I_C$ ) foram delimitados a partir da velocidade (*equação 2*). A  $FRS_E$  foi reconhecida como a força máxima durante a fase excêntrica, e a  $FRS_C$  como a força máxima durante a fase concêntrica. A Pt de pico foi calculada multiplicando a força pela velocidade instantânea (Haff and Nimphius, 2012). O  $TDF_e$  foi modificado de referências anteriores (Rodríguez-Rosell et al., 2018, Jensen and Ebben, 2007) e obtido usando a *equação 3*. Os dados do  $TDF_e$  foram extraídos do declive da força-tempo no eixo vertical, a partir do pico máximo do  $FRS_C$ , até à força mais elevada atingida 30 ms antes do take-off (F130 ms) (Hori et al., 2009a).

$$(1) \quad \mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \int \mathbf{a} \times dt$$

Onde  $v$  é a velocidade do centro de massa,  $v_0$  é a velocidade inicial de aterragem;  $a$  é a aceleração da gravidade, e  $dt$  é a variação do tempo.

$$(2) \quad I_x(t) = m \times v_x(t)$$

Onde:  $I$  é o impulso,  $m$  é a massa corporal do indivíduo e  $v$  é a velocidade.

$$(3) \quad TDFe = \frac{PFc - FI30 \text{ ms}}{\Delta t}$$

aqui: TDFe foi descrita acima como a taxa de desenvolvimento da força durante a descolagem, PFc é o pico de força da fase concêntrica, FI30 ms é a última força registada 30 ms antes da descolagem, e  $\Delta t$  é o tempo decorrido entre PFE e FI30 ms

O IFR foi calculado utilizando a equação 4 (Ebben and Petushek, 2010b).

$$(4) \quad IFR = AS / TCS$$

Aqui: IFR = índice de força reativa, AS = altura do salto e TCS = tempo de contato com o solo.

Capacidade reativa (RC) foi avaliada utilizando a equação 5: (Y. Verkhoshansky, 2006)

$$(5) \quad RC = AS / AQ$$

Aqui: RC = capacidade reativa, AS = altura do salto e AQ = altura da queda.

Onde AQ e AS já foram descritos anteriormente. Estas equações podem ser consideradas as mais práticas, uma vez que a sua avaliação pode ser efetuada com qualquer equipamento validado de interrupção de saltos ou com diferentes dispositivos com acelerômetros que forneçam esta variável (Montoro-Bombú et al., 2022, Montoro-Bombú et al., 2022).

Para integrar os efeitos da AQ na fórmula do IFR, foi desenvolvida uma nova variável, a que chamamos índice integral de força reativa (IIFR), obtida pela equação 6:

$$(6) \quad IIFR = IFR - RC$$

Aqui: IIFR = índice integral de força reativa e RC = capacidade reativa.

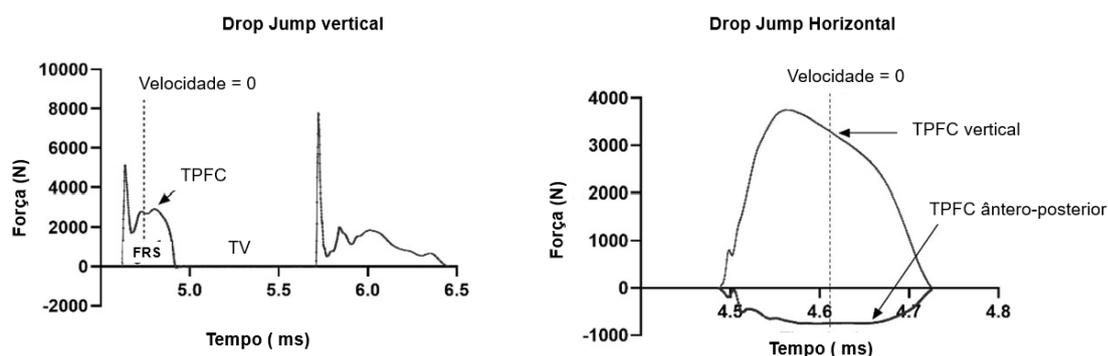


Figura 2: Critérios de seleção para variáveis.

### 3.4 Medidas antropométricas

Antes da realização dos testes, foram registadas a estatura, a massa corporal e a idade dos sujeitos. A estatura foi medida num estadiómetro com uma precisão de 0,01m (Bodymeter 206, SECA, Hamburgo, Alemanha). A massa corporal foi avaliada (escala fornecida pela plataforma) com uma precisão de 0,1 kg. O índice de massa corporal foi determinado considerando as medidas corporais mencionadas acima (Salami et al., 2010) e conforme a equação 7:

$$(7) \quad IMC = \text{massa corporal (kg)} / \text{estatura (m}^2)$$

### 3.5 Instrumentos

Nos exercícios de saltos foi utilizada uma PF (Kistler Modelo 9260AA6, Winterthur, Suíça) com uma dimensão de 0,6m × 0,4m × 0,05m. A PF foi configurada para recolher os dados com uma taxa de amostragem de 1000 Hz, utilizando a interface (Kistler Modelo 9260AA6). Os dados foram analisados utilizando o software Bioware 5.3.2.9 (Winterthur, Suíça), conforme as instruções do fabricante.

Foi igualmente usado o sistema de medição de contacto ótico (OPT) Optojump-nexX30 (Bolzano, Itália), fixado em ambas as extremidades da PF, que recolheu o TV durante o HDJ bem como para as validações de dispositivos. O sistema de câmara OPT também foi utilizado nos estudos de comparação para corroborar as distâncias de salto, no caso de os atletas movimentarem-se fora do lugar após a segunda aterragem na plataforma de madeira.

Push Band 2.0 é um dispositivo que funciona com PUSHCore, Toronto, ON, Canadá (Figura 3), e é o último algoritmo para utilizar um acelerômetro triaxial para fornecer dados de pico e velocidade média, com uma gama completa de  $\pm 16$  g e uma sensibilidade de 2048 bits/g. Incorpora um giroscópio 3D com uma gama completa de  $\pm 2000$  graus/s e uma sensibilidade de 16,4 bits. Mede a velocidade vertical instantânea com uma taxa de amostragem de 1000 Hz. Tem uma bateria recarregável de polímero de lítio com um ciclo de carga de 1,5 horas com um consumo de energia de 50 mA durante a carga. Tem 77,5 mm de altura, 55,3 mm de largura, 15 mm de profundidade, e pesa 32 g. Este equipamento é compatível com iOS 12 e superior ou Android 7.0 e superior usando Bluetooth 4.2 e superior protocolo de transmissão. Foi instalado conforme as especificações da marca, e os dados recolhidos foram registados num tablet de Yoga da Lenovo e no sistema operativo Android 9. O PB2.0 regista a altura dos saltos usando a seguinte equação 8 (Bosco et al., 1983):

$$(8) \quad AS = 9.81 / 8 * TV^2$$

Aqui: AS = altura do salto, 9.81 = é uma constante gravitacional,  $TV^2$  = O valor do tempo de voo ao quadrado.

O dispositivo IMU continha dois acelerómetros integrados (um  $\pm 2$  G, 16 bit e o outro  $\pm 16$  G, 14 bit), um giroscópio ( $\pm 250$ -2000 DPS, 16bit) e um magnetómetro ( $\pm 49$  GAUSS, 16 bit, taxa de amostragem: 50-1.000 Hz). Um dispositivo Android 7.0 mostrou os dados sendo exportado com extensão. csv file para análises posteriores. O dispositivo IMU calculou HJ usando a equação 8.

### 3.6 Analise estatística

O cálculo da validade entre dispositivos foi determinado utilizando a seguinte estratégia: 1) as diferenças médias através do teste T. 2) o teste de Bland-Altman, e 3) o cálculo da correlação intraclasse (ICC). O teste T de uma amostra foi utilizado para verificar se as medições comunicadas pelos dispositivos eram estatisticamente  $\neq 0$ . Este foi considerado o primeiro indicador de validade. O teste de Bland-Altman utilizou-se para verificar o nível de concordância entre os dispositivos. Foi executado um modelo

simples de regressão linear para verificar potenciais vies entre os dois dispositivos. A variável dependente era a diferença média, e a variável independente era as médias das duas medidas. O nível significância foi estabelecido ( $p \leq 0,05$ ). O ICC foi utilizado na análise de todas as variáveis de medida. Sustentado no cálculo terciário dos dados CGT, considerámos três grupos conforme o nível de desempenho CGT e realizámos análises de fiabilidade separadas em conformidade. As estimativas da ICC e os seus intervalos de 95% de confiança baseados no modelo de efeito misto de 2 vias (Shrout and Fleiss, 1979). Os limiares de ICC foram considerados pobres ( $<0,5$ ), moderados ( $0,5-0,75$ ), bons ( $0,75-0,9$ ) e excelentes ( $>0,9$ ). A força das correlações ( $r$ ) foi interpretada da seguinte forma:  $r = 0,00-0,10$  foi considerado trivial,  $r = 0,11-0,30$  foi considerado pequeno,  $r = 0,31-0,50$  foi considerado moderado,  $r = 0,51-0,70$  foi considerado grande,  $r = 0,71-0,90$  foi considerado muito grande, e  $r = 0,91-1,0$  foi considerado quase perfeito (Cohen 1988). O erro padrão da média (SEM) foi utilizado para reportar o erro padrão das medições, juntamente com o coeficiente da variação (CV) que permitiu verificar a fiabilidade absoluta aceitável seguindo recomendações anteriores ( $CV >10\%$  = pobre,  $5-10\%$  = moderado,  $<5\%$  = bom) (Banyard et al., 2017, Lake et al., 2019). A concordância absoluta foi escolhida para o desenho do estudo de teste-reteste (Koo and Li, 2016). Alpha foi fixado em  $p \leq 0,05$ .

Quando foi detetado que os dados não cumpriam os pressupostos da normalidade e não eram homogéneos, foi utilizado o teste não paramétrico Mann Whitney, que permitiu detetar diferenças entre os grupos diferentes. O teste ANOVA de Kruskal-Wallis de uma via foi utilizado para estabelecer diferenças em medidas repetidas para um mesmo grupo. Os ajustes para comparações múltiplas foram efetuados mediante teste post hoc de Bonferroni. O nível  $\alpha$  foi fixado em  $p \leq 0,05$ . A correlação de Spearman também foi usada para determinar a correlação entre RC vs. IFR. O teste de Wilcoxon foi utilizado para testar as diferenças estatísticas entre DJ vs. HDJ para cada AS. Quando detetando-se que os dados cumpriam os pressupostos da normalidade e eram homogéneos, foi utilizado ANOVA de medidas repetidas, utilizando o teste post hoc de Bonferroni. Para a análise independente (grupo x grupo), foi utilizada a análise de covariância ANCOVA. O eta quadrado parcial ( $\eta^2$ ) foi calculado como o tamanho do efeito (ES) da análise de variância mista de duas vias. O ES foi interpretado utilizando as diferenças médias entre os dois grupos independentes acima descritos ( $0,20$  = pequeno,  $0,50$  = médio e  $0,80$  =

grande) (Hopkins et al., 2009). Todas as análises estabeleceram o nível de significância em  $p < 0,05$  (5%). A análise dos dados foi realizada com o programa estatístico Jamovi project (2022) (Versão 2.3 Computer Software). G\*Power (v.3.1.9.7 Heinrich-Heine University of Dusseldorf, Alemanha), com o pacote estatístico IBM SPSS Statistics (versão 27; IBM, Chicago, IL), e os gráficos foram produzidos com o GraphPad (versão 9.4.0., GraphPad Software; Boston, MA).

### Referências Capítulo III

---

- ALMUZAINI, K. S. & FLECK, S. J. 2008. Modification of the Standing Long Jump Test Enhances Ability to Predict Anaerobic Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22, 1265-1272.
- BANYARD, H. G., NOSAKA, K. & HAFF, G. G. 2017. Reliability and Validity of the Load-Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat. *J Strength Cond Res*, 31, 1897-1904.
- BOSCO C, LUHTANEN P, KOMI PV. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50, 273-82.
- COHEN, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd Edition edn, 567 (Routledge, 1988).
- EBBEN, W. P. & PETUSHEK, E. J. 2010. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res*, 24, 1983-7.
- HAFF, G. G. & NIMPHIUS, S. 2012. Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34, 2-12.
- HOPKINS, W. G. 2010. Linear models and effect magnitudes for research, clinical and practical applications. *Sportscience* 14, 49-57.
- HOPKINS, W. G., MARSHALL, S. W., BATTERHAM, A. M. & HANIN, J. 2009. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41, 3-12.
- HORI, N., NEWTON, R. U., KAWAMORI, N., MCGUIGAN, M. R., KRAEMER, W. J. & NOSAKA, K. 2009. Reliability of Performance Measurements Derived from Ground Reaction Force Data during Countermovement Jump and the Influence of Sampling Frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23, 874-882.
- JENSEN, R. L. & EBBEN, W. P. 2007. Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 763-767.
- KOO, T. K. & LI, M. Y. 2016. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*, 15, 155-63.

- LAKE, J., AUGUSTUS, S., AUSTIN, K., COMFORT, P., MCMAHON, J., MUNDY, P. & HAFF, G. G. 2019. The reliability and validity of the bar-mounted PUSH Band (TM) 2.0 during bench press with moderate and heavy loads. *Journal of Sports Sciences*, 37, 2685-2690.
- MONTORO-BOMBÚ, R., DE LA PAZ ARENCIBIA, L., BUZZICHELLI, C., MIRANDA-OLIVEIRA, P., FERNANDES, O., SANTOS, A. & RAMA, L. 2022. The Validity of the Push Band 2.0 on the Reactive Strength Index Assessment in Drop Jump. *Sensors*, 22, 4724.
- MONTORO-BOMBU, R., FIELD, A., SANTOS, A. C. & RAMA, L. 2022. Validity and reliability of the Output sport device for assessing drop jump performance. *Front Bioeng Biotechnol*, 10, 1015526.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., MEYLAN, C., ALVAREZ, C., HENRIQUEZ-OLGUIN, C., MARTINEZ, C., CANAS-JAMETT, R., ANDRADE, D. C. & IZQUIERDO, M. 2014. Effects of In-Season Low-Volume High-Intensity Plyometric Training on Explosive Actions and Endurance of Young Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 28, 1335-1342.
- RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ A, CASTILLO D, RAYA-GONZÁLEZ J, DOMÍNGUEZ R, BAILEY SJ. 2021. Beetroot juice supplementation increases concentric and eccentric muscle power output. Original investigation. *J Sci Med Sport*, 28, 80-84.
- RODRIGUEZ-ROSELL, D., PAREJA-BLANCO, F., AAGAARD, P. & GONZALEZ-BADILLO, J. J. 2018. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*, 38, 743-762.
- SALAMI, S., WEI, J., REGAN, M., SCHERR, D., SIDDIQUI, J., KEARNEY, M., EYRE, R., DEWOLF, W., RUBIN, M. & SANDA, M. 2010. Body Mass Index and Prostate Size Improve Performance of a Prostate Cancer Risk Calculator at High Levels of Sensitivity for Predicting Prostate Cancer at Initial Prostate Biopsy: Results from a Prospective, Multi-Center Cohort. *Journal of Urology*, 183, E818-E819.
- SHROUT, P. E. & FLEISS, J. L. 1979. Intraclass correlations uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull*, 86, 420-8.
- SIMPSON, J. D., MILLER, B. L., O'NEAL, E. K., CHANDER, H. & KNIGHT, A. C. 2018. Ground reaction forces during a drop vertical jump: Impact of external load training. *Hum Mov Sci*, 59, 12-19.

Y. VERKHOSHANSKY 2006. *Todo sobre el método pliométrico* Barcelona, ES:  
Paidotribo

## **CAPÍTULO IV**

### **Principais resultados dos estudos**



## CAPÍTULO IV: Principais resultados dos estudos

---

**E**ste capítulo apresenta 4 estudos, que tiveram como resultado 6 artigos desenvolvidos de acordo com sequência lógica e ordenada. Estão diretamente relacionados com os objetivos específicos propostos e dão respostas às questões científicas formuladas e estão apresentados abaixo.

1. Validade e fiabilidade dos dispositivos para a avaliação do índice de força reativa durante o salto em profundidade Drop Jump
2. Análise comparativa nas variáveis de força reativa em velocistas olímpicos masculinos especialistas de 100m e 400m.
3. Análise comparativa entre o salto em profundidade com projeção vertical e horizontal em saltadores e sprinters de elite.
4. Efeito do treino pliométrico baseado no IIFR em variáveis espaciotemporais associadas ao desempenho em saltadores e velocistas de nível nacional.

#### 4.1 Validade e fiabilidade dos dispositivos Push Band 2.0 e Output sport para a avaliação do índice de força reativa durante o salto em profundidade Drop Jump

**Objetivo 2:** Comprovar a validade e a fiabilidade dos acelerómetros comerciais disponíveis para medir a força reativa durante o Drop Jump (2 artigos).

**Questão 2:** Os acelerómetros disponíveis no mercado são capazes de medir com precisão e em condições de campo, as variáveis associadas à força reativa?

**A suposição é:** Se os dispositivos foram válidos para medir as variáveis associadas à medição pliométrica, teríamos a possibilidade de analisar o treino diário sem a necessidade de plataformas de força ou dispositivos de interrupção ótica custosos.

**Resposta:** Os dispositivos podem ser utilizados de forma válida e fiável em medições de DJ. Mas não é recomendado para monitorizar o treino pliométrico em atletas de alto nível.

**Saida do estudo:**

Publicado: Sensors: The Validity of the Push Band 2.0 on the Reactive Strength Index Assessment in Drop Jump (mdpi.com)

Publicado: Frontiers in Bioengineering and Biotechnology: Frontiers Validity and reliability of the Output sport device for assessing drop jump performance (frontiersin.org)

#### 4.1.1 Introdução

A medição rigorosa do salto vertical em condições não laboratoriais de campo, particularmente o Drop Jump (DJ), tem ganho interesse crescente entre treinadores e praticantes de desportos de alto nível. O desempenho do salto vertical é um dos desempenhos mais estudados no estudo da Pliometria (Allen et al., 2012, Frayne et al., 2021, Gillen et al., 2019b, Montalvo et al., 2021). Uma possível explicação para este interesse crescente pode residir na aplicabilidade prática da medida e na possibilidade de diferenciar magnitudes em tempo real de impulso vertical e tempo de voo (TV), tempo de contacto com o solo (TCS) (Wallace et al., 2010), desempenho em altura de salto (AS) (Bobbert et al., 1987b, Glatthorn et al., 2011, Gu et al., 2021, Bosco et al., 1983a, Linthorne, 2001), índice de força reativa (IRF) (Ball and Zanetti, 2012, Byrne et al., 2017, Ebben and Petushek, 2010b, Montalvo et al., 2021), avaliação da rigidez vertical e/ou das pernas, (Lloyd et al., 2011, McMahon and Cheng, 1990, Arampatzis et al., 2001, Hobara et al., 2010), coordenação intramuscular (Markovic and Mikulic, 2010) e fadiga neuromuscular (Horita et al., 2003, Wang et al., 2021).

O IFR é atualmente um dos mais amplos marcadores de desempenho relatados na literatura (Byrne et al., 2017, Ebben and Petushek, 2010b, Flanagan and Comyns, 2008b) e está entre os mais frequentemente utilizados, sendo representado como uma medida de força reativa (Ebben and Petushek, 2010b). Este índice foi proposto como um indicador consistente e válido para controlar o “stress” produzido no complexo muscular tendinoso durante os saltos que incorporam uma altura de queda (AQ) (Flanagan et al., 2008), destacando a capacidade de representar o que acontece quando se passa de uma contração excêntrica para uma concêntrica (Young, 1995), procurando o uso rápido do encurtamento causado pela ativação anterior, conhecido como o ciclo de alongamento e encurtamento (CAE) (Flanagan and Comyns, 2008b, Taube et al., 2012). A duração do TCS caracteriza dois tipos de CAE: curta duração se é menor 250 ms, uma vez que é típica do DJ, e longa duração se é maior do que 250 ms.

Algumas investigações consideram o IFR como uma forma prática de avaliar a qualidade do desempenho do salto (Flanagan et al., 2008, Ebben and Petushek, 2010b, Byrne et al., 2017, Healy et al., 2018, Ramirez-Campillo et al., 2018a) utilizando apenas

um tapete de contacto (Ramirez-Campillo et al., 2019, Ramirez-Campillo et al., 2018a) ou uma plataforma de força (Flanagan and Comyns, 2008b). Além disso, a investigação relatou a sua utilização para estabelecer recomendações para otimizar o salto a partir de diferentes AQ no DJ (Byrne et al., 2017) e mesmo para avaliar a fadiga neuromuscular após as sessões de treino (Brownstein et al., 2017, Lopes Müller et al., 2020). É de notar que durante a execução do DJ, o IFR, representa a razão entre a AS e o TCS (Wilson et al., 1991). O DJ poderia ser um dos poucos exercícios pliométricos normalmente utilizados para analisar a mecânica de ressalto bilateral (Ebben and Petushek, 2010a) e que contém TCS.

Recentemente, dois acelerômetros, facultam o acesso, entre outras medidas, à AS e o IFR no desempenho do DJ. Para além do seu custo relativamente acessível, se confirmada, a validade deste dispositivo apresentaria inúmeras vantagens para os treinadores, uma vez que estes passam várias semanas longe dos seus atletas ao longo de todo o ano de preparação atlética determinada pelo nível de elite desportiva. Além disso, durante as tarefas de exercício no treino, é difícil prever a olho nu quando o atleta tem uma ligeira diminuição da força reativa, um parâmetro que este dispositivo pode detetar, indicando a paragem imediata do treino do DJ. O Push Band 2.0 (PB2.0), agora parceiro WHOOP, Toronto, ON, Canadá é um dos primeiros acelerómetros a apresentar estes indicadores e foi previamente validado para trabalhos de força baseados na velocidade (Balsalobre-Fernandez et al., 2016a) e saltos com atletas (Lake et al., 2019). Também mostrou boas correlação com o desempenho em diferentes saltos, semelhantes a outras aplicações e dispositivos (Montalvo et al., 2021). Parece contraproducente que este último autor normalize um ângulo de 90 graus para todos os saltos, o que poderia afetar o IFR ao aumentar o tempo de contacto, contradizendo conclusões anteriores (Ramirez-Campillo et al., 2018a, Ramirez-Campillo et al., 2020b), e poderia afetar a fiabilidade da validação do IFR. Os mesmos autores também relatam possíveis erros de procedimento devido à possibilidade de movimentos descontrolados da correia de fixação do PB2.0 durante os saltos. Da mesma o dispositivo de medição Output Sport (IMU), foi utilizada para avaliação da fadiga (Buckley et al., 2017), prevenção de lesões (Whelan et al., 2016), agilidade (Johnston et al., 2019), o treino baseado na velocidade (O'Reilly et al., 2015), avaliações de exercício dos membros inferiores (O'Reilly et al., 2018, O'Reilly et al., 2017a, O'Reilly et al., 2017b), e avaliações de controlo e equilíbrio postural (Johnston et

al., 2019). Contudo, até à data, não encontramos relatórios de validação para medir numa execução isolada o IFR (ou seja, para além de uma avaliação 10-5 IFR), TV e TCS para o dispositivo de medição IMU. A utilização destes dispositivos durante o treino de salto também permite a observação em tempo real da métrica do IFR através do sistema integrado de transmissão de dados baseado na web.

Um sistema de medição ótica chamado OptoJump (OPT) foi também previamente validado (Glatthorn et al., 2011) com excelente fiabilidade de teste-reteste e ICC variando de 0,982 a 0,989, com baixos coeficientes de variação (2,7%) (Harrison and Mc, 2017, Healy et al., 2016, Montalvo et al., 2021, Whelan et al., 2014). Este equipamento permite uma avaliação em tempo real, aumentando as possibilidades de tomada de decisão no treino de salto pliométrico. O presente estudo visa a comprovar a validade e a fiabilidade dos acelerómetros PB2.0 e IMU para medir a força reativa durante o DJ utilizando uma plataforma de força (PF) e OPT como padrões de referência.

## **4.1.2 Materiais e métodos**

### **4.1.2.1 A bordagem experimental do problema**

Foi realizado um estudo aleatório de medidas repetidas numa única sessão, para testar a hipótese da validade dos dispositivos PB2.0 e IMU na avaliação do IFR durante o DJ a partir de 0.30m de AQ.

### **4.1.2.2 Participantes**

Para a avaliação da PB2.0, foram recrutados vinte e dois atletas. Destes, 17 eram atletas de voleibol (12 homens e 5 mulheres), e 3 eram especialistas em salto triplo de pista e campo (3 homens) (média  $\pm$  SD; idade:  $20,75 \pm 1,67$  (ano), altura:  $1,74 \pm 0,06$  (m), peso:  $64,76 \pm 9,67$  (kg), e IMC  $20,52 \pm 2,93$ ). Para a validação de IMU foram recrutados trinta e quatro atletas nacionais e universitários, 13 mulheres e 21 homens (idade:  $22 \pm 4$  anos, estatura:  $1,77 \pm 0,07$  m, massa:  $72,3 \pm 7,7$  kg, IMC:  $22,9 \pm 2,4$ )

#### **4.1.2.3 Procedimentos.**

A sessão de recolha de dados decorreu num recinto desportivo coberto. Cada atleta realizou uma rotina geral de 10 minutos de aquecimento com mobilidade articular e 5 minutos de corrida de baixa intensidade. Depois, o aquecimento específico foi seguido por uma tarefa de ativação da memória muscular (Gundersen, 2016) com exercícios específicos de saltos que consistiu na realização de três saltos de contramovimento com dois min de recuperação e três tentativas de DJ30. Seguiu-se então um período de 5 min de recuperação passiva. Foi utilizada uma caixa de 0.30m de altura, e cada atleta realizou três tentativas de DJ30 seguindo normas previamente estabelecidas (Wallace et al., 2010, Van Lieshout et al., 2014, Ramirez-Campillo et al., 2018a, Jarvis et al., 2016). Para reduzir possíveis erros na medição do IFR e reduzir os efeitos do movimento PB2.0 durante o salto (Montalvo et al., 2021), IMU foi fixado nos sujeitos com fita adesiva de dupla face entre L3 e L4 (Figura 3).



**Figura 3. Exemplo de localização do cinto com fita adesiva de dupla face entre L3 e L4 incorporando o acelerómetro Push Band 2.0.**

O dispositivo de medição IMU foi cuidadosamente colocado na parte dianteira do sapato (figura 4) esquerdo de cada participante (conforme as instruções do fabricante), impedindo o efeito do movimento durante cada tentativa. Antes de cada tentativa de salto, o dispositivo foi reajustado manualmente consoante as recomendações do fabricante. A estratégia de sincronização permitiu gravações de dados simultâneas para cada tentativa de salto tanto no PF como no dispositivo de medição IMU.



Figura 4. Exemplo de localização da IMU no pé do atleta.

#### 4.1.2.4 Análise estatística

As suposições de normalidade foram verificadas com o teste Shapiro Wilk. Para o PB2.0, o poder estatístico deste estudo da diferença entre duas médias dependentes (em pares) atingiu um valor beta de 86,2%, com um alfa de 0,05 e um tamanho de efeito moderado de 0,6 e exigindo um tamanho de amostra de 21 sujeitos. Entre tanto para o IMU foi alcançado um valor beta de 85%, com um alfa de, 0,05 e, um tamanho de efeito moderado (0,6) e exigindo um tamanho de amostra de 27 participantes. Os restantes critérios utilizados para a validação foram indicados no capítulo III.

#### 4.1.3 Resultados de PB2.0

Durante as validações, verificámos que, ao aplicar os testes T, não foram encontradas diferenças entre as avaliações IFR: PB2.0 vs. PF ( $p < 0,389$ ); PB2.0 vs. OPT ( $p < 0,400$ ). Como esperado, os dados do OPT vs. PF mostram resultados idênticos para o IFR ( $p < 0,701$ ) e AS ( $p < 0,569$ ). Estes valores mostraram uma alta concordância entre os métodos (Tabela 3).

Tabela 3: validação concorrente da significância do teste T e Bland- Altman entre dispositivos de medição durante o DJ30

	Sig.	Bland- Altman (1.96 SD)
IFR PF v/s PB <sub>2.0</sub>	0.389	-0.047 (0.788 – (-0.884))
IFR OPT v/s PB <sub>2.0</sub>	0.400	-0.046 (0.882 – (-0.789))
IFR OPT v/s PF	0.701	0.001 (0.047 – (-0.044))
AS PF v/s OPT	0.569	0.000 (0.004 – (-0.004))

Índice de Força Reativa (IFR); Plataforma de força (PF); OptoJump (OPT) Push Band 2.0 (PB<sub>2.0</sub>) altura do salto (AS)

A Figura 5a mostra que a diferença média dos valores IFR entre PF e PB2.0 foi igual a -0.047, sendo a média próxima de 0 e 93,34% dos dados dentro dos limites de concordância. (LC). A Figura 5b mostra os valores da diferença média do IFR de OPT e PB2.0; os valores médios foram (0,046), próximos de 0, com 93,34% dos dados dentro da LC. Os dados mostram que PB2.0, de acordo com este método estatístico, apresentava valores validos.

A Figura 5c mostra a diferença média do IFR entre PF e OPT, e a Figura 5d a diferença média do AS entre PF e OPT. Estes dados são quase perfeitos (Figura 5c = 0,001, Figura 5d = 0,000), com os intervalos de confiança dentro dos padrões aceites. A regressão linear confirma a ausência de erros sistemáticos entre os métodos. Os dados não mostraram tendência para sobrestimar ou subestimar e tiveram uma tendência homogênea, uma vez que tinham valores significativos ( $p < 0,005$ ) e uma gama aceitável de erros. Na Figura 5a, são mostrados valores de IFR entre PF e PB2.0 ( $p < 0,691$ ), enquanto na Figura 5b, são mostrados valores de IFR entre OPT e PB2.0 ( $p < 0,677$ ), e o erro padrão para estes dois métodos foi 0,143. Os valores de IFR e AS entre PF e OPT mostram valores estatisticamente próximos da significância perfeita e erros padrão (Tabela 4).

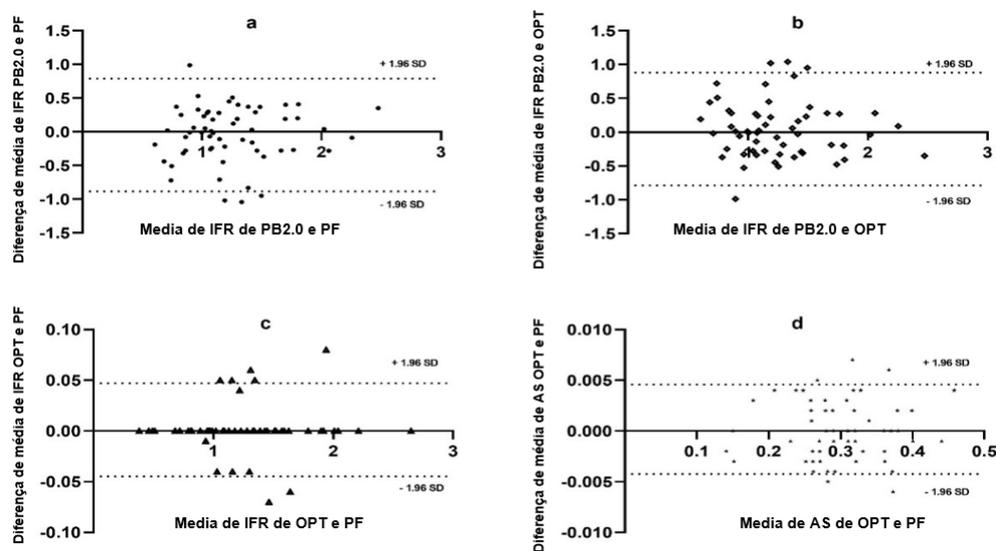


Figura 5. Acordo sobre os resultados da análise de Bland-Altman. O eixo x representa os valores dos meios, e o eixo y representa as diferenças entre os meios. Os critérios para todas as análises foram (+1,96 SD) como a gama superior e (-1,96 SD) como a gama inferior. (a) Análise Bland-Altman IFR entre PB2.0 e PF; (b) Análise Bland-Altman IFR entre PB2.0 e OPT; (c) Análise Bland-Altman IFR entre PF e OPT; (d) Análise Bland-Altman HJ entre PB2.0 e OPT.

Tabela 4: Validação concorrente através da Regressão Linear e ICC entre dispositivos de medição durante o DJ30

	Regressão. Lin		
	Desv. Error	Sig.	CCI (95% CI)
IFR PF v/s PB <sub>2.0</sub>	0.143	0.691	0.703 (0.503-0.822)
IFR OPT v/s PB <sub>2.0</sub>	0.143	0.677	0.704 (0.505-0.823)
IFR OPT v/s PF	0.007	0.761	0.999 (0.999-1.00))
HJ PF v/s OPT	0.006	0.691	1.00 (0.999-1.00))

TCS = Tempo de contacto com o solo TCS; TV = tempo de voo; AS = Altura de Salto; IFR = Índice de Força reativa; ICC = Índice de correlação intraclasse e IC = intervalo de confiança.

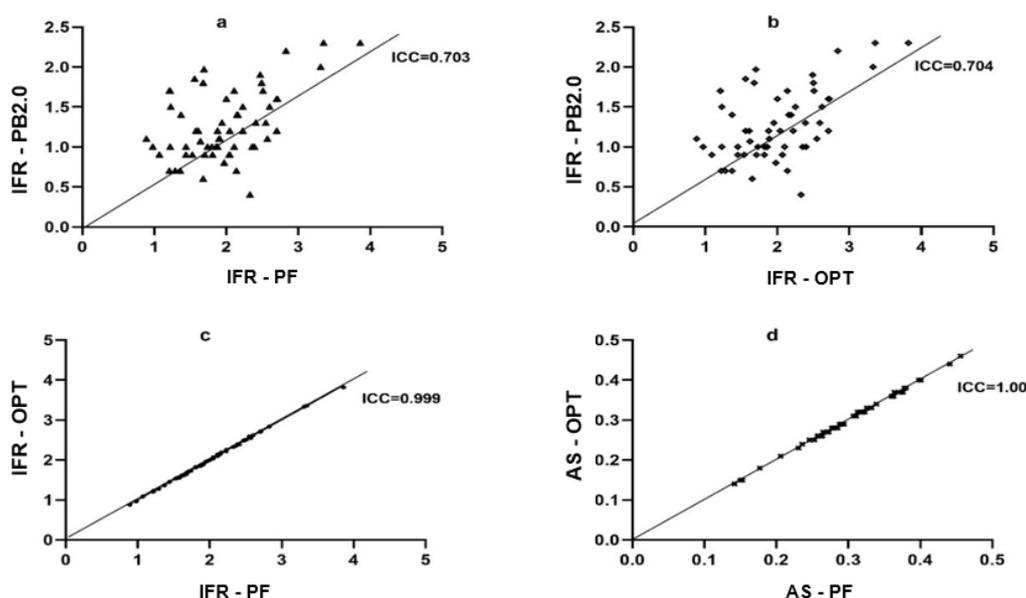


Figura 6. Acordo entre os métodos utilizados. (a) coeficiente de correlação intraclasse do IFR entre PB2.0 e PF; (b) coeficiente de correlação intraclasse do IFR entre PB2.0 e OPT; (c) coeficiente de correlação intraclasse do IFR entre PF e OPT; (d) coeficiente de correlação intraclasse do HJ entre PB2.0 e OPT.

A Figura 6a reporta o IFR do PF em relação ao PB2.0, mostrando uma concordância elevada aceitável (ICC = 0,703). O mesmo foi encontrado com o IFR de OPT em relação ao PB2.0 (ICC = 0,704) em (Figura 6b). Estes valores de ICC confirmam a dispersão dos dados já encontrados com a análise de Bland-Altman, com o critério de 1,96 do desvio padrão (DP), além do erro padrão (0,143) encontrado na regressão linear. Os IFR entre PF e OPT e AS entre PF e OPT, na Figura 6c, d, respetivamente, são estatisticamente perfeitos (ICC = 0,999; ICC = 1,00). O coeficiente de determinação ( $R^2$ )

foi utilizado para determinar a variação explicada de PB2,0 do PF e do OPT (Figura 6). Os resultados mostraram que a variação das medidas PB2.0 podia ser reproduzida a  $R^2 = 0,252$ , representando um valor verdadeiro e inferior (Figura 7a). Estes dados são também evidentes na relação entre PB2.0 e OPT ( $R^2 = 0,254$ ) (Figura 7b). Os valores de  $R^2$  já podiam ser esperados devido à tendência de dispersão de dados mostrada por BP2.0 na regressão linear, Bland-Altman, e análises ICC. Finalmente, os nossos resultados também corroboram os valores quase perfeitos para IFR e HJ entre PF e OPT ( $R^2 = 0,999-0,998$ , respetivamente) (Figura 7c e d).

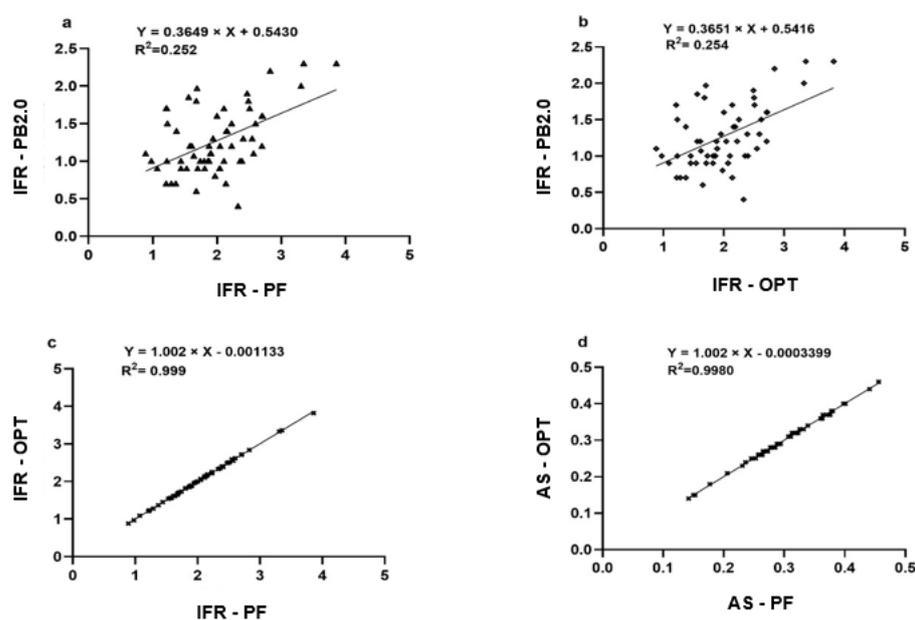


Figura 7. A análise do coeficiente de correlação  $R^2$ . (a) O  $R^2$  do IFR entre PB2.0 e PF; (b) O  $R^2$  do IFR entre PB2.0 e OPT; (c) O  $R^2$  do IFR entre PF e OPT; (d) O  $R^2$  do HJ entre PB2.0 e OPT.

#### 4.1.4 Resultados de IMU

A tabela 5 mostra os valores da média e desvio padrão ( $M \pm DP$ ) das variáveis registadas por ambos os dispositivos. As diferenças de médias das medidas (TCS, TV, AS e IFR) obtidas pelo dispositivo IMU e pelo PF foram estatisticamente diferentes de zero ( $p \leq 0,05$ ), mostrando discordância. Este resultado foi considerado o primeiro passo para demonstrar a falta de validade da IMU.

Tabela 5: Valores de  $M \pm SD$  das variáveis cinemáticas registadas por ambos os dispositivos.

Dispositivos	TV	TCS	HJ	IFR
OUTPUT	$0.476 \pm 0.062$	$0.333 \pm 0.070$	$0.282 \pm 0.072$	$0.878 \pm 0.283$
PF	$0.496 \pm 0.066$	$0.292 \pm 0.070$	$0.307 \pm 0.079$	$1.126 \pm 0.436$

Plataforma de força (PF); Tempo de voo (TV) tempo de contacto com o solo (TCS); altura do salto (HJ); índice de força reativa (IFR).

A análise de Bland Altman entre a IMU e o PF mostrou que 96,4% dos dados foram encontrados dentro da LC (Figura 8), com ligeira sobrestimação da TCS (Figura 8a) e subestimação da TV e AS (Figuras 8 b, c). O IFR mostrou uma marcada subestimação dos valores em comparação com PF (Figura 8d). Também encontramos que a LC compromete a validade das medidas da IMU. Onde  $TCS = 0,041 \pm 0,044$  ms, Limite superior (LS) = 0,127 ms e o Limite inferior (LI) = -0,044 m s;  $TV = -0,020 \pm 0,027$  m s;  $LS = 0,033$  ms –  $LI = -0.074$  m s;  $HJ = -0,025 \pm 0,034$  m;  $LS = 0,0421$  m –  $UL = -0,092$  m), e  $IFR = 0,246 \pm 0,251$  m/s;  $LS = 0,245$  m/s –  $LI = -0,739$  m/s).

O potencial viés entre as medidas IMU em relação a PT foi analisado usando o modelo de regressão linear simples (Figura 9). Verificou-se que TCS e TV não apresentavam um viés de proporção TCS ( $p = 0,452$ ; SEM = 0,063), TV ( $p = 0,186$ ; Erro padrão da média (EPM) = 0,043), em oposição a AS e IFR apresentavam um viés de proporção AS ( $p = 0,030$ ; EPM = 0,045) e IFR ( $p = 0,0001$ ; EPM = 0,056). Finalmente, foi encontrada uma boa fiabilidade intermedida (Tabela 6). TCS (ICC = 0,825; CI = 0,291-0,93; IMU: [CV = 21,11%; EPM = 0,006] e PF [CV = 25,17%; EPM = 0,007]). O TV (ICC = 0,928; CI = 0,756-0,968; IMU: [CV = 13,16%; EPM = 0,006] e PF [CV = 25,17%; EPM = 0,007]). O AS (ICC = 0,921; CI = 0,743-0,964; IMU: [CV = 25,56%; EPM = 0,007] e PF [CV = 25,80%; EPM = 0,007]). O IFR (ICC = 0,772; CI = 0,151-0,907; IMU: [CV = 32,22% EPM = 0,028] e PF [CV = 38,78%; EPM = 0,043]). O cálculo tercílico dos dados de TCS apontou para os valores de corte como se segue: 1)  $TCS < 0,297$  m s; 2) TCS entre 0,297 e 0,355 m s) e 3)  $TCS > 0,355$  m s (Tabela 6).

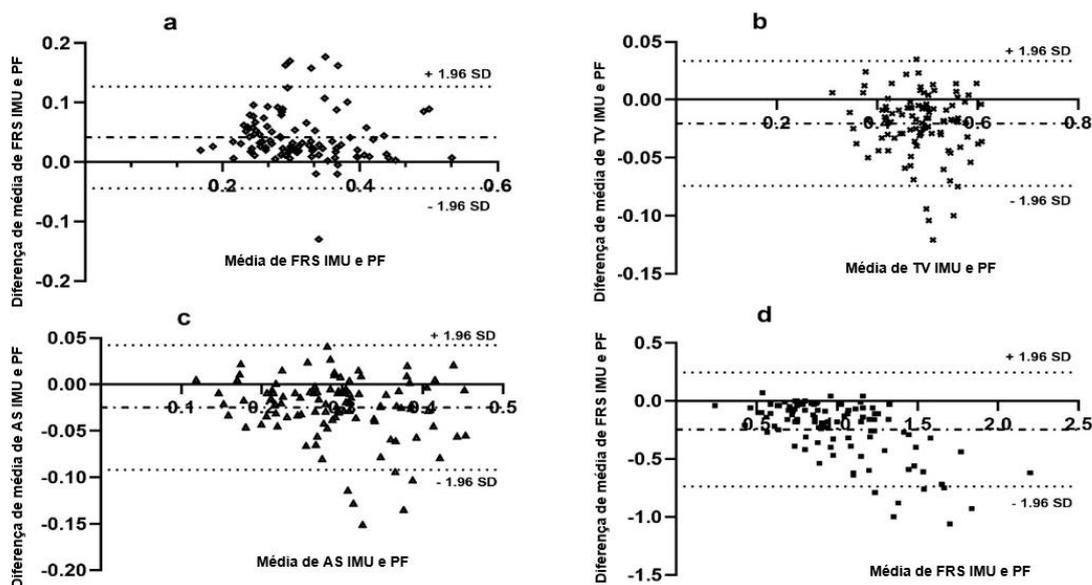


Figura 8. Teste Bland Altman. As medições são obtidas a partir da plataforma de força e do dispositivo OUTPUT. (a) diferença de medias do tempo de contacto com o solo (TCS) v/s a media TCS, (b) diferença de medias de Tempo do voo (TV) v/s a media de TV, (c) diferença de medias de Altura de Salto (AS) v/s médias de AS e (d) diferença de media do Índice de Força reativa (IFR) v/s média do IFR.

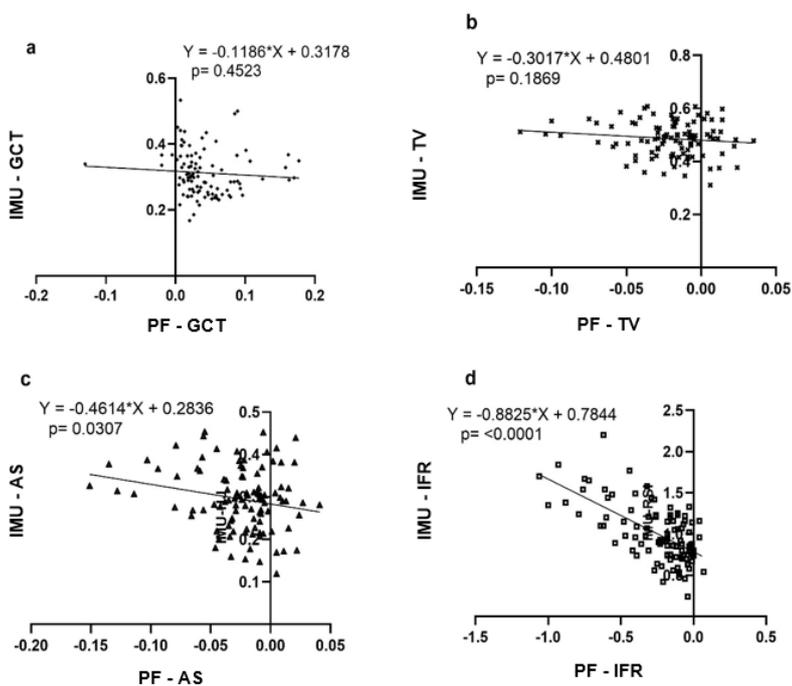


Figura 9. Regressão linear simples (LR). As medidas são obtidas a partir da diferença de medias vs. medias para cada variável. A (a) RL de TCS entre IMU vs. PF; a (b) RL de TV entre IMU vs. PF; (c) RL de HJ entre IMU vs. PF e (d) RL de IFR entre IMU vs. PF.

Tabela 6: Coeficientes de correlação intraclasse e intervalos de confiança de 95% para medidas reportadas pelo dispositivo Output Sport.

Tempo de contato	≤ 0.297ms	0.297 and 0.355ms	≥ 0.355ms	General
Medidas	ICC (IC 95 %)	ICC (IC 95 %)	ICC (IC 95 %)	ICC (IC 95 %)
TCS	0.442 (-0.145-0.730)	0.363 (-0.210-0.688)	0.585 (-0.076-0.824)	0.825 (0.291-0.930)
TV	0.841 (-0.085-0.954)	0.966 (0.786-0.989)	0.992 (0.984-0.996)	0.928 (0.756-0.958)
AS	0.829 (-0.079-0.949)	0.966 (0.787-0.989)	0.992 (0.984-0.996)	0.921 (0.773-0.964)
IFR	0.591 (-0.230-0.855)	0.840 (-0.135-0.957)	0.763 (0.319-0.901)	0.772 (0.151-0.907)

TCS = Tempo de contacto com o solo TCS; TV = tempo de voo; AS = Altura de Salto; IFR = Índice de Força reativa; ICC = Índice de corelação intraclasse e IC = intervalo de confiança.

#### 4.1.5 Discussão

O presente estudo pretendia comprovar a validade dos dispositivos PB2.0 e IMU para avaliar o IFR durante o DJ, utilizando uma PF e um OPT como padrão referência. Os principais resultados da análise comparativa para amostras independentes mostraram que para PB2.0 os resultados do IFR (PB2.0 vs. PF) e (PB2.0 vs. OPT) não são estatisticamente diferentes. O erro padrão de medição no PB2.0 é maior do que o encontrado nos instrumentos de referência. Em relação ao IMU os resultados revelaram diferenças significativas para todas as medidas entre o dispositivo de medição do IMU e PF. Estes resultados mostram que embora exista um acordo entre estes dispositivos quando comparados com o dispositivo padrão de referência, eles tendem a apresentar uma maior dispersão de dados. Por outro lado, os resultados do IFR mostram uma excelente concordância e um erro padrão muito baixo encontrado anteriormente (Montalvo et al., 2021, Lehance et al., 2005).

Para PB2.0, análise de Bland-Altman do IFR entre PB2.0 contra PF mostrou que os intervalos de confiança são próximos de zero; o mesmo foi encontrado com o IFR de PB2.0 contra OPT. A hipótese de que PB2.0 seja um instrumento valido e fiável para medir o IFR em relação ao PF é aceite. Embora PB2.0, em geral, tenha satisfeito a exigência estatística de validade, na nossa opinião, é crucial analisar a constrição dos valores da LC ( $\pm 1,96$ ). Estes resultados reforçam a nossa opinião de manter um critério reservado, semelhante ao teste t comparativo, onde se observou uma tendência com o PB2.0 para uma maior dispersão dos dados.

Relativamente ao IMU, as análises de Bland Altman demonstraram que 96,66% das tentativas registadas estão dentro dos 95% LC (Figura 8A). Isto indica que os dados podem ser validos, mas também é recomendável que a magnitude do LC seja considerada juntamente com os valores médios. O análise da LC não foram reportados em pesquisas anteriores (Balsalobre-Fernandez et al., 2016a, Orser et al., 2020), portanto, estes estudos não contabilizaram a variação na estimativa. No nosso estudo para cada tentativa de DJ realizada com o dispositivo IMU tendeu a sobrestimar o TCS em relação ao PF. Isto relaciona-se com a possibilidade de esperar variações elevadas na métrica conforme a LC aqui reportado, que apesar de estar dentro do intervalo de confiança, poderá não ter suficiente rigor para a atividade desportiva de alto nível. As figuras 8 b-d mostram uma tendência diferente com uma subestimação observada para TV, AS e IFR. Os limites também estão longe da média das diferenças, o que poderia indicar que o dispositivo pode mostrar um IFR com valores de 0,24 acima e 0,74 abaixo da média.

Um estudo anterior considerou que a possível fonte de erros de medição com o PB2.0 poderia ser devida a possíveis movimentos durante o salto (Montalvo et al., 2021). Estes problemas foram corrigidos, mas a dispersão de dados durante o DJ30 permanece. Pesquisas anteriores recomendam que este dispositivo oferece os melhores resultados em movimentos lentos, pelo que pode não detetar com precisão as variações de velocidade explosivas produzidas (Balsalobre-Fernandez et al., 2016a). Embora o PB2.0 possa ser uma ferramenta válida para avaliar a velocidade no trabalho de força (Balsalobre-Fernandez et al., 2016a, Orser et al., 2020), devemos considerá-lo quando o utilizarmos para monitorizar o DJ.

Mesmo que o ICC seja considerado adequado para avaliar a validade dos dispositivos (Montalvo et al., 2021, Hughes et al., 2019, Lake et al., 2019), os resultados por nós encontrados para PB2.0 mostraram valores de correlação mais baixos do ICC para o IFR medido com PB2.0 e PF, indicando apenas uma validade aceitável. Consequentemente, os nossos resultados contradizem, em parte, outros (Montalvo et al., 2021, Hughes et al., 2019, Lake et al., 2019) que mostraram valores ICC mais elevados, embora não reconhecendo que (ICC) não tem unidades, o que dificulta traduzir o impacto da variabilidade, na prática, real. Além disso, estatisticamente, o ICC pode mostrar uma correlação muito elevada porque relata que à medida que um valor cresce, o outro também

tende a crescer, ou o contrário. Dois instrumentos diferentes que coincidem apenas ligeiramente podem também ter índices de correlação elevados.

Para investigar as possíveis consequências da validade e fiabilidade do dispositivo IMU, as análises foram individualizadas utilizando o índice ICC. As análises ICC foram comumente relatadas para estudos de validação (Lake et al., 2018, Pueo et al., 2020) pois refletem não só o grau de correlação, mas também a concordância entre as medições (Koo and Li, 2016). Os valores globais individualizados da ICC são apresentados na tabela 6. O ICC demonstrou fiabilidade moderada a excelente para a maior parte da variável analisada, com fiabilidade moderada observada para TCS. Esta estimativa, de acordo com estudos anteriores, mostra um bom nível de fiabilidade (Koo and Li, 2016, Shrout and Fleiss, 1979). Uma consideração importante são os intervalos de confiança, e recomenda-se que os estudos futuros observem este valor antes de a fiabilidade ser concluída. No presente estudo, relatamos ICC variando desde uma fiabilidade fraca a excelente, indicando uma elevada variabilidade. Um exame mais atento dos resultados (tabela 6) mostrou que o ICC tendia a melhorar para TV e AS em função do aumento do TCS ( $\geq 0.355$  m s). Verificou-se que o dispositivo UMI tende a apresentar uma fiabilidade superior, com o aumento do TCS. Embora possa não ser útil para os profissionais que pretendem avaliar a qualidade do IFR, podem ser feitas avaliações fiáveis e válidas para as populações interessadas em AS. No entanto, dado resultados na presente investigação, conclui com a necessidade de mais investigação que apoie ou se oponha à utilização do IMU. Este é um resultado prático essencial, especialmente quando se considera a possibilidade de utilizar estes exercícios para saltos que envolvem grandes altitudes em que o TCS é mais baixo.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para PB2.0 indica a força da associação entre as variáveis e tem sido utilizado em vários estudos de validação e fiabilidade de instrumentos (Balsalobre-Fernandez et al., 2016a, Lake et al., 2019, Montalvo et al., 2021). Os nossos resultados mostraram valores explicativos inferiores aos de estudos anteriores (Lake et al., 2019, Montalvo et al., 2021).

Por último, verificámos que ambos os dispositivos (PB2.0 e IMU) não cumprem com as exigências suficientes para uma utilização diária em condições de campo. As suas limitações no TCS impedem o registo aceitável de acordo com o elevado nível de

especificidade dos atletas de alto nível. Assim, para medir as variáveis associadas ao volume e intensidade do treino pliométrico em condições de campo, temos de recorrer a dispositivos previamente validados que constituem atualmente o padrão de referência. Para esta tese, o PF e o OPT serão os padrões de referência utilizados para a análise do treino pliométrico.

## 4.2 Análise comparativa nas variáveis de força reativa em velocistas olímpicos masculinos de 100m e 400m planos.

**Objetivo 3:** Comparar o comportamento das variáveis cinéticas e espaciotemporais do salto vertical em relação ao salto horizontal em saltadores e velocistas

**Questão 3:** Para os atletas de alto nível, as variáveis associadas à força reativa diferem entre as alturas de queda, e entre exercícios horizontais e verticais?

Assume-se que, se o índice força reativa é uma medida apropriada para prescrever as tarefas do DJ, então também pode ser utilizado como uma variável para avaliar a intensidade do treino pliométrico.

**Resposta:** Um novo indicador denominado IIFR tende a ser mais sensível na detecção de possíveis aumentos ou reduções da força reativa durante o DJ, uma vez que inclui o efeito da altura de queda.

#### **4.2.1 Introdução**

No desporto de alto nível, a medição das qualidades de força de forma independente é uma questão fundamental para isolar os componentes que podem e devem ser reforçados durante o treino. A pliometria além de ser um método de treino (Potach and Chu, 2008), permite isolar a avaliação do desempenho da potência dos membros inferiores (Zatsiorsky et al., 2021). Estudos anteriores abordaram a importância de avaliar a AS (Bobbert et al., 1987b, Bobbert et al., 1987a) e o tempo de contato com o solo (TCS) (Bobbert et al., 1987b, Bobbert et al., 1987a) em diferentes exercícios. O IFR é comumente aplicado em programas de treino pliométrico e foi descrito pela primeira vez (Young, 1995) apenas como força reativa e posteriormente utilizado como índice por vários investigadores (Ebben and Petushek, 2010b, Flanagan and Comyns, 2008b, Flanagan et al., 2008, Ramirez-Campillo et al., 2018a). Como referido no estudo anterior, na fórmula original, o IFR é a razão entre a AS e a TCS. No entanto, em vários estudos, o IFR também está a ser calculado a partir do tempo de voo (TV) dividido pelo TCS (Ramirez-Campillo et al., 2018a, Haynes et al., 2019). No obstante, há que ser cauteloso, uma vez que esta última tende a sobrestimar os valores de IFR em comparação com a sua fórmula original (Flanagan et al., 2008). Como tal, estes dois valores para o IFR não são semelhantes e não podem ser utilizados indistintamente (Healy et al., 2018).

A avaliação das variáveis de força reativa dos atletas é uma necessidade na maioria dos desportos (Zatsiorsky et al., 2021), pelo que várias disciplinas de potência y velocidade a utilizam como marcador para os programas de treino (Brumitt et al., 2014), considerando que estas podem ser um fator-chave para o desempenho desportivo (Arnason et al., 2004). Pode haver outras variáveis a serem consideradas, como a capacidade reativa (CR), embora os pesquisadores a confundam com a IFR (Louder et al., 2019), mesmo que não representem a mesma variável. A CR foi definida pela primeira vez por Verkhoshansky (Y. Verkhoshansky, 2006) e, como a IFR, é fornecida como uma característica particular da função e do trabalho do sistema neuromuscular. Pode ser definido como a capacidade de desenvolver um impulso máximo imediatamente após uma ação excêntrica durante um salto em queda (Y. Verkhoshansky, 2006).

Em relação com o IFR, os resultados anteriores (Bobbert et al., 1987b) com indivíduos recreativamente ativos recomendam a realização de treino pliométrico a partir

de alturas de queda (AQ) não superiores a 0.40m devido às diferenças biomecânicas encontradas com saltos a partir de 0.20 a 0.60m de AQ, no entanto, este não foi o caso em atletas de nível elevado. Um estudo atletas de nível nacional, que realizaram programas de treino para Drop Jump (DJ) a partir de alturas fixas de 0.30m, encontrou um aumento no desempenho do salto vertical (Ramirez-Campillo et al., 2018a) em comparação com a AQ ideal (ou seja, 0,10 m a 40 m: gerando um RSI ótimo), mas não considerou critérios prévios sobre a pré-ativação neuromuscular (Flanagan and Comyns, 2008b). Estudos semelhantes encontraram diferenças no IFR com atletas de potência (saltadores, velocistas e lançadores;  $IFR = 2,19 \pm 0,58$  s/m) superando os atletas de resistência ( $IFR = 0,84 \pm 0,39$  m/s) (Loturco et al., 2015a). Estes resultados confirmaram as hipóteses dos investigadores que explicam as diferenças pelas características das tarefas dos testes e pela clara necessidade de os velocistas e saltadores desenvolverem níveis reativos mais elevados devido à menor TCS para cada uma das suas disciplinas. Quando olhamos mais atentamente para os velocistas, existem pontos comuns, por exemplo, tanto para as disciplinas de 100m como de 400m, que se enquadram no mesmo domínio da velocidade. No entanto, também existem diferenças. Um sprint de 100m dura cerca de 10 segundos, enquanto um sprint de 400m leva um atleta de classe mundial a ultrapassar os 43 segundos. Contudo, até à data, não se sabe se os velocistas de ambas as disciplinas diferem nas suas variáveis de força reativa, uma vez que não existem dados na literatura. O estabelecimento de potenciais diferenças nos valores de reatividade ajudaria investigadores e treinadores a identificar alturas apropriadas para o trabalho de salto reativo e a criar diferentes programas de treino. Por conseguinte, este estudo teve como objetivo comparar diversas variáveis de força reativa entre velocistas de 100 m e 400 m durante a preparação pré-competitiva para os Jogos Olímpicos de Tóquio 2020+1.

## **4.2.2 Metodologia**

### **4.2.2.1 Abordagem experimental do problema.**

Este estudo pretende testar a hipótese de que atletas de alto nível de 100m e 400m, apresentam diferenças nas variáveis de força reativa. Para o estudo foi utilizado um desenho de medidas repetidas com diferentes alturas (DJ20, DJ30, DJ40, DJ50, DJ60). O grupo de velocistas (100m e 400m) constituiu a variável independente, enquanto TV, TCS, AS, IFR, RC e Índice integral de força reativa (IIFR) foram as variáveis dependentes.

#### 4.2.2.2 Participantes

Dez atletas de atletismo de alto nível do sexo masculino participaram no estudo. A Tabela 7 mostra a idade, as características antropométricas e a experiência geral de treino dos atletas. Os critérios de inclusão exigiam: atletas de qualificação olímpica com tempo de 100m inferior a 10,05s e inferior a 44,90s para 400m. Os atletas que se qualificaram por pontos sem atingir o mínimo olímpico e outros que participaram nas estafetas oficiais de 100m e 400m. Foi pedido aos treinadores que não incluíssem exercícios pliométricos nos seus planos de treino 5 dias antes do teste.

Tabela 7: Características (média  $\pm$  SD) dos velocistas olímpicos (n=10)

Variável	100m velocistas n=5	400m velocistas n=5	Total N=10
Idade (a)	26.23 $\pm$ 1.84	23.58 $\pm$ 3.01	24.9 $\pm$ 2.42
Estatura(m)	1.74 $\pm$ 7.2	1.76 $\pm$ 2.8	1.75 $\pm$ 5.0
Massa (kg)	75.53 $\pm$ 1.96	73.32 $\pm$ 2.08	73.42 $\pm$ 2.02
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24.94 $\pm$ 1.76	23.66 $\pm$ 1.88	24.3 $\pm$ 1.82
Experiência desportiva (anos)	11.03 $\pm$ 2.40	12.83 $\pm$ 3.66	11.93 $\pm$ 3.03

#### 4.2.2.3 Procedimentos

Todos os atletas já estavam familiarizados com o procedimento de avaliação do DJ. As medições foram efetuadas 6 semanas antes dos Jogos Olímpicos de Tóquio 2020+1. O protocolo de salto consistiu na realização de três tentativas de DJ em diferentes AQ (0.20, 0.30, 0.40, 0.50 e 0.60m) até ao ponto em que o valor do IFR diminuísse. As tentativas acima de 0.60m não foram consideradas para proteger os atletas para os Jogos Olímpicos. No início da sessão os velocistas de 100m e 400m foram divididos em dois grupos de 5 atletas cada. Antes da execução do protocolo de saltos, os atletas realizaram um aquecimento padrão, que incluiu: três voltas à pista (400m) a baixa intensidade, 2 x 20m skipping A, 2 x 20m skipping A com a perna direita, 2 x 20m skipping A com a perna esquerda, 2 x 20m skipping B, 2 x 20m skipping C, 2 x 40m sprint progressivo e 3 saltos em movimentos de contagem. Após 5 minutos de recuperação, foi efetuado um teste de DJ de QA de 0.20m. As tentativas de DJ a diferente AQ efetuou-se conforme o capítulo III.

#### 4.2.2.4 Análise estatística

Os dados são representados descritivamente através dos valores da média  $\pm$  DP do melhor desempenho do atleta nas três tentativas de DJ em cada AQ. Foi aplicado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e analisada a homogeneidade (Levene), detetando-se que os dados não cumpriam os pressupostos da normalidade e não eram homogêneos, conduzindo a uma análise não paramétrica. O teste de Mann Whitney, permitiu detetar diferenças entre os grupos 100m e 400m. As variáveis a comparar foram (TV, TCS, AS, IFR, RC e IIFR). O teste ANOVA de Kruskal-Wallis de uma via foi utilizado para estabelecer diferenças nos 10 conjuntos de alturas, ou seja, 0.20-0.30; 0.20-0.40; 0.20-0.50; 0.20-0.60; 0.30-0.40; 0.30-0.50; 0.30-0.60; 0.40-0.50; 0.40-0.60 e 0.50-0.60m. Foi ajustado post hoc de Bonferroni para comparações múltiplas. Os restantes procedimentos estatísticos foram efetuados conforme o capítulo III.

#### 4.2.3 Resultados

A Tabela 8 mostra os resultados das variáveis de força reativa para os velocistas de 100m e 400m. Não se registaram diferenças significativas ( $p \geq 0,005$ ) para nenhuma das variáveis dependentes entre ambos grupos (Tabela 8). A ANOVA unidirecional de Kruskal-Wallis em 10 conjuntos de alturas revelou que, relativamente à TV, são evidentes diferenças significativas dentro do grupo em três conjuntos: grupos de 100m (TV20-40:  $p = 0,034^*$ ; TV20-50:  $p = 0,009^{**}$ ; TV20-60:  $p = 0,001^{**}$ ) e grupos de 400m (TV20-40:  $p = 0,021^*$ ; TV20-50:  $p = 0,004^{**}$ ; TV20-60:  $p = 0,007^{**}$ ). No caso do TCS e do IFR, ambos os grupos não apresentam diferenças significativas para nenhum dos conjuntos ( $p \geq 0,05$ ). Relativamente ao RC foram observadas diferenças significativas em cinco conjuntos: grupos de 100m (RC20-50:  $p = 0,006^{**}$ ; RC20-60:  $p = 0,001^{**}$ ; RC30-50:  $p = 0,042^*$ ; RC30-60:  $p = 0,003^{**}$ ; RC40-60:  $p = 0,056^*$ ) e grupos de 400m (RC20-50:  $p = 0,006^{**}$ ; RC20-60:  $p = 0,001^{**}$ ; RC30-50:  $p = 0,042^*$ ; RC30-60:  $p = 0,003^{**}$ ; RC40-60:  $p = 0,056^*$ ). Por fim, o IIFR para os grupos de 100m apresentou diferenças significativas em três conjuntos; os grupos de 100m (IIFR 20-50:  $p = 0,017^*$ ; RC20-60:  $p = 0,001^{**}$ ; RC30-60:  $p = 0,034^*$ ) e 400m apresentaram diferenças em dois conjuntos (IIFR 20-50:  $p = 0,012^*$ ; RC20-40:  $p = 0,003^*$ ), as restantes comparações dos conjuntos não apresentaram diferenças significativas.

A análise de correlação mostrou uma correlação baixa ( $r=-0,268$ ;  $p= 0,04$ ) entre o RC em relação ao IFR (Figura 10), e uma correlação alta ( $r=0,805$ ;  $p= 0,02$ ) entre o IFR e o IIFR. A Figura 2 mostra a diferença entre o IFR e o IIFR para cada grupo.

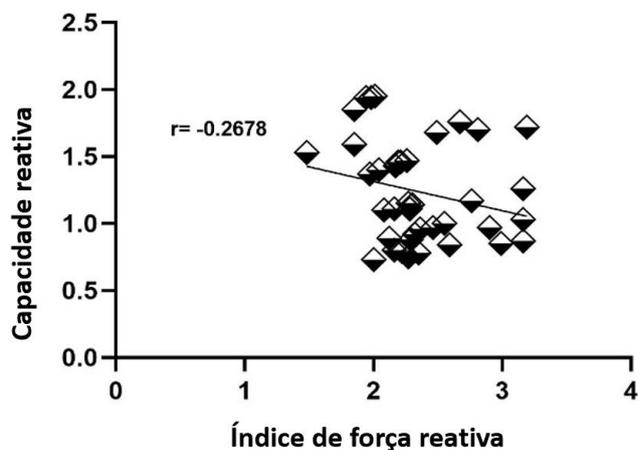


Figura 10: Resultados do teste de correlação de Spearman entre as variáveis IFR e RC. O eixo y representa o CR médio, e o eixo x representa as variáveis IFR.

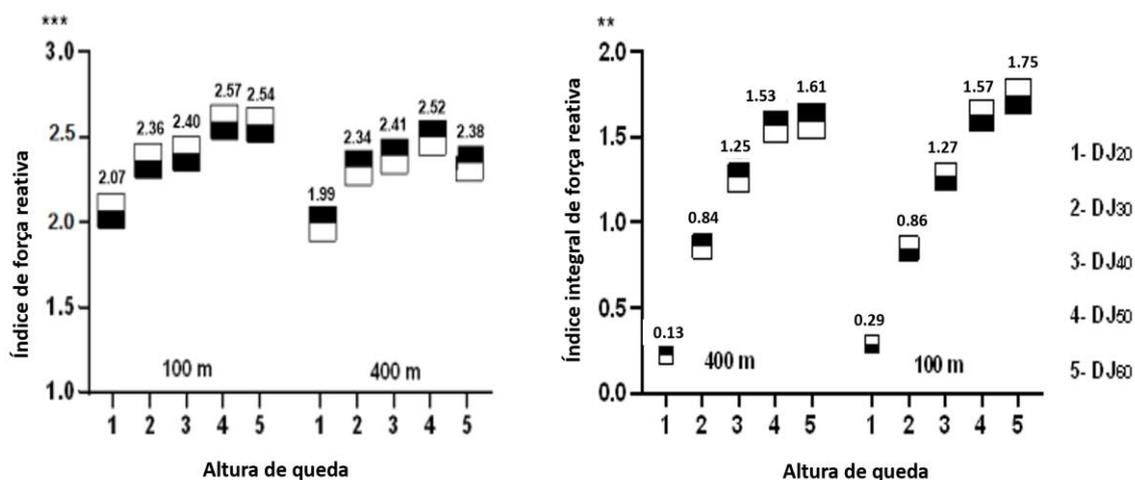


Figura 11: IFR (painel esquerdo) e IIFR (painel direito) para cada Drop Jump obtido em velocistas de 100m e 400m.

Tabela 8: Variáveis de força reativa (média ± SD) dos atletas de 100m e 400m

Altura de queda (m)	Variáveis /grupos	(M-1) 100m	(M-2) 400m	Mann Whitney	Tamanho do efeito (ES)
0.20	TV	0.539 ± 0.027	0.537 ± 0.027	0.587	0.07
	TCS	0.175 ± 0.029	0.184 ± 0.034	0.420	0.28
	AS	0.35 ± 0.363	0.35 ± 0.462	0.634	0
	IFR	2.07 ± 0.289	1.90 ± 0.496	0.738	0.19
	RC	1.78 ± 0.181	1.77 ± 0.176	0.492	0.05
	IIFR	0.29 ± 0.19	0.13 ± 0.10	0.069	1.05
0.30	TV	0.608 ± 0.024	0.602 ± 0.031	0.539	0.21
	TCS	0.192 ± 0.007	0.194 ± 0.021	0.420	0.12
	AS	0.45 ± 0.363	0.44 ± 0.048	0.555	0.03
	IFR	2.36 ± 0.298	2.34 ± 0.567	0.547	0.56
	RC	1.51 ± 0.122	1.48 ± 0.160	0.539	0.21
	IIFR	0.86 ± 0.15	0.84 ± 0.35	0.381	0.07
0.40	TV	0.607 <sup>a</sup> ± 0.007	0.614 <sup>a</sup> ± 0.019	0.841	0.48
	TCS	0.189 ± 0.013	0.195 ± 0.022	0.301	0.33
	AS	0.45 <sup>a</sup> ± 0.100	0.46 <sup>a</sup> ± 0.029	0.825	0.13
	IFR	2.40 ± 0.237	2.41 ± 0.500	0.460	0.02
	RC	1.13 ± 0.026	1.15 ± 0.160	0.841	0.17
	IIFR	1.27 ± 0.18	1.25 ± 0.37	0.396	0.06
0.50	TV	0.619 <sup>a</sup> ± 0.017	0.626 <sup>a</sup> ± 0.018	0.547	0.39
	TCS	0.188 ± 0.014	0.193 ± 0.006	0.166	0.46
	AS	0.47 <sup>a</sup> ± 0.026	0.48 <sup>a</sup> ± 0.029	0.452	0.36
	IFR	2.57 ± 0.280	2.52 ± 0.447	0.841	0.13
	RC	0.94 <sup>ab</sup> ± 0.052	0.96 <sup>ab</sup> ± 0.058	0.579	0.36
	IIFR	1.57 <sup>a</sup> ± 0.21	1.53 <sup>a</sup> ± 0.34	0.650	0.14
0.60	TV	0.627 <sup>a</sup> ± 0.019	0.635 <sup>a</sup> ± 0.022	0.841	0.72
	TCS	0.190 ± 0.013	0.204 ± 0.026	0.150	0.68
	AS	0.48 <sup>a</sup> ± 0.029	0.49 <sup>a</sup> ± 0.034	0.817	0.31
	IFR	2.54 ± 0.326	2.40 ± 0.523	0.547	0.36
	RC	0.80 <sup>abc</sup> ± 0.049	0.79 <sup>abc</sup> ± 0.056	0.730	0.19
	IIFR	1.75 <sup>ab</sup> ± 0.24	1.61 <sup>a</sup> ± 0.42	0.500	0.40

TV = Tempo de voo; TCS = Tempo de contacto com o solo; AS = Altura de salto; IFR = Índice de força reativa; RC = Capacidade de reatividade e IIFR = Índice integral de força reativa.

a diferença significativa dentro do grupo com 0.20m

b diferença significativa dentro do grupo com 0.30m

c diferença significativa dentro do grupo com 0.40m

#### 4.2.4 Discussão

Este estudo teve como objetivo comparar as variáveis de força reativa entre velocistas de 100m e 400m durante a fase de preparação pré-competitiva para os Jogos Olímpicos de Tóquio 2020 +1. Também responde à pergunta: Se para os atletas de alto nível, as variáveis associadas à força reativa diferem entre as AQ, e essas variáveis diferem entre exercícios horizontais e verticais? Conforme o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a comparar variáveis de força reativa de diferentes alturas em velocistas de 100m e 400m. Na abordagem experimental, não foram demonstradas diferenças nas variáveis

de força reativa entre os grupos, no entanto, existem algumas diferenças entre a magnitude do tamanho do efeito, que justificam de ser discutidas. Também encontramos uma tendência de diminuição da RC, quando a AQ aumenta, como esperado (Y. Verkhoshansky, 2006). Embora tenhamos encontrado uma tendência inversamente proporcional do comportamento da RC em relação ao IFR neste estudo, a correlação entre essas variáveis foi de pequena magnitude. Esta baixa correlação, e a sua tendência inversamente proporcional, ajudaram a explicar a influência da RC na AQ.

Os nossos dados mostraram que é possível sugerir a individualização das AQ mais recomendadas para desenvolver a força reativa nesses velocistas, necessária para manter curtos TCS durante o sprint (Healy et al., 2019). Os nossos resultados indicam que não existem diferenças entre os grupos (100m vs. 400m), pelo que estes velocistas poderiam realizar as mesmas estratégias de treino relativamente às variáveis de força reativa. Isto é explicável, uma vez que as exigências atuais de um velocista de 400 m não são muito diferentes das de um velocista de 100 m. Analisando o recorde mundial dos 400 m (43,03 s), podemos compreender que o tempo necessário para percorrer cada 100 m é, em média, de 10,76 segundos. Comparando-o com o melhor tempo pessoal nos 100m (9,94 seg.) deste recordista, podemos compreender que os parâmetros de velocidade máxima exigidos pelos velocistas de elite dos 400m não estão muito longe dos velocistas de elite dos 100m, que mantêm uma média de 9,85 seg.

Analisando separadamente a TV e a TCS, podemos observar que, no que respeita à TV, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos. Mas mesmo assim, observamos que entre DJ30-50, existe uma tendência para que os velocistas do grupo de 100m apresentem uma TV trivialmente superior do que os velocistas de 400m (ver tabela 8). Este efeito tende a ser ligeiramente maior entre DJ50-60, onde já se observam efeitos moderados. Ao examinar o TCS, também observámos que entre DJ30 e DJ50, o grupo dos 100m tende a mostrar um incremento neste valor relativamente ao grupo dos 400m. Isto pode explicar o facto de o grupo dos especialistas de 100m ter melhorado o seu IFR durante todas as AQ, enquanto o grupo dos 400m diminuiu o IFR na DJ60.

Existem críticas à avaliação da força reativa baseadas em erros de medição que parecem ocorrer durante o TV conduzindo à sobrestimação da AS, sugerindo uma possível ameaça à utilização deste marcador (Baca, 1999). No entanto, devido aos

elevados custos para realizar a avaliação pliométrica, a força reativa pode ser considerada a variável pliométrica mais acessível para o treinador para a monitorização da ação pliométrica. Assim, a margem de erro de 0.02-0.03m na AS não a impede de ser uma ferramenta útil de controlo de treino, desde que os métodos e instrumentos de medição sejam padronizados corretamente. Na mesma linha, embora um estudo (Ramirez-recomende que é pouco prático individualizar a AQ quando se trabalha com grandes grupos e propõe uma AQ moderada (0.30 m) Campillo et al., 2018a), esta estratégia pode não ser útil para velocistas de 100m e 400m de elevado nível. Assim, o objetivo desta variável é mostrar o máximo IFR associado ao maior AS, com o objetivo de procurar uma maior especificidade (Ebben and Petushek, 2010b) e magnitude das adaptações (Young, 1995). Uma maior AQ induz um aumento dos níveis de pré ativação neuromuscular e a consequente velocidade que pode ser gerada na fase excêntrica, aumentando assim os mecanismos que potenciam a ação contráctil dos músculos e tendões (Flanagan and Comyns, 2008b). Da mesma forma, dois atletas que saltam da mesma AQ podem não estar expostos à mesma intensidade relativa (Byrne et al., 2017). Estes resultados são consistentes com outros estudos que não encontraram diferenças nas alterações das variáveis AS e TCS para AQ entre 0.30 e 0.60m (Read and Cisar, 2001, Bobbert et al., 1987b, Walsh et al., 2004a, Kipp et al., 2018).

Da mesma forma, durante a avaliação do IFR, os pesquisadores apontaram que os atletas foram solicitados a manter o TCS abaixo de 250ms, caso contrário a repetição deveria ser repetida (Ramirez-Campillo et al., 2019). Neste contexto, não foi considerado que a IFR é altamente modificável, e depende muito da técnica de execução. Atletas que apresentaram uma diminuição no TCS podem comprometer a AS (Newton and Dugan, 2002, Healy et al., 2018). Isso poderia explicar os resultados de um estudo com velocistas nacionais e internacionais que apresentaram valores consideravelmente bons para TCS, mas valores muito baixos para AS e IFR realizando um DJ30 (TCS=  $0,170 \pm 0,028$ ; HJ=  $0,340 \pm 0,049$ ; IFR=  $2,06 \pm 0,043$ ) (Healy et al., 2018).

No presente estudo, foi pedido aos atletas que mantivessem a relação correta entre HJ e TCS, tal como foi relatado por outros (Ebben and Petushek, 2010b, Newton and Dugan, 2002). Seguindo estas indicações, verificámos que ambos os grupos apresentaram resultados de IFR superiores aos relatados anteriormente com atletas de

sprint (Healy et al., 2018). Embora não tenhamos encontrado diferenças significativas entre os grupos, o valor mais alto do IFR foi encontrado com AQ de 0.50m. Também relatamos que, durante o DJ60, o grupo de 100m mostrou uma perda de IFR de apenas 0,3 m/s em relação ao DJ50, enquanto o grupo de 400m mostrou uma perda de 0,14 m/s para a mesma AQ. Tanto quanto é do nosso conhecimento, nenhuma literatura publicada até à data referiu a percentagem de perda de IFR, relativamente ao incremento da AQ. Na literatura disponível, ainda não foi reportado um critério universalmente aceite para a paragem do teste de IFR, após uma determinada AQ. A literatura sugere apenas que o teste deve ser interrompido quando o indicador IFR declina (Newton and Dugan, 2002), mas não enquanto ou em que medida esse declínio ocorre. Outro elemento preocupante é o facto de o IFR não fornecer uma referência lógica para a qualidade dos resultados, nem explicar se estes estão relacionados com a AQ. Este critério é fundamental para definir corretamente a intensidade do treino com base no IFR. O IFR apesar de ser uma medida muito utilizada, apresenta ainda vários problemas que dificultam a sua utilização, especialmente em atletas de elevado nível competitivo.

Com base em duas questões colocadas nos parágrafos anteriores: a) "Até à data, não encontramos na literatura disponível um critério geral aceite para terminar as tarefas de DJ quando o IFR decresce para um determinado valor. b) O incremento da AQ, aumenta os níveis de pré-ativação neuromuscular e a velocidade que pode ser alcançada na fase excêntrica, aumentando assim os mecanismos de potenciação da ação contrátil dos muscular e tendinosa (Flanagan and Comyns, 2008b)", pode não ser plausível aceitar que a força reativa se mantenha igual à medida que a AQ aumenta. O IFR orienta-nos para estimular a força reativa em zonas previamente adaptadas e não em zonas que poderiam manifestar uma maior especificidade para atletas de alto rendimento (Walshe et al., 1998). Assim, a integração da RC com o IFR permitiu-nos desenvolver o IIFR, um marcador mais sensível para detetar alterações na força reativa em relação à AQ dos atletas (figura 11)

É sabido que um atleta pode manifestar o mesmo valor de IFR (Flanagan and Comyns, 2008b) para diferentes AQ. O IIFR poderá ser uma solução alternativa interessante para treinar e medir a força reativa durante o DJ com maior especificidade. O IIFR obtém o seu fundamento na conjugação da interdependência de AS, AQ e TCS.

Esta variável informa sobre o aumento da força reativa em função da AQ. Assim, atletas que aumentem o AQ mantendo o TCS poderão diminuir ligeiramente o AS, não afetando o IIFR, ao contrário do que ocorre com o IFR. Da mesma forma, atletas que apresentem um ligeiro aumento do TCS, mas mantenham o AS não verão o IIFR afetado, ao contrário também do que ocorreu com o IFR. Entre DJ 50-60, o IFR pode apresentar uma diferença de um declínio de 0,3 m/s como no grupo especialistas de 100m ou um declínio de 0,14 m/s como no grupo especialistas de 400m (Tabela 8). Poderá ser necessário terminar a tarefa quando o IIFR mostrar que ainda mantém um nível aceitável de reatividade, tendo em conta a AQ (figura 11). Outra questão importante da utilização do IIFR é que os treinadores podem observar a zona crítica do trabalho de força reativa.

Na figura 11, observa-se que em cada grupo de especialistas que os conjuntos DJ20-30; DJ30-40; e DJ40-50 apresentam diferenças significativas no IIFR, e os seus tamanhos de efeito são grandes ( $ES > 0,80$ ). Este não é o caso do DJ50-60, onde os velocistas de 400m não mostram diferenças significativas entre AQ, e os tamanhos dos efeitos são muito pequenos ( $ES = 0,16$ ). Esta poderia ser considerada uma área crítica do IIFR. Por conseguinte, consideramos o IIFR uma variável sensível para avaliar a diminuição da força reativa em função da AQ. A perda mínima nos valores deste marcador poderia ser considerada um critério para terminar a tarefa. Conforme os nossos resultados, uma diferença mínima de 0,10 m/s entre duas alturas consecutivas poderia ser considerada um ponto crítico do IIFR. No entanto, esse critério deve ser aprofundado em trabalhos futuros.

Em resumo, este estudo não encontrou diferenças estatisticamente significativas entre os velocistas de 100m e 400m nas variáveis de força reativa, no entanto, existem algumas diferenças entre o tamanho de efeito. Além disso, embora o IFR seja considerado uma variável amplamente utilizada para medir o desempenho da força reativa, o IIFR poderia ser recomendado como uma medida mais sensível e precisa da força reativa durante o DJ a ser aplicada no treino de velocistas de elite. Este estudo dá-nos o comportamento do DJ na direção vertical, e já sabemos que o IIFR pode ser uma variável mais precisa para determinar a intensidade do treino. Mas é necessário explorar se o DJ na direção horizontal tem TCS mais curtos, TV mais elevados, FRS mais elevados, etc. Este raciocínio é importante porque nos permitiria, no futuro, aplicar programas de treino

mais direcionados para as necessidades específicas dos atletas relativamente às variáveis que melhor descrevem a intensidade do treino pliométrico. Neste sentido, propomos: efetuar uma comparação entre o DJ e o DJ horizontal.

### 4.3 Análise comparativa entre o Drop Jump e o Drop Jump Horizontal em atletas de velocidade e saltos.

**Objetivo 3:** Comparar as variáveis cinéticas e espaciotemporais do salto vertical com o salto horizontal em saltadores e velocistas

**Questão 3:** Para os atletas de alto nível, as variáveis associadas à força reativa diferem entre as alturas de queda e essas variáveis diferem entre exercícios horizontais e verticais?

Assume-se que se o Drop Jump constitui um melhor indicador de força reativa, tempo de contacto, força de reação com o solo, e potência do que o Drop Jump horizontal, então os programas de treino pliométrico deveriam considerar estas medidas na seleção das tarefas do treino.

**Resposta:** O Drop Jump apresenta tempos de contacto com o solo mais curtos, maior rapidez até ao pico de força concêntrica e maior tempo de voo.

### **4.3.1 Introdução**

A pliometria é um método de treino cujo objetivo é melhorar a potência muscular na execução de habilidades motoras que envolvem ação dinâmica associada a ciclos musculares de alongamento encurtamento (Wallace et al., 2010). Schmidtbleicher introduziu o conceito de que os exercícios pliométricos rápidos só são aplicáveis quando o tempo de contacto é inferior a 250 milissegundos (Schmidtbleicher, 1984). Estes exercícios são caracterizados por um alongamento abrupto de músculos colocados em tensão após o travão de uma queda livre (Y. Verkhoshansky, 2006). Estes critérios podem ajudar a compreender que a inclusão dos exercícios de salto vertical e horizontal, o squat jump e o salto em contramovimento na categoria de exercícios de ação pliométrica pode ser questionável devido à falta de ciclo de alongamento-encurtamento e à ausência de forças de impacto durante o tempo de contato com o solo (TCS) após uma queda (Loturco et al., 2015b, Loturco et al., 2015d). A teoria geral e a metodologia do treino desportivo reconhecem o princípio da especificidade do treino (Randell et al., 2010, Walshe et al., 1998). Este princípio indica que a forma de realizar a atividade pliométrica é decisiva para o resultado que o atleta pretende alcançar (Walshe et al., 1998). Este princípio também está associado ao princípio da correspondência dinâmica (Verkhoshansky and Siff, 2009). O último indica que a utilização de forças verticais pode melhorar o desempenho de ações motoras realizadas na componente vertical. Da mesma forma, a aplicação de forças horizontais melhoraria o desempenho de movimentos horizontais, como indicado anteriormente (Randell et al., 2010). Com base nesses pressupostos, alguns estudos foram conduzidos para investigar a pliometria horizontal e vertical (Loturco et al., 2015d, Loturco et al., 2015b, Nagano et al., 2007, Ball and Zanetti, 2012).

Comparado com o Drop Jump (DJ), o Drop Jump horizontal (HDJ) é um movimento mais complexo que requer que o atleta considere o ângulo ótimo de projeção para atingir a maior distância horizontal (Wakai and Linthorne, 2005). Isto foi demonstrado pelas diferenças observadas na posição e trajetória do centro de massa durante as fases de descolagem e voo em saltos horizontais e verticais (Nagano et al., 2007). Além disso, sabe-se que a técnica de aterragem desempenha um papel importante no treino pliométrico. As quedas com saltos contribuem para uma menor TCS, e as

quedas com contramovimento contribuem para altura do salto (AS) maiores (Bobbert et al., 1987a). Comparando o DJ em barreiras usando a técnica de aterragem com o pé plano e com o ante pé, foi demonstrado que a aterragem com o ante pé resulta num TCS mais curta e numa maior força de reação vertical do solo (FRS) e a taxa de desenvolvimento de força (TDF) Cappa and Behm (2013).

Por outro lado, foi reportada a capacidade da pliometria na transferência neuromuscular específica em habilidades de salto, aceleração e velocidade em jogadores de futebol (Loturco et al., 2015d). Os autores deste estudo referem que o treino pliométrico vertical tem um maior efeito no teste de salto vertical, enquanto o treino pliométrico horizontal tem um maior efeito no teste de salto horizontal. Embora esses resultados fossem esperados, considerando o princípio da correspondência dinâmica (Verkhoshansky and Siff, 2009). A pesquisa de Ball & Zanetti (Ball and Zanetti, 2012) relacionou o índice de força reativa (IFR) horizontal e vertical, relatando boa fiabilidade do ICC ( $r > 0,789$ ) para o DJ versus HDJ. Esses pesquisadores também relataram que o TCS de uma altura de queda (AQ) de 0,4m é significativamente menor no DJ quando comparado ao HDJ.

Noutros estudos, foi reportado que a anca apresenta uma maior magnitude de flexão no salto horizontal do que no salto vertical com contramovimento, e que os músculos flexores da anca têm maior ativação no salto horizontal, utilizando modelação e simulação músculo-esquelética (Nagano et al., 2007). Uma meta-análise relatou um efeito moderado do treino pliométrico horizontal sobre o treino pliométrico vertical, mas nenhum efeito do treino pliométrico vertical sobre o treino pliométrico horizontal (Moran et al., 2021a). No entanto, é de notar que alguns dos estudos selecionados para esta meta-análise não incluíam tarefas pliométricas e que existe uma variação considerável nos desenhos dos estudos (Loturco et al., 2015d, Gonzalo-Skok et al., 2019a, Ramirez-Campillo et al., 2015). Assim mesmo, foi demonstrado que mostrou que o HDJ pode ser melhor utilizado para treinar movimentos em que o TCS é mais longo requerendo maior ação concêntrica, como as fases de aceleração de um sprint (Ball and Zanetti, 2012).

Durante a avaliação cinética do DJ e HDJ os investigadores tentaram quantificar a intensidade do exercício (Andrade et al., 2020, Di Giminiani and Petricola, 2016, Torres-Banduc et al., 2021, Ebben et al., 2011b, Jensen and Ebben, 2007), estabelecer

diferenças entre um número limitado de atividades pliométricas (Kossow and Ebben, 2018b, Ball and Zanetti, 2012, Dello Iacono et al., 2017b, Ebben et al., 2011a), bem como determinar a melhor técnica. Por exemplo, trabalhos anteriores considera que, durante o DJ com ressalto, os FRS podem ser 1,5 mais elevados do que os produzidos durante o DJ com contramovimento (Bobbert et al., 1987a). Por outro lado, foi relatado que os FRS são maiores no DJ do que no HDJ, quando a AQ é de 0.4m (Dobbs et al., 2015). Os autores também relatam que, para DJ unilateral a partir da caixa de 0.2m, não há diferença entre impulsos verticais e horizontais. Apesar de presumirmos que o baixo valor se refere às forças ântero-posteriores, nesta investigação não é claro se a FRS média do salto horizontal ( $714,6 \pm 167,2$  N) é uma medida das forças ântero-posteriores ou uma medida das forças verticais do HDJ; estes aspetos deverão ser esclarecidos em futuros relatórios científicos. A este respeito, não encontramos nenhuma investigação publicada sobre a taxa de produção de força após atingir o pico de força concêntrica (TDFe).

Neste contexto, foi demonstrado que vários movimentos desportivos são dependentes da qualidade da produção de potência (Pt) e TDF (Haff and Nimphius, 2012, Matic et al., 2015b, D'Emanuele et al., 2021). Estes são requisitos uteis (Rodriguez-Rosell et al., 2018) durante o trabalho pliométrico, especialmente quando a AQ induz curtos TCS. Por isso, não é surpreendente que muitos investigadores incluam estas avaliações no controlo pliométrico para monitorizar o seu desempenho. Reportes anteriores avaliaram a Pt excêntrica e concêntrica máxima (Matic et al., 2015b) e a TDF (Aagaard et al., 2002) relativamente ao traçado da força vertical durante os saltos. Eles são baseados em dois critérios: (I) que a TDF é medida desde o início da contração até qualquer ponto da curva força-tempo ou entre quaisquer dois pontos da curva (Buckthorpe et al., 2012, Tillin et al., 2010) e (II) que um sujeito pode ter tantos valores de TDF como o número de intervalos de tempo dentro da curva de força (Rodriguez-Rosell et al., 2018). Assim, poderia ser interessante conhecer os valores de TDF, mas quando a inclinação da curva tem um comportamento negativo após atingir o pico máximo de força concêntrica, ou seja, a TDFe do DJ e HDJ em atletas de sprint e salto. Tanto quanto sabemos, esta medida não foi reportada anteriormente e há uma falta de conhecimento sobre como os músculos continuam a desenvolver força desde o pico de força concêntrica até ao momento do take-off. Como já foi referido, ainda não foi efetuado nenhum estudo abrangente para determinar a relação entre as variáveis cinéticas e certos tipos de saltos bilaterais (Cronin and Hansen, 2005a). Além disso, também não

encontrámos nenhum estudo para DJ e HDJ que mostre se o tempo de duração da fase contração excêntrica ( $TF_E$ ) e da fase contração excêntrica ( $TF_C$ ) é semelhante entre o DJ e o HDJ. Na mesma linha, foi relatado que o DJ não apresenta diferenças significativas no TCS e no Tempo de voo (TV) com o aumento da AQ (Kipp et al., 2018, Bobbert et al., 1987b, Walsh et al., 2004c), mas não se sabe se este comportamento é o mesmo para o HDJ. Igualmente, não se sabe se o tempo até atingir o pico de força concêntrica ( $TPF_C$ ) é diferente para DJ em comparação a HDJ. Esta última informação permitir-nos-ia saber qual destes exercícios requer mais tempo até ao pico de força concêntrica máxima. Ainda mais, durante o HDJ, poderíamos ter informação adicional se existissem diferenças entre os componentes verticais e horizontais da força. O estabelecimento destas diferenças pode ser determinante nas adaptações do atleta e para saber que tipo de exercício de salto envolve mais ou menos tempos de atividade excêntrica e concêntrica. Assim, o presente estudo teve como objetivo comparar as variáveis cinéticas e espaciotemporais do DJ contra HDJ em saltadores e velocistas de elite.

### **4.3.2 Métodos**

#### **4.3.2.1 Abordagem experimental do problema**

Foi aplicado um desenho experimental de medidas repetidas para testar a hipótese de que existem diferenças entre os exercícios pliométricos DJ e HDJ, sendo a variável independente o modo de exercício e as variáveis dependentes o TCS, TV,  $TF_E$ ,  $TF_C$ ,  $TPF_C$ , Força de reação no solo na fase excêntrica ( $FRS_E$ ), Força de reação no solo na fase concêntrica ( $FRS_C$ ), impulso excêntrico ( $I_E$ ), impulso concêntrico ( $I_C$ ), Pt e TDFe. Anteriormente, a impulsão horizontal parada (IHP) foi aplicado para testar se existem diferenças entre as distâncias de salto cobertas e o TV quando comparado com o HDJ.

#### **4.3.2.2 Participantes**

Foram recrutados dezasseis atletas do sexo masculino de consistindo em triplo salto, salto em comprimento, velocidade 100m e 110m com barreiras (média  $\pm$  SD; idade =  $24,31 \pm 2,24$  anos, massa corporal =  $81,11 \pm 5,10$ kg, altura =  $1,86 \pm 0,06$ m, IMC =  $23,44 \pm 2,21$ kgm<sup>2</sup> e IHP =  $3,05 \pm 0,07$ m), Os sujeitos participaram em campeonatos

mundiais (9/16) e europeus ou pan-americanos (16/16). Todos tinham experiência na realização de exercícios pliométricos ( $\geq 20$ ) (Montoro-Bombú et al., 2023), mas abstiveram-se de treinos pliométricos ou de força nos três dias anteriores à avaliação. Todos os atletas foram informados dos riscos associados às medições e satisfaziam os critérios enunciados no capítulo III.

#### **4.3.2.3 Procedimentos**

Foi efetuado um aquecimento segundo as necessidades individuais de cada atleta. A duração média do aquecimento foi de 50 minutos e foi dividido em duas partes. A primeira parte foi denominada aquecimento geral, onde os indivíduos efetuaram mobilidade articular, aproximadamente 5 minutos de corrida a baixa intensidade e trabalho de flexibilidade dinâmica. Na segunda parte era um aquecimento específico, os sujeitos realizavam exercícios correspondentes às suas especialidades desportivas. Após o aquecimento, todos os sujeitos tiveram 5 minutos de recuperação ativa. Para a avaliação das variáveis dependentes, os sujeitos efetuaram duas tentativas de DJ a partir de três AQ diferentes. Duas tentativas de DJ a 0,3m (DJ30), duas a 0,4m (DJ40) e duas a 0,5m (DJ50). Após um período de repouso ativo que incluiu exercícios de alongamento dinâmico, sprint progressivo de 30m e IHP assegurando uma recuperação completa, realizaram duas tentativas de HDJ a 0,3m (HDJ30), duas a 0,4m (HDJ40) e duas a 0,5m (HDJ50). Foi considerado para a análise dos dados o melhor de cada salto nas diferentes AQ. O DJ foi realizado com ressalto (Bobbert et al., 1987a) e balanço dos braços. As tentativas de HDJ foram realizadas com balanço dos braços, procurando que os atletas apresentassem um TCS mais baixo, e deslocando-se em direção à horizontal para maximizar a distância do salto.

#### **4.3.2.4 Instrumentação**

Os exercícios foram realizados aterrando em uma plataforma de força (PF), que foi nivelada com uma plataforma de madeira feita à medida (Figura 12; 4,20 m de comprimento, 1,10 m de largura e 0,05 m de altura). Um sistema OPT foi fixado em ambas as extremidades da plataforma de madeira, que recolheu o TV durante o HDJ.



**Figura 12:** Plataforma de madeira desenhada e construída para este estudo. A gradação da distância foi feita em milímetros

#### **4.3.2.5 Análises estatísticas**

A estatística descritiva (média  $\pm$  SD) foi calculada para cada variável (TCS, TV, TF<sub>E</sub>, TF<sub>C</sub>, TPF<sub>C</sub>, FRS<sub>E</sub>, FRS<sub>C</sub>, I<sub>E</sub>, I<sub>C</sub>, Pt e TDF<sub>E</sub>). As comparações entre os dois exercícios de salto foram organizadas em correspondência com o componente vertical e ântero-posterior da PF. As análises foram realizadas entre a mesma AQ e AQ diferentes em três grupos (A, B e C). Grupo A: comparação entre a componente vertical do DJ em relação (vs.) à componente vertical do HDJ (HDJ<sub>V</sub>). Grupo B: comparação entre o componente vertical do DJ vs. a componente ântero-posterior do HDJ (HDJ<sub>A</sub>) e grupo C: comparação entre HDJ<sub>V</sub> vs. HDJ<sub>A</sub>. O teste de Wilcoxon foi utilizado para testar as diferenças estatísticas entre DJ vs. HDJ para cada AQ (mesmas e diferentes). A ANOVA de Kruskal Wallis foi utilizada para comparações intra-grupo. As restantes análises estadísticas foram efetuadas conforme o descrito no capítulo III.

#### **4.3.3 Resultados**

A Tabela 9 mostra os dados da média  $\pm$  SD para o IHP. A análise da TCS (Grupo A) revelou tempos significativamente mais curtos ( $p \leq 0,0149$ ) no DJ em relação ao HDJ e um grande tamanho do efeito (ES) entre as mesmas AQ (tabela 10), onde DJ30 vs. HDJ30 ( $Z = 3,518$ ; ES = 3,11), DJ40 vs. HDJ40 ( $Z = 3,519$ ; ES = 1,41) e DJ50 vs. HDJ50 ( $Z = 3,464$ ; ES = 2,08). As comparações de ANOVA para TCS entre diferentes AQ não mostraram diferenças significativas no HDJ ( $p \geq 0,05$ ).

Na análise do TV (Grupo A), verificou-se que o TV foi significativamente maior ( $p \leq 0,001$ ) em DJ contra HDJ, os ES também foram grandes para: DJ30 contra

HDJ30 ( $Z = 3,518$ ;  $ES = 3,79$ ), no DJ40 contra HDJ40 ( $Z = -3,516$ ;  $ES = 3,70$ ) e no conjunto DJ50 contra HDJ50 ( $Z = 3,517$ ;  $ES = 4,72$ ), ver tabela 10. Da mesma forma, foram encontradas diferenças significativas ( $p \leq 0,001$ ) em todos os conjuntos DJ contra IHP e grandes ES em DJ30 contra IHP ( $Z = 3,517$ ;  $ES = 3,51$ ), DJ40 contra IHP ( $Z = 3,517$ ;  $ES = 3,53$ ) e DJ50 contra IHP ( $Z = 3,516$ ;  $ES = 4,28$ ). As comparações de TV entre diferentes AQ para o mesmo exercício pliométrico não mostraram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ). Além disso, o conjunto HDJ contra IHP também não apresentou diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ).

Durante a análise do  $TF_E$ , (Grupo A), foram encontrados valores significativamente mais curtos em DJ vs. HDJ ( $p \leq 0,003$ ) na mesma AQ, com grandes ES em DJ30 vs. HDJ30 ( $Z = 3,517$ ;  $ES = 2,33$ ), em DJ40 vs. HDJ40 ( $Z = 3,517$ ;  $ES = 1,58$ ) e em DJ50 vs. HDJ50 ( $Z = 3,555$ ;  $ES = 1,53$ ). Também foram encontradas diferenças significativas entre as diferentes AQ ( $p \leq 0,009$ ) e grandes ES foram encontradas em DJ30 vs. HDJ40 ( $Z = 3,155$ ;  $ES = 1,33$ ), em DJ30 vs. HDJ50 ( $Z = 3,518$ ;  $ES = 1,74$ ) e em DJ40 vs. HDJ50 ( $Z = 3,517$ ;  $ES = 1,87$ ).

Durante a análise do  $TF_C$  (Grupo A), foram encontrados valores significativamente mais curtos em DJ vs. HDJ ( $p \leq 0,0001$ ) e grandes ES em DJ vs. HDJ. O DJ30 vs. HDJ30 ( $Z = 4,664$ ;  $ES = 2,48$ ), DJ40 vs. HDJ40 ( $Z = 4,664$ ;  $ES = 2,54$ ) e DJ50 vs. HDJ50 ( $Z = 3,816$ ;  $ES = 1,35$ ). Por outro lado, a  $TF_C$ , entre as diferentes AQ, também encontrou diferenças significativamente menores ( $p \leq 0,134$ ) em DJ sobre HDJ, com grandes ES. O DJ30 vs. HDJ40 ( $Z = 3,416$ ;  $ES = 1,85$ ) DJ30 vs. HDJ50 ( $Z = 4,416$ ;  $ES = 1,74$ ) e no DJ40 vs. HDJ50 ( $Z = 3,058$ ;  $ES = 1,87$ ) ver tabela 11.

A análise  $FRS_C$  de todos os grupos (A, B e C) mostrou diferenças significativas, com durações curtas em DJ vs. DHJ e em HDJv vs. HDJa ( $p \leq 0,001$ ). Também mostrou grandes ES (entre 1,4 e 2,68) com o valor Z aproximadamente igual a 3,518 (Tabela 11).

No caso do IHP comparado ao HDJ em diferentes AQ, a distância percorrida no salto, não apresentou diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ). No entanto, foi possível observar que houve uma tendência muito baixa para a distância do salto melhorar com o aumento da AQ (Tabela 9).

Figura 13 mostra o gráfico FRS típico para ambos os exercícios. Na análise do grupo A, o  $I_E$  revelou-se significativamente mais baixo ( $p \leq 0,006$ ) no DJ do que no HDJ com ES médio a grande. A Pt foi significativamente menor no DJ30 vs. HDJ40v ( $p = 0,002$ ) com ES médio e no DJ30 vs. HDJ40v ( $p = 0,001$ ), mas o ES era pequeno. O TDFe também foi significativamente mais baixo no DJ30 vs. HDJ40v ( $p = 0,002$ ) com um ES pequeno. As restantes variáveis ( $I_C$ ,  $FRS_E$  e  $FRS_C$ ) foram significativamente mais elevadas ( $p \leq 0,009$ ) no DJ do que no HDJ, com ES médio a grande, independentemente da AQ.

A comparação ANOVA de DJ, o  $I_E$  foi significativamente menor em DJ30 vs. DJ50 ( $p \leq 0,001$ ;  $Z = 3,802$ ;  $ES = 1,34$ ), e HDJ DJ30 vs. DJ50 ( $p \leq 0,026$ ;  $Z = 2,615$ ;  $ES = 0,92$ ). Além disso, o  $FRS_E$  foi significativamente menor em DJ30 vs. DJ50 ( $p = 0,035$ ;  $Z = 2,513$ ;  $ES = 0,68$ ), em HDJ DJ30 vs. DJ40 ( $p = 0,015$ ;  $Z = 2,791$ ;  $ES = 0,98$ ) e DJ30 vs. DJ50 ( $p \leq 0,035$ ;  $Z = 2,514$ ;  $ES = 1,01$ ). O Pt de DJ foi significativamente menor em DJ30 vs. DJ40 ( $p = 0,024$ ;  $Z = 2,722$ ;  $ES = 1,91$ ), DJ30 vs. DJ50 ( $p = 0,019$ ;  $Z = 2,369$ ;  $ES = 1,93$ ) e HDJ foi significativamente menor em DJ30 vs. DJ40 ( $p \leq 0,042$ ;  $Z = 3,238$ ;  $ES = 1,33$ ). O TDFe de foi significativamente maior e foi menor em DJ30 vs. DJ40 ( $p = 0,032$ ;  $Z = 2,692$ ;  $ES = 0,39$ ), DJ30 vs. DJ50 ( $p = 0,008$ ;  $Z = 2,369$ ;  $ES = 0,38$ ) e HDJ DJ30 vs. DJ40 ( $p \leq 0,036$ ;  $Z = 2,276$ ;  $ES = 1,08$ ), DJ40 vs. DJ50 ( $p \leq 0,032$ ;  $Z = 2,254$ ;  $ES = 1,17$ ). Finalmente,  $I_C$  e  $FRS_C$  revelaram-se significativamente maiores ( $p \leq 0,002$ ) em DJ sobre HDJ com grande ES nos grupos B e C. Em contraste, as comparações de ANOVA não mostraram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) em diferentes AQ para a direção ântero-posterior.

Tabela 9: Medias DP da tendência da distância de salto com o aumento da altura durante o HDJ

IHP	HDJ <sub>30</sub>	HDJ <sub>40</sub>	HDJ <sub>50</sub>
3.07 ± 0.05	3.10 ± 0.09	3.12 ± 0.11	3.16 ± 0.07

IHP = salto em comprimento, HDJ = salto em queda horizontal.

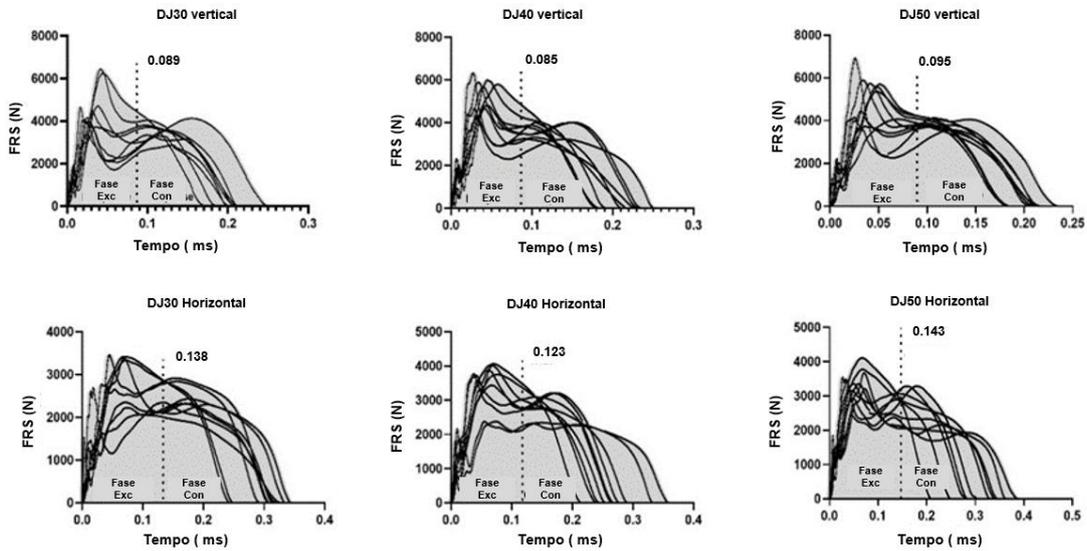


Figura 13: Comparação do  $FRS_E$  e  $FRS_C$  entre o salto em queda (DJ) e o salto em queda horizontal (HDJ) com delineamento das fases excêntrica e concêntrica a partir da velocidade = 0. (a) curva de força-tempo durante DJ30, (b) curva de força-tempo durante DJ40, (c) curva de força-tempo durante DJ50, (d) curva de força-tempo durante HDJ30, (e) curva de força-tempo durante HDJ40 e (f) curva de força-tempo durante HDJ50.

**Tabela 10. A média ( $\pm$ SD) de cada variável relacionada entre o Drop Jump e o Horizontal Drop Jump.**

	DJ30	HDJ30 <sub>v</sub>	DJ40	HDJ40 <sub>v</sub>	DJ50	HDJ50 <sub>v</sub>	HDJ30 <sub>a</sub>	HDJ40 <sub>a</sub>	HDJ50 <sub>a</sub>
TCS	0.206 $\pm$ 0.02	0.296 $\pm$ 0.03	0.213 $\pm$ 0.03	0.263 $\pm$ 0.04	0.218 $\pm$ 0.02	0.301 $\pm$ 0.05	-	-	-
TV	0.703 $\pm$ 0.06	0.549 $\pm$ 0.04	0.699 $\pm$ 0.04	0.547 $\pm$ 0.04	0.724 $\pm$ 0.03	0.563 $\pm$ 0.03	-	-	-
TF <sub>E</sub>	0.089 $\pm$ 0.02	0.138 $\pm$ 0.02	0.085 $\pm$ 0.01	0.123 $\pm$ 0.03	0.095 $\pm$ 0.02	0.143 $\pm$ 0.02	-	-	-
TF <sub>C</sub>	0.116 $\pm$ 0.01	0.157 $\pm$ 0.01	0.128 $\pm$ 0.01	0.138 $\pm$ 0.01	0.123 $\pm$ 0.02	0.157 $\pm$ 0.02	-	-	-
TPF <sub>C</sub>	0.109 $\pm$ 0.03	0.158 $\pm$ 0.03	0.102 $\pm$ 0.02	0.134 $\pm$ 0.03	0.115 $\pm$ 0.03	0.165 $\pm$ 0.06	0.201 $\pm$ 0.02	0.170 $\pm$ 0.04	0.204 $\pm$ 0.07
I <sub>E</sub>	264.57 $\pm$ 27.31	298.03 $\pm$ 34.34	283.17 $\pm$ 29.79	310.90 $\pm$ 40.71	315.78 $\pm$ 43.47	345.23 $\pm$ 58.50			
I <sub>C</sub>	345.63 $\pm$ 27.31	307.79 $\pm$ 27.31	329.63 $\pm$ 62.40	278.76 $\pm$ 60.52	348.86 $\pm$ 89.45	297.38 $\pm$ 55.37	106.90 $\pm$ 36.03	102.83 $\pm$ 35.09	134.21 $\pm$ 65.63
FRS <sub>E</sub>	4613.5 $\pm$ 1132.1	3019.3 $\pm$ 463.71	5288.1 $\pm$ 683.95	3510.1 $\pm$ 524.14	5574.0 $\pm$ 695.70	3492.3 $\pm$ 470.59	-	-	-
FRS <sub>C</sub>	3892.3 $\pm$ 710.23	2634.4 $\pm$ 427.45	3942.1 $\pm$ 683.83	2971.4 $\pm$ 409.50	3693.6 $\pm$ 600.34	2700.3 $\pm$ 736.37	877.2 $\pm$ 223.06	960.05 $\pm$ 249.46	1074.8 $\pm$ 453.60
Pt	7159.9 $\pm$ 2009.3	6706.8 $\pm$ 1248.2	10840.6 $\pm$ 1820	8171.5 $\pm$ 459.5	10526.7 $\pm$ 1253	7696.06 $\pm$ 1424	-	-	-
TDF <sub>e</sub>	18584.5 $\pm$ 7680	13788.1 $\pm$ 4252	24726.2 $\pm$ 7681	21166.6 $\pm$ 7845	22990.2 $\pm$ 9438	13153.5 $\pm$ 4346	-	-	-

TCS= tempo de contacto com o solo; TV= tempo de voo; TF<sub>E</sub> = tempo da fase excêntrica; TF<sub>C</sub> = tempo da fase concêntrica; TPF<sub>C</sub>= tempo até o pico de força concêntrica; I<sub>E</sub> = impulse excêntrico; I<sub>C</sub> = Impulse concêntrico; FRS<sub>E</sub> = forças de reação do solo na fase excêntrica; FRS<sub>C</sub> = forças de reação do solo na fase concêntrica; Pt = potência máxima; TDF<sub>e</sub> = A taxa de força decrescente: DJ = Drop Jump; HDJ<sub>a</sub> = eixo ântero-posterior do DJ horizontal; HDJ<sub>v</sub> = eixo vertical do DJ horizontal

Tabela 11. Resumo do nível de significância entre as diferenças entre o Drop Jump e o Horizontal Drop Jump.

* →	Grupos	TCS	ES	TV	ES	TF <sub>E</sub>	ES	TF <sub>C</sub>	ES	TPF <sub>C</sub>	ES	I <sub>E</sub>	ES	I <sub>C</sub>	ES	FRS <sub>E</sub>	ES	FRS <sub>C</sub>	ES	Pt	ES	TDF <sub>E</sub>	ES	
DJ30 vs. HDJ30 <sub>v</sub>	A	√Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	0.27	∧Y****	> 1.0	
DJ40 vs. HDJ40 <sub>v</sub>		√Y*	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∨Y**	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	0.77	∧Y****	0.82	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	0.71	∧Y****	0.25	
DJ50 vs. HDJ50 <sub>v</sub>		√Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∨Y**	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	0.57	∧Y****	0.69	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	
DJ30 vs. HDJ40 <sub>v</sub>		-	-	-	∨Y**	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∨Y****	0.69	∨Y****	0.18
DJ30 vs. HDJ50 <sub>v</sub>		-	-	-	∨Y**	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∨Y****	0.30	∧Y****	0.87
DJ40 vs. HDJ50 <sub>v</sub>		-	-	-	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∨Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	0.54	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0	∧Y****	> 1.0
DJ30 vs. HDJ30 <sub>a</sub>	B	-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
DJ40 vs. HDJ40 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
DJ50 vs. HDJ50 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
DJ30 vs. HDJ40 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
DJ30 vs. HDJ50 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
DJ40 vs. HDJ50 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
HDJ30 <sub>v</sub> vs. HDJ30 <sub>a</sub>	C	-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
HDJ40 <sub>v</sub> vs. HDJ40 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
HDJ50 <sub>v</sub> vs. HDJ50 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
HDJ30 <sub>v</sub> vs. HDJ40 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
HDJ30 <sub>v</sub> vs. HDJ50 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	
HDJ40 <sub>v</sub> vs. HDJ50 <sub>a</sub>		-	-	-	-	-	-	-	∨Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	∧Y****	> 1.0	-	-	-	-	-	

DJ= Drop Jump; HDJa = eixo ântero-posterior do DJ horizontal; HDJv = eixo vertical do DJ horizontal; TCS= tempo de contacto com o solo; TV= tempo de voo; TF<sub>E</sub>= tempo da fase excêntrica; TF<sub>C</sub>= tempo da fase concêntrica; TPF<sub>C</sub>= tempo ate o pico de força concêntrica; I<sub>E</sub> = impulso excêntrico; I<sub>C</sub>= impulso concêntrico; FRS<sub>E</sub> = força de reação no solo na fase excêntrica ; FRS<sub>C</sub> = força de reação no solo na fase concêntrica; Pt= potência ; TDF<sub>E</sub>= taxa de desenvolvimento de força concêntrica; N= não significativo; \* = representa a quantidade 0 após o ponto (Ex. Y\*\*\* = 0,0007).

#### **4.3.4 Discussão**

Este estudo teve como objetivo comparar as variáveis espaço-temporais do DJ contra HDJ em saltadores e velocistas de elite para testar a hipótese de que existem diferenças entre os dois exercícios. Tanto quanto sabemos, este é o primeiro estudo exaustivo a quantificar as diferenças existentes entre o DJ e o HDJ nas variáveis espaço-temporais. Os resultados mostram uma variedade de diferenças significativas entre os dois exercícios, principalmente no grupo A, que comparou a componente vertical do DJ vs. a componente vertical do HDJ.

Os nossos dados mostraram que o TCS foi mais curto no DJ quando comparada com HDJ, tal como já tinha sido reportado antes (Ball and Zanetti, 2012). Isso pode ser explicado pela maior ênfase na projeção horizontal da anca durante o HDJ, resultando em TCS superior à 250ms (Nagano et al., 2007, Wakai and Linthorne, 2005). Tal como em estudos anteriores, reportamos que o TCS para o mesmo exercício não mostrou diferenças significativas entre as diferentes AQ (Kipp et al., 2018, Bobbert et al., 1987b, Walsh et al., 2004c). Os nossos resultados são interessantes para o domínio do treino, uma vez que nenhum atleta registou um aumento da TCS com o aumento da AQ. O nosso estudo ressalta a importância da utilização do treino baseado na reatividade (DJ com rebote) com diminuição do TCS que pode favorecer a velocidade, geralmente utilizado na fase de preparação especial ou competitiva (Byrne et al., 2020, Healy et al., 2019). Além disso, destacamos que o treino baseado no DJ com contramovimento, onde se busca maior AS, diminui a componente reativa. Isto é verificável, um estudo anterior mostrou grandes ângulos de joelho, levando ao aumento do TCS (Bobbert et al., 1987a). Durante o HDJ, os TCS são superiores a 250 ms, pela sua estrutura concêntrica não cumprem o princípio dos saltos reativos (Flanagan and Comyns, 2008b, Y. Verkhoshansky, 2006), mas podem acumular uma grande energia excêntrica semelhante à necessária para a realização de séries de blocos (Moresi et al., 2011) de saltos triplos e quádruplos (Holm et al., 2008, Simpson and Cronin, 2006). Estes exercícios podem ser mais benéficos como componente da preparação geral, onde não é necessário um TCS curto, e o treino é dominado pela força geral e elevado volume de saltos. No entanto, não se deve excluir a possibilidade de serem utilizados como reforço durante a preparação especial.

O  $TPF_C$  para o DJ foi mais curto quando comparado com um estudo anterior, mostrando um melhor desempenho que permite atingir o pico de força concêntrica (Fowler and Lees, 1998a). Verificamos que o  $TPF_C$  pode demorar 45-55% do tempo total do salto, o que significa que os músculos ainda têm de continuar a produzir força após atingirem o pico de força concêntrica (45-55% mais tempo). Adicionalmente, os nossos resultados mostraram que, no HDJ, as forças ântero-posteriores demoram mais tempo a atingir o pico de produção de força do que as forças verticais o que pode constituir uma boa referência se quisermos usar o HDJ em exercícios em que a força concêntrica horizontal máxima é ativada depois da vertical.

Os resultados do  $TF_E$  e do  $TF_C$  mostraram que, para ambos os exercícios, o  $TF_E$  tende a ser significativamente inferior ao CPT. Um estudo anterior com velocistas de elite também registou este resultado (Coh and Mackala, 2013). Da mesma forma, o  $TF_E$  é significativamente mais baixo no DJ do que no HDJ. Para o  $TF_C$ , o comportamento é o mesmo, com diferenças significativas mais baixas no DJ do que no HDJ (Tabela 11). Outra constatação é que, durante o HDJ, o TCS da componente excêntrica demora mais tempo do que a concêntrica, afetando significativamente a componente reativa. Embora este entendimento seja confiável, considera-se que a investigação futura deve ser direcionada para estas questões. Por outro lado, ao comparar os resultados entre o pré-teste do IHP e as distâncias obtidas durante o HDJ, observou-se que não houve diferenças significativas entre as diferentes AQ. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que uma maior AQ aumenta os níveis de pré-ativação neuromuscular e a velocidade atingida na fase excêntrica, aumentando os mecanismos de potencialização muscular e tendinosa (Flanagan and Comyns, 2008b). Da mesma forma, quando um músculo sofre um estiramento rápido imediatamente antes de realizar uma contração, a força amplifica-se, acompanhada pela reutilização da energia elástica armazenada no tendão (Cavagna, 1977). Este comportamento pode continuar a reproduzir-se à medida que a AQ aumenta até aparecer uma zona crítica em que o tempo da fase excêntrica é demasiado longo. Nessa AQ, a energia elástica acumulada pode ser dissipada sob a forma de calor (Cavagna, 1977), o que afetará negativamente o desempenho do salto, provocando uma diminuição da distância alcançada. Isto indica que o HDJ pode constituir uma boa referência para ser transferido para exercícios em que a força concêntrica horizontal máxima é ativada após a força concêntrica vertical máxima. No entanto, para garantir a ação anterior, deve-se realizar a chamada, flexionando o quadril e os joelhos num

contramovimento descendente, girando o corpo em torno dos pés até a quantidade desejada de inclinação para frente e, em seguida, projetando o corpo para fora e para cima por meio de uma extensão explosiva dos membros inferiores, conforme relatado anteriormente (Wakai and Linthorne, 2005). Estes autores também notaram que no IHP, o ângulo de chamada ideal é consideravelmente inferior a  $45^\circ$ , mas durante o HDJ, estas condições devem ser melhor investigadas.

Para além destes resultados, verificou-se que o TV era significativamente mais elevado no DJ do que no HDJ (tabela 11), apoiando a nossa hipótese de que existem diferenças entre estes exercícios. O TV foi uma das variáveis que não pôde ser determinada a olho nu, e o seu comportamento difere do esperado pelos investigadores. Tal como em reportes anteriores, o TV do HDJ não foi mantido e invertendo-se após 0,4m AQ, possivelmente devido ao aumento da carga excêntrica e à necessidade de levar mais tempo para mover o tronco para a frente (Walsh et al., 2004c, Bobbert et al., 1987b).

O  $FRS_E$  representa as forças de aterragem, e corresponde à fase em que o movimento ainda se encontrava no seu segmento negativo (excêntrico), podendo ser fortemente influenciado pela estratégia de queda (Jensen and Ebben, 2007, Bobbert et al., 1987a). Já, o  $FRS_C$  representa a fase positiva (concêntrica) do movimento, tendo início quando a velocidade inverte a direção e aumenta de valor. É pouco provável que o  $FRS_C$ , em condições normais, seja influenciado por fatores externos que não a capacidade do atleta em gerar forças puramente concêntricas. As variáveis mais críticas para a análise do desempenho do DJ derivam da estratégia como é avaliado. Esta consideração também se baseia no facto de que dentro do CAE, a energia necessária para realizar ações excêntricas é significativamente menor do que a necessária para ações concêntricas (Tesch et al., 2017). Por esta razão, apesar de reconhecermos os benefícios da fase excêntrica para o aumento da rigidez muscular e os seus efeitos na função da fase concêntrica (Cormie et al., 2010), consideramos o  $FRS_C$  como a variável essencial do FRS no contexto da avaliação do desempenho atlético.

No geral, a  $FRS_E$  foi significativamente maior no DJ vs. HDJ, fornecendo evidências de que nos saltos verticais, a produção de força excêntrica é maior do que nos saltos horizontais. A  $FRS_E$  média encontrada por nós é maior do que a média reportada em pesquisas anteriores (Bobbert et al., 1987a, Makaruk and Sacewicz, 2011, Jensen and

Ebben, 2007, Dobbs et al., 2015). Como o HDJ é afetado pela sua atividade de contramovimento, é lógico mostrar resultados semelhantes aos de estudos anteriores, onde é evidente uma diminuição das forças com esta técnica (Bobbert et al., 1987a). Outro resultado encontrado importante prende-se com o fato de que, para ambos os exercícios, a  $FRS_E$  aumentou consideravelmente com o aumento da AQ, corroborando relatos anteriores (Bobbert et al., 1987b) e mostrando que as forças excêntricas são afetadas pela AQ. Em outro estudo, no qual foi analisada a aterragem do DJ a partir de diferentes AQ (Young et al., 1995), verificou-se que com o aumento da AQ, a quantidade de golpes de calcanhar durante o contato também aumentou. Este comportamento foi observado em ambos os exercícios DJ e HDJ. Além disso, a representação do pico de força inicial resultante da batida do calcanhar é maior no DJ do que no HDJ, mas menos abrupta e com um tempo maior no HDJ (Figura 2). Outras investigações realizadas indicam uma componente horizontal e uma componente vertical no HDJ, enquanto o DJ tem apenas uma componente vertical (Moran et al., 2021a, Nagano et al., 2007). Embora a sua justificativa seja baseada na análise de vídeos, esse critério pode ser infundado quando se analisam os traços de força da DJ (Figura 2), onde as forças ântero-posteriores estão presentes, mas com um componente visivelmente menor do que na HDJ.

Durante o DJ50, encontramos um aumento do  $I_E$ , do  $I_C$  e do  $FRS_E$ , mas observamos uma diminuição do  $FRS_C$ , o que reforça a importância da separação das forças (excêntrica e concêntrica) durante o TCS. Este comportamento já foi explicado anteriormente e deve representar um ponto de alerta para os treinadores que procuram trabalhar a intensidade do exercício pliométrico com base na produção de força concêntrica (Ishikawa and Komi, 2004). No DJ50, foi encontrado um ligeiro aumento não significativo no TCS, no TV e, conseqüentemente, na AS. Nesta altura, o atleta pode começar a alterar a técnica de salto devido ao aumento excessivo da carga excêntrica, afetando assim a força reativa (Bobbert et al., 1987a). Observou-se também que quando o gráfico de força vertical tem forma cônica (Figura 2), a força concêntrica máxima é atingida no início da fase concêntrica, portanto, a duração da fase excêntrica iguala o tempo em que a força concêntrica máxima é atingida. Esse comportamento não foi reportado anteriormente.

Este é o primeiro estudo a comparar os resultados do  $FRS_C$  nos eixos vertical e horizontal do DJ e HDJ. Verificou-se que o grupo A (eixo vertical do DJ vs. eixo vertical

do HDJ) apresentou diferenças significativas em todos os conjuntos de AQ (Tabela 11), demonstrando que o  $FRSc$  vertical é sempre maior no DJ do que no HDJ.

Isto pode ser explicado pelo facto de que durante o HDJ, após a velocidade atingir 0 m/s, o corpo inicia simultaneamente um deslocamento vertical para cima e um deslocamento horizontal para a frente, dividindo a produção de força em ambas as componentes. Durante muito tempo, a compreensão da pliometria no atletismo limitou-se apenas à direção vertical, mas sabe-se que a maioria das suas atividades inclui uma componente horizontal. A investigação demonstrou que os exercícios pliométricos horizontais na concepção do programa respeitam o princípio da especificidade. Numerosos estudos mostram melhorias no desempenho do treino pliométrico quando os exercícios são específicos para o plano em que são realizados (Kossow and Ebben, 2018b). Neste sentido, o HDJ pode ser mais bem utilizado para treinar movimentos em que os tempos de contacto com o solo são mais longos e com maior componente concêntrico, tais como as fases de aceleração de um sprint, bem como para melhorar a capacidade de empurrar (Hay, 1993) durante saltos horizontais unilaterais e bilaterais.

Este estudo também sublinha que o pico da força ântero-posterior no HDJ ocorre sempre mais tarde do que o pico de força vertical. Além disso, o impulso mostrou diferenças significativas com ES moderado a grande. Também, durante o DJ, o  $I_E$  é sempre menor do que o  $I_C$ , mas para o HDJ este comportamento tende a inverter-se com o aumento da AQ (Tabela 11). Outra constatação é que o impulso vertical da fase concêntrica para ambos o exercício não parece ser afetado pelo aumento de AQ, o que também foi corroborado em estudos anteriores (Peng et al., 2017b, Walsh et al., 2004c). Em conjunto com estes resultados, reportamos que; à medida que o impulso aumenta, o TCS também tende a aumentar. Tomando este comportamento em consideração, é preciso ter cuidado porque um aumento do impulso pode afetar as variáveis de força reativa, dependendo da técnica utilizada (por exemplo,  $I_C = 350$  j com força elevada e tempo curto vs. força baixa com tempo longo).

Os resultados de Pt já eram esperados, uma vez que a Pt é um produto da força vezes a velocidade, e a sua relação tem sido amplamente documentada (Stone et al., 2003). As potências concêntricas encontradas neste estudo foram baseadas na potência pico instantânea. Outros estudos não são claros sobre se reportam a potência calculando

a FRS máxima multiplicada pela velocidade máxima, onde os resultados podem ser superestimados (Matic et al., 2015c). A produção de potência entre os diferentes AQ mostrou diferenças significativas. Para DJ, a maior potência foi produzida em DJ40, embora a diferença de médias em relação a DJ50 não seja tão elevada e possa ser considerada pelos treinadores para a determinação da carga ideal. Para o HDJ, pode observar-se que o HDJ40 apresenta valores de Pt mais elevados e pode, por conseguinte, ser considerado a carga ideal para a produção de potência. Em contrapartida, o Pt do HDJ50 desce drasticamente. Este comportamento não é totalmente surpreendente, uma vez que o  $FRS_C$  para o HDJ50 também é afetado e pode ser influenciado por um aumento da velocidade de aterragem. Estes resultados são consistentes com outros estudos que sugerem AQ entre 0.40 e 0.60m para o treino da Pt (Matic et al., 2015b). Os nossos resultados podem também alertar os treinadores que procuram trabalhar a Pt para AQ acima das recomendadas na literatura científica.

Relativamente à TDF, os estudos têm-se centrado frequentemente na aterragem (Ebben et al., 2011a), em torno do primeiro pico de FRS (Gillen et al., 2021, Gillen et al., 2019a, Jensen and Ebben, 2007), e apenas nos saltos de contramovimento e de agachamento (Ebben et al., 2008a, McLellan et al., 2011, Moir et al., 2009, Thorlund et al., 2008). Além disso, em avaliações de saltos como o salto em contramovimento, a TDF foi derivada como a diferença na curva força-tempo a partir do ponto de pico da força concêntrica menos o início da fase concêntrica, dividida pelo tempo e expressa em newtons por segundo. Outros investigadores também com o salto em contramovimento preferiram calcular a TDF média (Moir et al., 2009, McLellan et al., 2011). Para isso, o cálculo considera tendo em conta os critérios de Cormie et al., 2008, que foram dos primeiros a propor a avaliação da TDF na fase concêntrica (Cormie et al., 2008). Estas avaliações durante o salto em contramovimento parecem ser de pouca complexidade, devido à clareza com que a curva de força pode ser observada durante este salto. No entanto, durante o DJ, embora seja razoável, pode não fazer sentido avaliar a TDF durante o primeiro contacto, especialmente sabendo que as estratégias de queda e a AQ influenciam estes resultados (Jensen and Ebben, 2007). Este estudo insiste em avaliar o comportamento da fase concêntrica do DJ, onde as equações antes apresentada não parecem ajustar-se ao gráfico da curva de força. Uma possível estratégia para ultrapassar este problema poderia ter sido analisar as forças desde o início da fase concêntrica até o pico concêntrico. Mas, como referimos anteriormente, a força máxima do pico

concêntrico coincide com o início da fase concêntrica, pelo que o cálculo do TDF seria nulo. Respondendo ao critério de que não existe nenhum relatório sobre o comportamento da variação da produção de força após atingir o pico máximo da fase concêntrica no DJ, propõe-se neste estudo a estratégia de cálculo da TDFe. Esta estratégia pretende resolver o problema prático e fundamental do contexto de treino. A TDFe descreve até que ponto o atleta consegue manter altos níveis de força após atingir o pico concêntrico.

Em geral, para TDFe, entre as mesmas AQ, DJ vs. HDJ mostrou-se superior, embora este resultado tenha sido diferente no conjunto DJ30 vs. HDJ30v. Além disso, o tempo para LF30 foi menor em DJ em comparação com HDJ. Por o  $FRS_C$  ter sido superior no DJ vs. HDJ, justifica-se que o TDFe possa tender a ser significativamente superior no DJ vs. HDJ. Os nossos resultados suportam este comportamento sobre a utilização do DJ como componente da preparação especial e do HDJ como componente da preparação geral. Com estes resultados, reportamos que a variabilidade interindividual da TDFe (demonstrada em SD) é tão grande que, para investigações em que é necessária a comparação interindividual ou a medição dos efeitos dos programas de treino, recomenda-se a sua normalização para a massa corporal. O treino baseado na TDFe para treinadores pode ser de maior interesse durante as fases pré-competitiva e competitiva da época. A TDFe é mais sensível para detetar alterações agudas e crónicas na função neuromuscular (Maffiuletti et al., 2016), pelo que o treino com base nela pode garantir uma redução considerável do volume de treino, otimizando a qualidade do desempenho e a manutenção da intensidade semelhante aos seus níveis máximos.

Finalmente os resultados destas comparações alertam-nos para o facto de o DJ ser um exercício mais intenso integralmente do que o HDJ. Neste sentido, a utilização do DJ pode ser justificada para programas que visem melhorar o desempenho da intensidade pliométrica. Como referido num estudo anterior, embora existam diversas variáveis para determinar a intensidade do treino (Montoro-Bombú et al., 2023). Parece-nos que o IIFR pode ser mais bem ajustado no contexto de campo, uma vez que a sua monitorização não requer uma utilização tecnológica tão complexa como a avaliação cinética. Mas ainda não sabemos se o treino baseado no IIFR apresenta melhores efeitos do que os programas anteriormente descritos na literatura. Neste sentido, seria interessante comparar um

programa de treino baseado no IIFR contra um programa tradicional. Isto permitiria responder ao objetivo geral da investigação.

#### 4.4 Efeito do treino pliométrico baseado no índice integral de força reativa sobre as variáveis espaço-temporais associadas ao desempenho de saltadores e velocistas de nível nacional.

**Objetivo 4:** Examinar o efeito de 8 semanas de treino de Drop Jump utilizando o IIFR como critério de intensidade em atletas de velocidade e saltos.

**Questão 4:** A aplicação de um programa de treino pliométrico baseado no IIFR conduz a melhores resultados do que os programas de treino tradicionais?

Assume-se que se o treino pliométrico baseado no IIFR apresentar maiores efeitos nas variáveis espaciotemporais associadas ao desempenho do que os programas tradicionais, então o treino baseado no IIFR pode ser uma alternativa para o controlo do volume e da intensidade do treino pliométrico.

**Resposta:** O treino pliométrico baseado no IIFR apresenta maiores efeitos nas variáveis espaciotemporais associadas ao desempenho do que os programas tradicionais.

#### **4.4.1 Introdução**

Foi referido que a força aplicada (Knuttggen and Kraemer, 1987) ou a força útil (González-Badillo and Ribas, 2002) é a expressão externa da tensão produzida no interior do músculo e corresponde a um valor relativo de força máxima dinâmica em vários movimentos desportivos rápidos (González-Badillo and Ribas, 2002). Por isso, investigadores preocupam-se em medir a força máxima no mais curto espaço de tempo possível (Hori et al., 2009b, Dell'Antonio et al., 2016, Jensen and Ebben, 2007, Kossow and Ebben, 2018a). Também foi referido que para o sucesso da maioria dos eventos desportivos, é mais relevante aplicar a força máxima rapidamente do que ter um nível elevado de força máxima (Jiménez-Reyes et al., 2018). Isto porque as ações mais representativas no desporto têm tempos de contato com o solo (TCS) inferiores a 250 ms (Asmussen and Bonde-Petersen, 1974). Estas reflexões mostram-nos que, atualmente, o treino deve ser direcionado para preparar os atletas em aplicar força rapidamente, em vez de desenvolver hipertrofia ou utilizar cargas elevadas a baixas velocidades. Resultados anteriores mostraram que a melhor maneira de transferir força para uma ação específica do desporto é mediante exercícios com características de força-tempo relacionadas com movimentos específicos do desporto (Young, 2006, Zatsiorsky et al., 2021). Assim, os programas de treino pliométrico (PTP), devido às suas características, podem ser considerados a melhor forma de treinar a força aplicada em movimentos dinâmicos rápidos que requerem grandes quantidades de força com curtos TCS.

Até ao presente alguns investigadores abordaram a importância de programas variados de treino de saltos (JTP) (Duda, 1988, Ebben, 2007, Silva et al., 2019, Ramirez-Campillo et al., 2020e). Atualmente, podemos encontrar JTP para o desenvolvimento da velocidade de corrida (Meylan et al., 2009, Bianchi et al., 2019, Chelly et al., 2010), mudanças de direção (Bianchi et al., 2019, Falch et al., 2022), força reativa (Lloyd et al., 2012, Dallas et al., 2020) e Pt (Sedano et al., 2009, Chelly et al., 2010). Os investigadores também consideraram os diferentes tipos de superfícies de aterragem (Ramírez-Campillo et al., 2013, Ahmadi et al., 2021b), a utilização de saltos bilaterais e unilaterais (Bogdanis et al., 2019) e como as variações de volume afetam o desempenho dos saltos (Jeffreys et al., 2019). Quando comparados os JTP simples contra combinado na cinética e cinemática do salto, este último proporcionou melhores resultados no desempenho do salto vertical do

que JTP simples (Sanchez-Sixto et al., 2021). Outros encontraram melhores resultados na força e taxa de desenvolvimento de força para cada perna individualmente no JTP (Bogdanis et al., 2019) bom como que a JTP de curta duração usando diferentes volumes e superfícies de aterragem podem melhorar o desempenho explosivo (Ramírez-Campillo et al., 2013). Por outro lado, buscando identificar a eficácia de cargas pliométricas de alto e baixo volume no ciclo de alongamento encurtamento, pesquisadores relataram que um JTP de baixo volume provoca a mesma melhora no desempenho do índice de força reativa (IFR) que um programa de alto volume. Sem dúvida, a melhor maneira de desenvolver atividades pliométricas é através da organização correta de um programa (Jeffreys et al., 2019). No entanto, uma revisão sistemática recente mostrou que a maioria dos estudos incluídos na sua investigação apresentava problemas de concepção metodológica, reportando assim parâmetros inconsistentes de volume e intensidade (Montoro-Bombú et al., 2023).

Por outro lado, no que respeita ao IFR, o nosso estudo anterior com velocistas de 100 y 400m demonstrou que este indicador apresenta problemas de interpretação e de aplicação prática. Por estas razões, foi proposto o índice integral de força reativa (IIFR) como uma medida que considera a força reativa do atleta em relação à AQ. Se estes pressupostos estiverem corretos, o IIFR pode ajudar no processo de individualização, uma vez que os atletas estariam a treinar com base nas suas características individuais e não num volume pré-determinado de séries e repetições que, por vezes, apresentam pouca justificação científica. Embora esta abordagem pareça interessante, será que o treino pliométrico baseado no IIFR como critério de intensidade, proporciona melhores resultados do que os programas tradicionais de treino de saltos? Até à data não foi publicado na literatura nenhum estudo científico que compare o treino pliométrico baseado no IIFR com os programas tradicionais. Também não existem estudos que comparem como o treino baseado no IIFR pode afetar o IHP, o salto triplo parado (TSP), sprint e resultados de DJ em diferentes AQ comumente utilizados como meios de treino ou testes de monitoramento do treino para velocistas e saltadores no atletismo. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo comparar um PTP baseado no IIFR contra um PTP tradicional sobre as variáveis espaciotemporais associadas ao desempenho de saltadores e velocistas de nível nacional.

#### 4.4.2 Métodos

##### 4.4.2.1 Abordagem experimental do problema.

Foi realizado um estudo transversal cruzado, aleatório, de medidas repetidas com o objetivo de testar a hipótese de que um PTP baseado no IIFR tem melhores efeitos do que um PTP tradicional nas variáveis espaciotemporais associadas à performance de saltadores e velocistas de nível nacional. O experimento teve a duração de 19 semanas (figura 14), durante as quais foram aleatorizados dois grupos experimentais através de uma ferramenta de acesso livre (<http://www.jerrydallal.com/random/randomize.htm>). Um grupo, denominado G-RT1, iniciou o experimento com PTP baseado no IIFR. Outro grupo, denominado G-PT2, iniciou a experimento com PTP tradicional, enquanto o grupo denominado G-CT3 foi um grupo de controlo e continuou o seu treino sem intervenção pliométrica. O tempo determinado de intervalo para o cruzamento entre o programa 1 (PTP-1) e o programa 2 (PTP-2) foi de 15 dias. Os grupos (G-RT1, G-PT2 e G-CT3) constituíram as variáveis independentes, enquanto as variáveis de desempenho (IHP, 60m, TSP e IIFR) constituíram as variáveis dependentes.

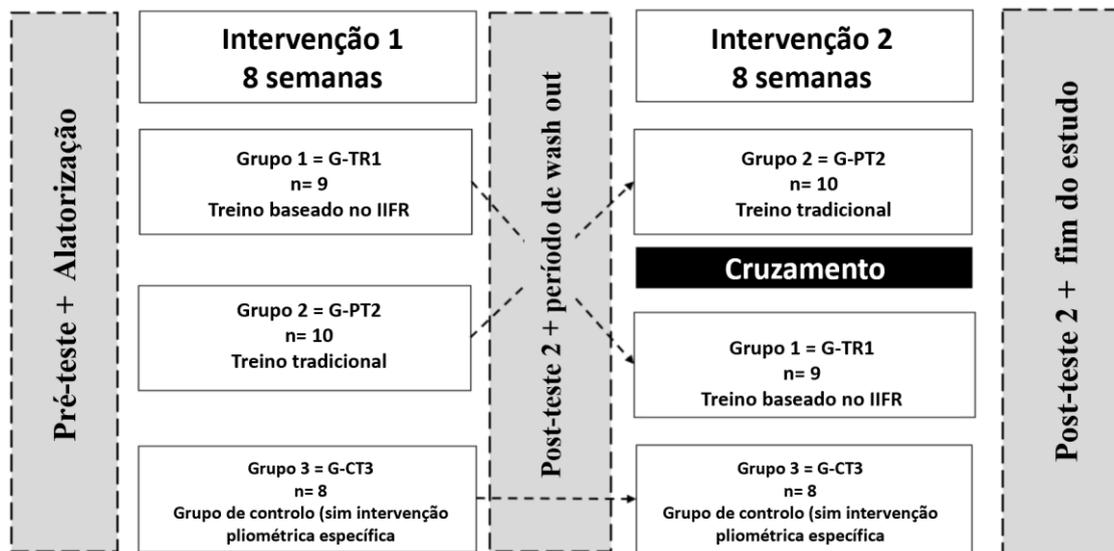


Figura 14: Diagrama do desenho experimental do estudo

#### 4.4.2.2 Participantes

Foram recrutados 29 participantes, dos quais dois abandonaram o estudo voluntariamente. Para efeito de análise de resultados, foram analisados 27 participantes federados de atletismo do sexo masculino ( $19,2 \pm 3,5$  anos; altura  $1,77 \pm 0,58$ m; massa corporal  $71,6 \pm 8,14$  kg; IMC =  $21,89 \pm 3,14$  kg m<sup>-2</sup>). Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: atletas com mais de três anos de experiência em provas de atletismo de sprints curtos e saltos, e com experiência em treino pliométrico igual ou superior ao nível dois (Montoro-Bombú et al., 2023). Verificou-se que os atletas tinham uma experiência de treino pliométrico de  $14 \pm 5$  pontos, situando-os entre os níveis 2 e 3. Todos os atletas foram informados dos riscos associados às medições e satisfaziam os critérios enunciados no capítulo III.

#### 4.4.2.3 Procedimento

O experimento foi realizado durante a época desportiva de verão. Na semana anterior ao início do estudo, durante dois dias foram dedicados ao pré-teste. No primeiro dia, foram coletados os dados antropométricos. Também foram recolhidos valores de desempenho do sprint de 60 m, IHP, TSP e do medio-agachamento (1RM). O teste 1MR neste estudo foi introduzido como uma covariável, a fim de comprovar o quanto este desempenho pode influenciar os resultados obtidos no momento de pré-teste. No segundo dia, foi avaliado o DJ entre AQ de 0,30 e 0,60m. Antes de realizar o protocolo de avaliação, os atletas realizaram um aquecimento padrão estabelecido no estudo 3. O aquecimento incluiu: três voltas à pista de atletismo (400 m) e alongamentos dinâmicos. Em seguida, dispuseram de 30 minutos para efetuar um aquecimento individual em concordância com a sua especialidade desportiva. Após 5 minutos de recuperação, foram efetuadas as avaliações. Os testes foram realizados de acordo com os critérios expostos no capítulo III.

##### 4.4.2.3.1 Programa do treino

Cada programa de treino foi realizado em paralelo durante oito semanas. A seguir, foi estabelecido um tempo de recuperação (efeito de “washout”) de 15 dias, onde os atletas realizaram o seu treino regular sem intervenção pliométrica. No terceiro e quarto dias após o término do PTP-1, os atletas realizaram o primeiro pós-teste seguindo a mesma ordem do pré-teste. O segundo programa de treino também foi realizado em

paralelo, mas desta vez com os grupos cruzados (Figura 14) durante oito semanas seguintes. O pós-teste final foi realizado no terceiro e quarto dia após o término do PTP-2. Durante as duas avaliações, os atletas realizaram o mesmo aquecimento descrito no pré-teste, depois realizaram o treino pliométrico e, em seguida, continuaram o seu treino regular.

O grupo G-RT1 iniciou o experimento com o PTP-1 baseado no IIFR (Tabela 12). Para esse programa, o volume de treino dependia da manutenção da intensidade acima de 95% da AQ máxima atingida e da melhor pontuação no teste IIFR não existindo, portanto, volume de treino pré-determinado. O número de repetições por série foi estritamente individualizado e dependeu da manutenção da intensidade pré-definida. O número de séries foi padronizado em quatro para estabelecer uma similaridade entre o número de séries de ambos os programas. A intensidade foi monitorizada com OPT, e cada atleta foi informado dos resultados do IIFR e quando apresentava uma perda 5%. Este programa seguiu as recomendações anteriores para a organização metodológica de programas de treino pliométrico (Montoro-Bombú et al., 2023).

Tabela 12: Programa do treino baseado no IIFR

Exercícios	AQ	Intensidade	Repetições por série	Intervalos de descanso entre repetições	Series	Intervalos de descanso entre séries	Frequência semanal	Tempo entre sessões
DJ	Melhor IIFR	95-100 % máximo IIFR	Até 5% de perda do melhor IIFR.	50 ± 5 seg.	4	4-6 min	3	48 horas

DJ = Drop Jump; AQ = queda em altura; IIFR = índice integral de força reativa

O treino tradicional (PTP-2) foi baseado em critérios de volume estabelecidos, mantidos durante oito semanas (Chelly et al., 2014). O volume foi definido em quatro séries de 10 repetições fixas de AQ, e foram mantidas as condições de frequência, recuperação intra e intersessão propostas na Tabela 12. O AQ do PTP-2 foi ajustado conforme o seu melhor IIFR.

#### 4.4.2.4 Analise estatística

Os dados descritivos são apresentados através dos valores da média e desvio padrão. Os pressupostos de normalidade e homogeneidade dos dados foram testados através do teste de Shapiro-Wilk. O poder estatístico foi estabelecido a priori (ANOVA para medidas repetidas, interações intra individuais). O valor beta ( $1-\beta$  err prob) foi de 95%, com um alfa ( $\alpha \leq$  err prob) de 0,05 e uma dimensão de efeito de 0,4, o que exigiu uma dimensão de amostra de 24 indivíduos. Os restantes procedimentos de análises estatísticas foram efetuadas conforme descrito no capítulo III.

#### 4.4.3 Resultados

Foi encontrado um aumento significativo da interação grupo-tempo entre as variáveis dependentes no final do PTP 1, em que: IHP ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 95,4$ ;  $\eta^2 = 0,048$ ), 60m ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 101,2$ ;  $\eta^2 = 0,089$ ), TSP ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 119,8$ ;  $\eta^2 = 0,031$ ), DJ30 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 84,6$ ;  $\eta^2 = 0,145$ ), DJ40 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 56,8$ ;  $\eta^2 = 0,163$ ), DJ50 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 40,7$ ;  $\eta^2 = 0,068$ ) e DJ60 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 27,8$ ;  $\eta^2 = 0,078$ ). Este comportamento também foi observado no final do PTP 2 onde IHP ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 52,7$ ;  $\eta^2 = 0,045$ ), 60m ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 42,2$ ;  $\eta^2 = 0,055$ ), TSP ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 22,7$ ;  $\eta^2 = 0,011$ ), DJ30 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 29,1$ ;  $\eta^2 = 0,042$ ), DJ40 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 20,45$ ;  $\eta^2 = 0,011$ ), DJ50 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 30,9$ ;  $\eta^2 = 0,035$ ) e DJ60 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 35,3$ ;  $\eta^2 = 0,050$ ). Características mais detalhadas da relação grupo x tempo entre os programas durante o pré-teste, antes e após o cruzamento (com ajustamento de Bonferroni, ES, IC 95%) estão apresentadas na tabela 13.

No pré-teste, verificaram-se diferenças entre os grupos em 60 m ( $p \leq 0,021$ ;  $f = 4,61$ ;  $\eta^2 = 0,22,3$ ), DJ40 IIFR ( $p \leq 0,010$ ;  $f = 5,67$ ;  $\eta^2 = 0,275$ ). De igual modo, após o PTP 1, apenas foram encontradas diferenças significativas nos 60 m ( $p \leq 0,021$ ;  $f = 4,61$ ;  $\eta^2 = 0,22,3$ ), sendo que no culminar do PTP 2, as diferenças foram no DJ30 IIFR ( $p \leq 0,003$ ;  $f = 7,61$ ;  $\eta^2 = 0,398$ ) e DJ40 IIFR ( $p \leq 0,001$ ;  $f = 8,98$ ;  $\eta^2 = 0,431$ ). A covariável (1RM) teve uma interação positiva no IHP ( $p \leq 0,001$ ), 60 m ( $p = 0,015$ ), TSP ( $p = 0,004$ ), mas não foram encontradas interações positivas para qualquer um dos DJ AQ. Na tabela 14 são mostrados os resultados mais detalhados das diferenças entre os grupos

*Principais resultados dos estudos*

Tabela 13: Efeitos da relação grupo-tempo entre as variáveis dependentes durante o pré-teste e entre os programas antes e depois do cruzamento.

Variables	Grupos	Pre- Test	Test PTP 1	Test PTP 2	Efeitos do PTP 1			Efeitos do PTP 2		
					ES	IC (95%) Sup - Inf	aumento ES	ES	IC (95%) Sup - Inf	aumento ES
<b>IHP (m)</b>	G-RT1	2.83 ± 0.129	2.91 ± 0.131	2.96 ± 0.127	2.31***	3.57 – 1.00	Large	1.95***	3.06 – 0.78	Large
	G-PT2	2.84 ± 0.114	2.88 ± 0.104	2.97 ± 0.071	1.15**	1.95 – 0.32	Large	1.78***	2.78 – 0.74	Large
	G-CT3	2.88 ± 0.139	2.92 ± 0.133	2.93 ± 0.127	3.68***	5.68 – 1.66	Large	0.77	1.55 – 0.04	moderate
<b>60m (seg)</b>	G-RT1	7.15 ± 0.113	7.05 ± 0.085	7.02 ± 0.180	3.26***	1.55 – 4.94	Large	1.78***	0.68 – 2.83	Large
	G-PT2	7.16 ± 0.076	7.11 ± 0.061	7.05 ± 0.145	2.28***	1.05 – 3.47	Large	2.10***	0.94 – 3.22	Large
	G-CT3	7.05 ± 0.046	7.04 ± 0.031	7.03 ± 0.537	0.49	1.55 – 0.04	Small	0.22	0.48 – 0.91	Trivial
<b>TSP (m)</b>	G-RT1	8.68 ± 0.340	8.87 ± 0.368	8.94 ± 0.355	3.05***	3.63 – 1.43	Large	1.89***	2.98 – 0.75	Large
	G-PT2	8.87 ± 0.254	8.81 ± 0.158	8.98 ± 0.250	2.35***	3.57 – 1.10	Large	4.02***	5.94 – 2.08	Large
	G-CT3	8.84 ± 0.279	8.86 ± 0.292	8.84 ± 0.320	0.59	1.33 – 0.18	Moderate	0.18	0.52 – 0.87	Trivial
<b>DJ 0.30m</b>	G-RT1	0.44 ± 0.120	0.63 ± 0.119	0.70 ± 0.138	3.07***	4.66 – 1.44	Large	1.28**	2.16 – 0.36	Large
	G-PT2	0.59 ± 0.095	0.66 ± 0.116	0.83 ± 0.184	1.51***	2.41 – 0.56	Large	2.02***	3.11 – 3.22	Large
	G-CT3	0.51 ± 0.152	0.53 ± 0.148	0.53 ± 0.121	0.66	1.42 – 1.23	Moderate	0.49	0.25 – 1.22	Small
<b>DJ 0.40m</b>	G-RT1	0.74 ± 0.111	0.96 ± 0.117	1.03 ± 0.131	3.07***	4.67 – 1.44	Large	1.28***	2.15 – 0.90	Large
	G-PT2	0.91 ± 0.108	0.98 ± 0.148	1.18 ± 0.229	1.37**	2.23 – 0.47	Large	1.94***	3.00 – 0.84	Large
	G-CT3	0.82 ± 0.156	0.83 ± 0.141	0.84 ± 0.086	0.57	1.31 – 0.19	Small	0.35	0.37 – -1.05	Small
<b>DJ 0.50m</b>	G-RT1	0.98 ± 0.132	1.18 ± 0.125	1.24 ± 0.150	2.72***	4.16 – 1.24	Large	1.16**	1.99 – 0.27	Large
	G-PT2	1.14 ± 0.159	1.22 ± 0.185	1.42 ± 0.258	0.90**	1.63 – 0.14	Large	1.79***	2.80 – 0.75	Large
	G-CT3	1.04 ± 0.190	1.04 ± 0.096	1.04 ± 0.194	0.06	0.62 – -0.76	Trivial	0.35	0.37 – -1.05	Small
<b>DJ 0.60m</b>	G-RT1	1.03 ± 0.150	1.26 ± 0.115	1.35 ± 0.604	1.54**	2.50 – 0.53	Large	1.63**	2.64 – 0.59	Large
	G-PT2	1.20 ± 0.171	1.28 ± 0.197	1.52 ± 0.279	0.88**	1.61 – 0.13	Moderate	1.68***	2.65 – 0.68	Large
	G-CT3	1.10 ± 0.188	1.10 ± 0.123	1.10 ± 0.086	0.35	0.37 – -1.05	Small	0.35	0.37 – -1.05	Small

\*\*\* = < 0,0001; \*\* = < 0,03; \* = < 0,05; IIFR = com Índice Integral de Força Reativa; ES = Effect Size; IC (95%) = intervalo de confiança; IHP = impulsão horizontal parados; TSP= triple salto parado; DJ = Drop Jump; G-RT1 = Grupo que iniciou a intervenção com IIFR; G-PT2 = Grupo que iniciou a intervenção com programa tradicional e G-CT3 = Grupo de controlo; PTP = Programa de Treino pliométrico.

Tabela 14: Efeitos da relação grupo-grupo entre as variáveis dependentes durante o pré-teste e entre os programas antes e depois do cruzamento.

Variables	ANCOVA Bonferroni	Pre-test			PTP 1			PTP 2		
		ES	CI= 95 % Superior - Inferior	Dif. ES	ES	CI= 95 % Lower – upper	Dif. ES	ES	CI= 95 % Superior- Inferior	Dif. ES
<b>IHP (m)</b>	G-RT1 vs G-PT2	0.39	-0.609 – 1.399	Small	0.98	0.058 – 2.024	Large	0.57	-0.438 – 1.59	Medium
	G-RT1 vs G-CT3	-0.08	-1.120 – 0.944	Small	0.34	0.690 – 1.383	Small	0.87	-0.190 – 1.94	Large
	G-PT2 vs G-CT3	-0.48	-1.477 – 0.512	Small	0.63	1.639 – 0.366	Medium	0.30	-0.686 – 1.29	Small
<b>60m (seg)</b>	G-RT1 vs G-PT2	-0.34	-1.348 – 0.657	Small	-1.38**	-2.471 – -0.305	Large	-0.86	-1.894 – 0.168	Large
	G-RT1 vs G-CT3	1.05	-0.023 – 2.138	Large	-0.02**	-1.055 – 1.008	Small	-0.39	-1.432 – 0.645	Small
	G-PT2 vs G-CT3	1.40**	-0.330 – 2.476	Large	1.36	0.296 – 2.432	Large	0.47	-0.524 – 1.464	Small
<b>TSP (m)</b>	G-RT1 vs G-PT2	0.24	-0.756 – 1.243	Small	0.61	-0.398 – 1.631	Medium	0.32	-0.677 – 1.33	Small
	G-RT1 vs G-CT3	-0.26	-1.298 – 0.771	Small	0.40	-0.629 – 1.447	Small	0.76	-0.297 – 1.82	Medium
	G-PT2 vs G-CT3	-0.50	-1.502 – 0.489	Medium	-0.20	-0.208 – 0.777	Small	0.43	-0.558 – 1.43	Small
<b>DJ 0.30m</b>	G-RT1 vs G-PT2	-1.17	-2.236 – -0.117	Large	-2.45	-2.216 – -0.101	Large	-0.83	-1.867 – 0.191	Large
	G-RT1 vs G-CT3	-0.58	-1.634 – 0.459	Medium	0.78	-1.635 – 0.459	Medium	1.01	-0.059 – 2.094	Large
	G-PT2 vs G-CT3	0.58	-0.411 – 1.588	Medium	1.03	-0.429 – 1.596	Large	1.85**	0.720 – 2.991	Large
<b>DJ 0.40m</b>	G-RT1 vs G-PT2	-1.33*	-2.414 – -0.260	Large	-0.78	-1.176 – 0.820	Large	-0.97	-2.013 – 0.067	Large
	G-RT1 vs G-CT3	-0.48	-1.530 – 0.554	Small	0.90	-0.162 – 1.963	Large	1.04	-0.036 – 2.221	Large
	G-PT2 vs G-CT3	0.84	-0.168 – 1.866	Large	1.08	0.045 – 2.121	Large	2.01***	0.855 – 3.175	Large
<b>DJ 0.50m</b>	G-RT1 vs G-PT2	-1.15	-2.216 – -0.101	Large	-0.42	-1.431 – 0.579	Small	-1.06	-2.111 – -0.014	Large
	G-RT1 vs G-CT3	-0.58	-1.635 – 0.459	Medium	0.68	-0.367 – 1.738	Medium	0.82	-0.238 – 1.885	Small
	G-PT2 vs G-CT3	0.57	-0.429 – 1.596	Medium	1.11	0.071 – 2.152	Large	1.88**	0.747 – 3.026	Large
<b>DJ 0.60m</b>	G-RT1 vs G-PT2	-1.09	-2.146 – -0.043	Large	-0.24	-2.153 – -0.383	Small	-1.18	-2.294 – -0.128	Large
	G-RT1 vs G-CT3	-0.44	-1.488 – 0.593	Small	0.86	-1.488 – 0.593	Large	0.98	-0.087 – 2.062	Large
	G-PT2 vs G-CT3	0.64	-0.356 – 1.650	Medium	1.11	-0.335 – 1.420	Large	2.17***	0.989 – 3.363	Large

\*\*\* = < 0,0001; \*\* = < 0,03; \* = < 0,05; IIFR = com Índice Integral de Força Reativa; ES = Effect Size; IC (95%) = intervalo de confiança; IHP = impulsão horizontal parados; TSP= triple salto parado; DJ = Drop Jump; G-RT1 = Grupo que iniciou a intervenção com IIFR; G-PT2 = Grupo que iniciou a intervenção com programa tradicional e G-CT3 = Grupo de controle; PTP = Programa de Treino pliométrico.

#### **4.4.4 Discussão**

O objetivo deste estudo foi comparar o efeito sobre variáveis espaço-temporais associadas a desempenho em saltadores e velocistas de nível nacional após um PTP com carga treino baseado no IIFR contra um PTP tradicional em. Os principais resultados mostram que: I) ambos os PTP apresentam melhoras significativas nas variáveis espaço-temporais analisadas (IHP, TSP, 60 m e DJ); II) a covariável não influenciou o DJ para nenhuma AQ, e III) durante o PTP-1, o grupo G-RT1 apresentou maior ES do que o G-PT2. Após o cruzamento G-PT2 apresentou ES superior do que o grupo G-RT1, demonstrando vantagens associadas a um PTP baseada no IIFR. Considerando o ES, o PTP baseado no IIFR induziu melhores adaptações em todas as variáveis (Tabela 14).

Conforme a hipótese, o PTP baseado no IIFR apresentou maior ES que o treino tradicional. Verificamos que o PTP baseado no IIFR garantiu um melhor controle do processo de treino centrado nas características individuais dos atletas. No grupo G-RT1, durante as primeiras sessões do PTP baseado na IIFR, verificou-se que dois atletas nas primeiras repetições apresentaram melhores resultados do que no pré-teste. Esta constatação ajuda a compreender que fatores alheios ao âmbito deste estudo podem, por vezes, mascarar resultados dos testes. Na sequência desta observação, reajustámos as intensidades de treino (dois atletas), mas não modificámos os resultados do pré-teste para análise estatística. Os atletas do G-RT1, apesar de terem experiência no treino pliométrico, apresentaram uma estabilização da autoconfiança no exercício apenas no final da primeira sessão de treino, o que permitiu uma melhor assimilação das AQ, demonstrada por uma maior consistência sobre a intensidade de 95% nas primeiras repetições. Na primeira sessão de PTP, o grupo G-RT1 iniciou com uma média de  $5,22 \pm 0,92$  saltos por série. Como produto de uma melhor assimilação do exercício e acentuação na manutenção da intensidade (95%), nas 3 e 6 sessões seguintes, o TCS foi reduzido ( $0,180 \pm 0,23$ ) sem afetar o AS. Este comportamento pode ser devido a explicações prévias que relatam que um componente preditivo é ativado durante o treino repetitivo de AQ no qual o sistema motor ajustaria o mapeamento entre a informação sensorial e a força de impacto esperada (Santello, 2005). Desta forma, o organismo adapta-se para estimar a AQ, fornece os dados necessários para inferir a sua duração, e atua sobre variáveis cinemáticas e FRS (Santello, 2005). É provável que 3 a 6 sessões de treino sejam suficientes para provocar estas adaptações iniciais. Entre 5 e 9 sessões, verificámos uma

estabilização entre o TCS e a AQ. Também observamos o aparecimento dos primeiros aumentos no desempenho do grupo entre 1,4 e 2,7% superior ao pré-teste, porém, esse comportamento não teve consistência. O tempo necessário para obter as primeiras alterações no desempenho do DJ foi menor do que em outros estudos (Luebbers et al., 2003) e só pode ser verificado pelo acompanhamento diário das variáveis de desempenho. Entre as sessões 9 e 18, os atletas começaram a aumentar o volume de saltos mantendo o critério de intensidade, resultando numa média do grupo de  $7,88 \pm 1,26$  saltos por série. Entre as sessões 9 e 17, registámos também os primeiros sinais de estabilização do IIFR acima dos 98% de intensidade entre as repetições 3 e 7. A partir da sessão 18 até o final do programa, observamos um aumento considerável no volume de saltos com uma média do grupo de  $9,44 \pm 0,72$  saltos por serie. Da mesma forma, foi observado que os atletas atingiram dez saltos com uma estabilização contínua de intensidade acima de 98% entre as repetições 2 e 9. Os investigadores não esperavam este comportamento e decidiram parar a série quando atingiram as dez repetições para não enviesar os resultados da investigação devido ao aumento dos saltos em comparação com o grupo G-PT2. Este comportamento poderia ser explicado pelas adaptações crónicas produzidas (Markovic and Mikulic, 2010). Além disso, poderia indicar que os atletas precisavam de aumentar a sua AQ individual, para desencadear um novo processo adaptativo. Este comportamento permite-nos compreender que existe um processo heterocrónico do PTP baseado no IIFR que se estabelece de forma sincronizada e individualizada. Este comportamento é dificilmente encontrado em programas que não controlam variáveis diárias de desempenho. A Figura 15 elaborada por nós ilustra esse comportamento nos atletas analisados. Seria interessante em pesquisas futuras analisar o comportamento heterocrónico da potência de saída, pico de força e outras variáveis.

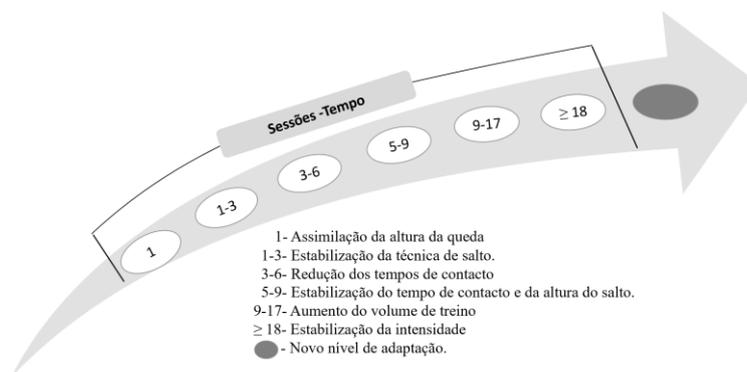
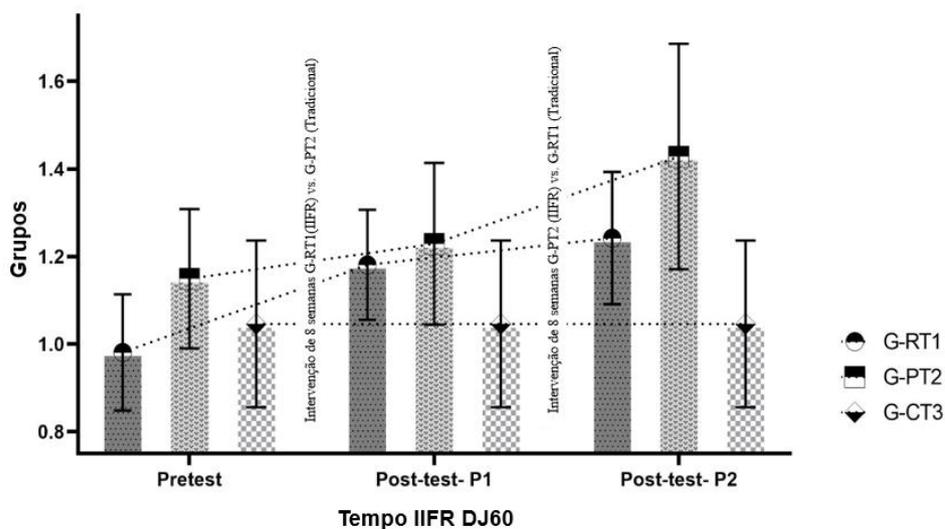


Figura 15: Heterocronismo do treino pliométrico com base no IIFR.

No grupo G-PT2, que iniciou o treino com um programa tradicional, entre as primeiras 1-5 sessões, foram observados problemas técnicos geralmente após a sexta repetição. Esse comportamento não foi reportado em estudos anteriores (Jeffreys et al., 2019, Ahmadi et al., 2021b, Sanchez-Sixto et al., 2021, Lum et al., 2022). Durante o G-PT2, encontrámos aumentos notórios no TCS, mudanças visíveis na execução técnica do ressalto para o contramovimento (Bobbert et al., 1987a), e aparecimento visível de duplos contactos com o solo. Apesar da insistência na manutenção da técnica e do constante encorajamento verbal, este comportamento só melhorou progressivamente após a sessão de treino 9. Neste sentido, questionamos o PTP que apresenta esta estrutura (Markovic et al., 2007, Chelly et al., 2010, Chelly et al., 2014) ou mesmo maior volume de séries (de Villarreal et al., 2008, Ramírez-Campillo et al., 2014) salientando estes problemas técnicos no início do programa. Podemos compreender a lógica de alguns em estabelecer incrementos graduais (Ramírez-Campillo et al., 2014, Terzis et al., 2016, Falch et al., 2022). No entanto, também questionamos o facto de esta progressão não se basear em nenhum critério interindividual, enquanto a lógica dos incrementos pode ser altamente questionável, porque o treino pliométrico requer um certo nível de qualidade de execução antes de se procurar a quantidade. Os dados do pré-teste mostraram que ambos os grupos experimentais (G-RT1 e G-PT2) melhoraram significativamente os seus resultados, em comparação com o grupo de controlo. No entanto, para o DJ60, é evidente que o G-PT2 apresenta maior ES (Figura 16).



**Figura 16.** Resultados da média e desvio padrão na interação grupo-tempo para o ensaio IIFR com uma AQ de 0.60m

Após o cruzamento, o grupo G-RT1 que utilizou o PTP baseado no IIFR realizou o programa tradicional. Todos os atletas partiram de alturas mais elevadas do que as estabelecidas durante o pré-teste, enquanto entre os atletas do G-PTP 2, apenas seis mudaram para uma altura mais elevada. Quando o G-PT2 trabalhou com base no IIFR, não foram mais observados problemas na técnica de salto. No entanto, no início do PTP, eles apresentaram problemas em manter o TCS baixo. Para este grupo, a progressão semanal na manutenção da intensidade de 95% não foi diferente da relatada anteriormente na Figura 16.

Ao contrário, o G-RT1, ao aumentar o volume de saltos de uma altura maior, apresentou uma deficiência acentuada nos saltos. Este grupo aumentou o TCS aproximadamente após o quarto salto e também apresentou maior dificuldade na estabilização da técnica. Com a progressão das sessões, observou-se uma redução do AS e um esgotamento físico mais acentuado nas séries 3 e 4.

O IHP após oito semanas mostrou melhorias em todos os grupos; mesmo o grupo sem intervenção apresentou um ES superior (Tabela 14). Após a aplicação do PTP, outros estudos encontraram diferenças significativas, no entanto, utilizaram vários tipos de saltos, não sendo possível identificar qual ou quais tiveram maior efeito no IHP (Taher et al., 2021, Bianchi et al., 2019). Uma análise mais aprofundada dessa variável permite-nos observar que, após o término de desenho de experimentação, o G-RT1 e o G-RT2 obtiveram melhoras significativas e ES superiores quando comparados ao G-CT3. Isto poderia indicar que as melhorias no IHP associadas ao PTP baseado em IIFR requerem mais de oito semanas para se manifestarem. Uma inferência lógica para compreender este resultado é que, se o DJ demonstrou melhora a potência de saída (Matic et al., 2015b) e o IHP é um exercício que requer principalmente a potência de saída da extremidade inferior (Lin et al., 2023, Krejac et al., 2020), então os nossos resultados parecem estar alinhados com pesquisas anteriores (Bianchi et al., 2019).

A análise do sprint (60 m) mostrou que o G-RT1 e o G-RT2 apresentaram melhorias significativas relativamente ao pré-teste. No entanto, no final do programa 1, o PTP baseado no IIFR apresentou ES superior ao PTP tradicional. Esses resultados também foram comprovados após o término do programa 2 (tabela14). Numa corrida de 100m, é conhecido que a velocidade máxima é atingida entre 30 e 70 metros, e que

distâncias menores são caracterizadas por uma condição de aceleração constante (Mero, 1988, Mero et al., 1992). Isso sugere que o teste de 60 metros apresenta uma dependência mista (aceleração e velocidade máxima). Esses critérios, associados a pesquisas que relatam que os saltos verticais têm uma melhor transferência para sprints mais longos (Loturco et al., 2015d), parecem justificar a melhora de ambos os grupos. Mesmo assim, ao final do PTP-1, o G-RT1 apresentou um ES superior. O PTP baseado no IIFR pode ter induzido melhorias na estrutura cinética do movimento, contribuindo assim para uma melhoria da força reativa e diminuição dos tempos de contacto durante o sprint (Lockie et al., 2011).

Durante o treino de saltos múltiplos, procuram-se manter níveis elevados de potência durante 3, 5, 7 ou 10 apoios. Por conseguinte, pode ser considerado um exercício de força aplicada vital para saltadores e velocistas. Investigadores encontraram uma correlação de 0,97\* com os 60m e 200m e uma correlação de 1,00\* com os 100m (Hudgins et al., 2013). Embora outros tenham uma ideia diferente sobre as correlações dos saltos múltiplos para distâncias mais curtas (Mackala et al., 2021), este exercício constitui uma referência primária na base de preparação destes dois grupos de eventos. O TSP é também designado por saltos múltiplos ou velocidade com ressalto (Young, 1992). O TSP é realizado de forma diferente pelos saltadores, pois estes procuram uma maior elevação do centro de massa enquanto o TCS é mais longo, enquanto os velocistas procuram reduzir o TCS e as oscilações do centro de massa no eixo vertical com uma projeção mais rápida para o eixo horizontal. Mediante saltos múltiplos, os atletas podem treinar forças propulsivas horizontais mais elevadas (Mero and Komi, 1994) em comparação com exercícios que treinam principalmente a aplicação vertical da força (Mackala et al., 2021). Os resultados obtidos no nosso estudo foram superiores (em termos de distância) aos encontrados em estudos anteriores (Mero and Komi, 1994, Mackala et al., 2021, Mackala and Fostiak, 2015, Bianchi et al., 2019). Por sua vez, encontramos que o G-RT1 e o G-PT2 também apresentam melhorias significativas relativamente ao pré-teste, mas o G-RT1 apresenta um ES superior no final do programa 1. Após o cruzamento, o G-PT2, que treinou o PTP com base no IIFR, apresentou um ES duas vezes superior que o G-RT1. Isto pode indicar que um certo volume de saltos gerais pode ser benéfico antes de realizar o treino em AQ mais específicas, concentrando-se em manter a intensidade máxima do IIFR. O resultado do nosso estudo mostra-se alinhado

com resultados previamente reportados (Hudgins et al., 2013, Mackala and Fostiak, 2015). De facto, a investigação demonstrou que, para melhorar a velocidade dos atletas, é necessário modificar a sua frequência e/ou o comprimento da passada sem que um afete ou comprometa negativamente o outro (Hunter et al., 2004, SALO et al., 2011). Também foi relatado que os exercícios que melhoram o TCS têm efeitos na rapidez, então não é surpreendente existir um efeito positivo do PTP baseado no IIFR nos saltos múltiplos. Assumimos que o PTP baseado em IIFR estimula o tecido conjuntivo e as propriedades das fibras que asseguram o armazenamento elástico de energia (Di Giminiani et al., 2020). Assim, podemos inferir que o aumento da energia elástica produzida pelo PTP afetou positivamente o desempenho deste exercício.

Existe um forte consenso de que os exercícios pliométricos realizados principalmente no eixo vertical afetam positivamente as atividades desportivas desenvolvidas com uma orientação vertical da força (Dello Iacono et al., 2017a). Embora este critério seja eminentemente lógico, parece justificar o facto de G-RT1 e G-PT2 apresentarem melhorias significativas no final do programa 1 e 2. Uma análise mais profunda da interação Grupo-Tempo permite-nos compreender, por exemplo, que no DJ30, ambos os grupos apresentam diferenças significativas em relação ao pré-teste, mas o G-RT1 apresenta um ES duas vezes superior ao G-PT2. Este comportamento é replicado também noutras AQ (DJ40, DJ50 e DJ60). No final do programa 2, já não podemos observar este aumento duplicado, mas registamos um ES superior para o grupo G-RT2 do que para o grupo baseado em IIFR. Após o final do programa 1, os resultados foram superiores aos relatados anteriormente usando uma variedade de tarefas de salto (Jeffreys et al., 2019). Embora um estudo anterior tenha recomendado que, para maximizar a probabilidade de melhorias de desempenho significativamente maiores, se deveria treinar durante mais de 10 semanas, com 20 sessões e com mais de 50 saltos por sessão (de Villarreal et al., 2009), esse mesmo grupo de investigação, um ano antes, relatou resultados diferentes (de Villarreal et al., 2008) que foram consistentes com o nosso estudo e outros que demonstram volumes mais baixos do que os apresentados por esta meta-análise (Jeffreys et al., 2019). Em geral, o volume de treino foi diferente entre o G-RT1 e o G-PT2. Pesquisas anteriores (Bianchi et al., 2019) demonstraram que apesar de diferentes volumes de treino, os mesmos resultados foram obtidos para o IHP, TSP e

sprints, e não relatam diferenças entre o grupo de alto volume e o grupo de baixo volume, nossos resultados são contrastantes.

Em conclusão, o PTP baseado no IIFR parece ser uma alternativa prática para melhorar significativamente o IHP, TSP, sprint e outras variáveis associadas à força reativa. Um aspeto importante deste tipo de treino é a otimização do tempo graças à considerável redução de volume baseada no controlo interindividual da carga. Para além disso, é possível observar claramente o aumento dinâmico e gradual da qualidade e quantidade de saltos por sessão de treino.

**Referências capítulo IV**

---

- AAGAARD, P., SIMONSEN, E. B., ANDERSEN, J. L., MAGNUSSON, P. & DYHRE-POULSEN, P. 2002. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1318-1326.
- AHMADI, M., NOBARI, H., RAMIREZ-CAMPILLO, R., PEREZ-GOMEZ, J., RIBEIRO, A. L. D. & MARTINEZ-RODRIGUEZ, A. 2021. Effects of Plyometric Jump Training in Sand or Rigid Surface on Jump-Related Biomechanical Variables and Physical Fitness in Female Volleyball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.
- ALLEN, S., KING, M. & YEADON, F. 2012. Tradeoffs Between Horizontal and Vertical Velocity During Triple Jumping. Pre-Olympic Congress on Sports Science and Computer Science in Sport (IACSS 2012), Jul 24-25, 2012, Liverpool, UNITED KINGDOM. 178-180.
- ANDRADE, D. C., MANZO, O., BELTRAN, A. R., ALVAREZ, C., DEL RIO, R., TOLEDO, C., MORAN, J. & RAMIREZ-CAMPILLO, R. 2020. Kinematic and neuromuscular measures of intensity during plyometric jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34, 3395-3402.
- ARAMPATZIS, A., SCHADE, F., WALSH, M. & BRUGGEMANN, G. P. 2001. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol*, 11, 355-64.
- ARNASON, A., SIGURDSSON, S. B., GUDMUNDSSON, A., HOLME, I., ENGBRETSSEN, L. & BAHR, R. 2004. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 278-85.
- ASMUSSEN, E. & BONDE-PETERSEN, F. 1974. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand*, 91, 385-92.
- BACA, A. 1999. A comparison of methods for analyzing drop jump performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 437-442.

- BALL, N. B. & ZANETTI, S. 2012. Relationship between reactive strength variables in horizontal and vertical drop jumps. *J Strength Cond Res*, 26, 1407-1412.
- BALSALOBRE-FERNANDEZ, C., KUZDUB, M., POVEDA-ORTIZ, P. & DEL CAMPO-VECINO, J. 2016. Validity and reliability of the push wearable device to measure movement velocity during the back squat exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 1968-1974.
- BIANCHI, M., CORATELLA, G., DELLO IACONO, A. & BEATO, M. 2019. Comparative effects of single vs. double weekly plyometric training sessions on jump, sprint and change of directions abilities of elite youth football players. *J Sports Med Phys Fitness*, 59, 910-915.
- BOBBERT, M. F., HUIJING, P. A. & VAN INGEN SCHENAU, G. J. 1987a. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 332-8.
- BOBBERT, M. F., HUIJING, P. A. & VAN INGEN SCHENAU, G. J. 1987b. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 339-46.
- BOGDANIS, G. C., TSOUKOS, A., KALOHERI, O., TERZIS, G., VELIGEKAS, P. & BROWN, L. E. 2019. Comparison Between Unilateral and Bilateral Plyometric Training on Single- and Double-Leg Jumping Performance and Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33, 633-640.
- BOSCO, C., LUHTANEN, P. & KOMI, P. V. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50, 273-82.
- BROWNSTEIN, C. G., DENT, J. P., PARKER, P., HICKS, K. M., HOWATSON, G., GOODALL, S. & THOMAS, K. 2017. Etiology and Recovery of Neuromuscular Fatigue following Competitive Soccer Match-Play. *Front Physiol*, 8, 831.
- BRUMITT, J., HEIDERSCHEIT, B. C., MANSKE, R. C., NIEMUTH, P. E. & RAUH, M. J. 2014. Off-season training habits and preseason functional test measures of division iii collegiate athletes: a descriptive report. *Int J Sports Phys Ther*, 9, 447-55.

- BUCKLEY, C., O'REILLY, M. A., WHELAN, D., FARRELL, A. V., CLARK, L., LONGO, V., GILCHRIST, M. D. & CAULFIELD, B. 2017. Binary Classification of Running Fatigue using a Single Inertial Measurement Unit. *2017 Ieee 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (Bsn)*, 197-201.
- BUCKTHORPE, M. W., HANNAH, R., PAIN, T. G. & FOLLAND, J. P. 2012. Reliability of neuromuscular measurements during explosive isometric contractions, with special reference to electromyography normalization techniques. *Muscle Nerve*, 46, 566-76.
- BYRNE, D. J., BROWNE, D. T., BYRNE, P. J. & RICHARDSON, N. 2017. Interday Reliability of the Reactive Strength Index and Optimal Drop Height. *J Strength Cond Res*, 31, 721-726.
- BYRNE, P. J., MOODY, J. A., COOPER, S. M., CALLANAN, D. & KINSELLA, S. 2020. Potentiating Response to Drop-Jump Protocols on Sprint Acceleration: Drop-Jump Volume and Intrarepetition Recovery Duration. *J Strength Cond Res*, 34, 717-727.
- CAPPA, D. F. & BEHM, D. G. 2013. Neuromuscular characteristics of drop and hurdle jumps with different types of landings. *J Strength Cond Res*, 27, 3011-20.
- CAVAGNA, G. A. 1977. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev*, 5, 89-129.
- CHELLY, M. S., GHENEM, M. A., ABID, K., HERMASSI, S., TABKA, Z. & SHEPHARD, R. J. 2010. Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *J Strength Cond Res*, 24, 2670-6.
- CHELLY, M. S., HERMASSI, S., AOUADI, R. & SHEPHARD, R. J. 2014. Effects of 8-week in-season plyometric training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. *J Strength Cond Res*, 28, 1401-10.
- COH, M. & MACKALA, K. 2013. Differences Between the Elite and Subelite Sprinters in Kinematic and Dynamic Determinations of Countermovement Jump and Drop Jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 3021-3027.

- CORMIE, P., MCBRIDE, J. M. & MCCAULLEY, G. O. 2008. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: Impact of load. *Journal of Applied Biomechanics*, 24, 112-120.
- CORMIE, P., MCGUIGAN, M. R. & NEWTON, R. U. 2010. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Med Sci Sports Exerc*, 42, 1731-44.
- CRONIN, J. B. & HANSEN, K. T. 2005. Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 349-357.
- D'EMANUELE, S., MAFFIULETTI, N. A., TAPERI, C., RAINOLDI, A., SCHENA, F. & BOCCIA, G. 2021. Rate of Force Development as an Indicator of Neuromuscular Fatigue: A Scoping Review. *Front Hum Neurosci*, 15, 701916.
- DALLAS, G. C., PAPPAS, P., NTALLAS, C. G., PARADISIS, G. P. & EXELL, T. A. 2020. The effect of four weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness is sport dependent. *J Sports Med Phys Fitness*, 60, 979-984.
- DE VILLARREAL, E. S., KELLIS, E., KRAEMER, W. J. & IZQUIERDO, M. 2009. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 23, 495-506.
- DE VILLARREAL, E. S. S., GONZALEZ-BADILLO, J. J. & IZQUIERDO, M. 2008. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 715-725.
- DELL'ANTONIO, E., RUSCHEL, C., FONTANA, H. D., HAUPENTHAL, A., PEREIRA, S. M. & ROESLER, H. 2016. Effect of immersion on ground reaction force and contact time during drop jump exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 3443-3449.
- DELLO IACONO, A., MARTONE, D., MILIC, M. & PADULO, J. 2017a. Vertical- vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 921-931.

- DELLO IACONO, A., MARTONE, D., MILIC, M. & PADULO, J. 2017b. Vertical- vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players. *J Strength Cond Res*, 31, 921-931.
- DI GIMINIANI, R., GIOVANNELLI, A., CAPUANO, L., IZZICUPO, P., DI BLASIO, A. & MASEDU, F. 2020. Neuromuscular Strategies in Stretch-Shortening Exercises with Increasing Drop Heights: The Role of Muscle Coactivation in Leg Stiffness and Power Propulsion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- DI GIMINIANI, R. & PETRICOLA, S. 2016. The power output-drop height relationship to determine the optimal dropping intensity and to monitor the training intervention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 117-125.
- DOBBS, C. W., GILL, N. D., SMART, D. J. & MCGUIGAN, M. R. 2015. RELATIONSHIP BETWEEN VERTICAL AND HORIZONTAL JUMP VARIABLES AND MUSCULAR PERFORMANCE IN ATHLETES. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 661-671.
- DUDA, M. 1988. Plyometrics: A Legitimate Form of Power Training? *Phys Sportsmed*, 16, 212-8.
- EBBEN, W. P. 2007. Practical Guidelines for Plyometric Intensity. *Performance Training Journal*, 6, 12-16.
- EBBEN, W. P., FAUTH, M. L., GARCEAU, L. R. & PETUSHEK, E. J. 2011a. Kinetic Quantification of Plyometric Exercise Intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 3288-3298.
- EBBEN, W. P., FAUTH, M. L., GARCEAU, L. R. & PETUSHEK, E. J. 2011b. Kinetic quantification of plyometric exercise intensity. *J Strength Cond Res*, 25, 3288-98.
- EBBEN, W. P., FLANAGAN, E. P. & JENSEN, R. L. 2008. Jaw Clenching Results in Concurrent Activation Potentiation During the Countermovement Jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22.
- EBBEN, W. P. & PETUSHEK, E. J. 2010a. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res*, 24, 1983-7.

- EBBEN, W. P. & PETUSHEK, E. J. 2010b. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 1983-1987.
- FALCH, H. N., HAUGEN, M. E., KRISTIANSEN, E. L. & VAN DEN TILLAAR, R. 2022. Effect of Strength vs. Plyometric Training upon Change of Direction Performance in Young Female Handball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.
- FITZPATRICK, D. A., CIMADORO, G. & CLEATHER, D. J. 2019. The Magical Horizontal Force Muscle? A Preliminary Study Examining the "Force-Vector" Theory. *Sports (Basel)*, 7.
- FLANAGAN, E. P. & COMYNS, T. M. 2008. The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30, 32-38.
- FLANAGAN, E. P., EBBEN, W. P. & JENSEN, R. L. 2008. Reliability of the Reactive Strength Index and Time to Stabilization during Depth Jumps. *J Strength Cond Res*, 22, 1677-1682.
- FOWLER, N. E. & LEES, A. 1998. A Comparison of the Kinetic and Kinematic Characteristics of Plyometric Drop-Jump and Pendulum Exercises. *J Appl Biomech*, 14, 260-275.
- FRAYNE, D. H., ZETTEL, J. L., BEACH, T. A. C. & BROWN, S. H. M. 2021. The Influence of Countermovement on Inter-Segmental Coordination and Mechanical Energy Transfer during Vertical Jumping. *Journal of Motor Behavior*, 53, 545-557.
- GILLEN, Z. M., JAHN, L. E., SHOEMAKER, M. E., MCKAY, B. D., MENDEZ, A. I., BOHANNON, N. A. & CRAMER, J. T. 2019a. Effects of Eccentric Preloading on Concentric Vertical Jump Performance in Youth Athletes. *Journal of Applied Biomechanics*, 35, 327-335.
- GILLEN, Z. M., JAHN, L. E., SHOEMAKER, M. E., MCKAY, B. D., MENDEZ, A. I., BOHANNON, N. A. & CRAMER, J. T. 2019b. Effects of Eccentric Preloading

- on Concentric Vertical Jump Performance in Youth Athletes. *J Appl Biomech*, 35, 327-335.
- GILLEN, Z. M., SHOEMAKER, M. E., BOHANNON, N. A., GIBSON, S. M. & CRAMER, J. T. 2021. Effects of Eccentric Pre-loading on Concentric Vertical Jump Performance in Young Female Athletes. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 3, 98-106.
- GLATTHORN, J. F., GOUGE, S., NUSSBAUMER, S., STAUFFACHER, S., IMPELLIZZERI, F. M. & MAFFIULETTI, N. A. 2011. Validity and Reliability of Optojump Photoelectric Cells for Estimating Vertical Jump Height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 556-560.
- GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. & RIBAS, J. 2002. *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*, BARCELONA.
- GONZALO-SKOK, O., SÁNCHEZ-SABATÉ, J., IZQUIERDO-LUPÓN, L. & SÁEZ DE VILLARREAL, E. 2019. Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players. *European Journal of Sport Science*, 19, 305-314.
- GU, C. Y., LI, X. R., LAI, C. T., GAO, J. J., WANG, I. L. & WANG, L. I. 2021. Sex Disparity in Bilateral Asymmetry of Impact Forces during Height-Adjusted Drop Jumps. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.
- GUNDERSEN, K. 2016. Muscle memory and a new cellular model for muscle atrophy and hypertrophy. *Journal of Experimental Biology*, 219, 235-242.
- GUTIÉRREZ-DÁVILA, M., GILES GIRELA, F. J., GONZÁLEZ ROPERO, C., GALLARDO ROMÁN, D. J. & ROJAS RUIZ, F. J. 2015. Efecto de la intensidad del contramovimiento sobre el rendimiento del salto vertical. / Effect on the Intensity of Countermovement on Vertical Jump Performance. *Apunts: Educació Física i Esports*, 87-96.
- HAFF, G. G. & NIMPHIUS, S. 2012. Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34, 2-12.
- HARRISON, A. J. & MC, C. C. 2017. The effect of a gluteal activation protocol on sprint and drop jump performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 57, 179-188.

- HAY, J. G. 1993. Citius, altius, longius (faster, higher, longer): the biomechanics of jumping for distance. *J Biomech*, 26 Suppl 1, 7-21.
- HAYNES, T., BISHOP, C., ANTROBUS, M. & BRAZIER, J. 2019. The validity and reliability of the My Jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 59, 253-258.
- HEALY, R., KENNY, I. C. & HARRISON, A. J. 2016. Assessing Reactive Strength Measures in Jumping and Hopping Using the Optojump™ System. *J Hum Kinet*, 54, 23-32.
- HEALY, R., KENNY, I. C. & HARRISON, A. J. 2018. Reactive Strength Index: A Poor Indicator of Reactive Strength? *Int J Sports Physiol Perform*, 13, 802-809.
- HEALY, R., SMYTH, C., KENNY, I. C. & HARRISON, A. J. 2019. Influence of Reactive and Maximum Strength Indicators on Sprint Performance. *J Strength Cond Res*, 33, 3039-3048.
- HOBARA, H., INOUE, K., MURAOKA, T., OMURO, K., SAKAMOTO, M. & KANOSUE, K. 2010. Leg stiffness adjustment for a range of hopping frequencies in humans. *J Biomech*, 43, 506-11.
- HOLM, D. J., STALBOM, M., KEOGH, J. W. L. & CRONIN, J. 2008. Relationship between the Kinetics and Kinematics of a Unilateral Horizontal Drop Jump to Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 1589-1596.
- HORI, N., NEWTON, R. U., KAWAMORI, N., MCGUIGAN, M. R., KRAEMER, W. J. & NOSAKA, K. 2009. Reliability of Performance Measurements Derived From Ground Reaction Force Data During Countermovement Jump and the Influence of Sampling Frequency. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 874-882.
- HORITA, T., KOMI, P. V., HÄMÄLÄINEN, I. & AVELA, J. 2003. Exhausting stretch-shortening cycle (CAE) exercise causes greater impairment in CAE performance than in pure concentric performance. *Eur J Appl Physiol*, 88, 527-34.
- HUDGINS, B., SCHARFENBERG, J., TRIPLETT, N. T. & MCBRIDE, J. M. 2013. Relationship Between Jumping Ability and Running Performance in Events of

- Varying Distance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 563-567.
- HUGHES, L. J., PEIFFER, J. J. & SCOTT, B. R. 2019. RETRACTED: Reliability and Validity of Using the Push Band v2.0 to Measure Repetition Velocity in Free-Weight and Smith Machine Exercises. *Journal of strength and conditioning research*.
- HUNTER, J. P., MARSHALL, R. N. & MCNAIR, P. J. 2004. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 261-71.
- INGLE, L., SLEAP, M. & TOLFREY, K. 2006. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *Journal of Sports Sciences*, 24, 987-997.
- ISHIKAWA, M. & KOMI, P. V. 2004. Effects of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 96, 848-52.
- JARVIS, M. M., GRAHAM-SMITH, P. & COMFORT, P. 2016. A Methodological Approach to Quantifying Plyometric Intensity. *Journal of strength and conditioning research*, 30, 2522-2532.
- JEFFREYS, M. A., DE STE CROIX, M. B. A., LLOYD, R. S., OLIVER, J. L. & HUGHES, J. D. 2019. The Effect of Varying Plyometric Volume on Stretch-Shortening Cycle Capability in Collegiate Male Rugby Players. *J Strength Cond Res*, 33, 139-145.
- JENSEN, R. L. & EBBEN, W. P. 2007. Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 763-767.
- JIMÉNEZ-REYES, P., SAMOZINO, P., GARCÍA-RAMOS, A., CUADRADO-PEÑAFIEL, V., BRUGHELLI, M. & MORIN, J. B. 2018. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937.
- JOHNSTON, W., O'REILLY, M., ARGENT, R. & CAULFIELD, B. 2019. Reliability, Validity and Utility of Inertial Sensor Systems for Postural Control Assessment

- in Sport Science and Medicine Applications: A Systematic Review. *Sports Med*, 49, 783-818.
- KIPP, K., KIELY, M. T., GIORDANELLI, M. D., MALLOY, P. J. & GEISER, C. F. 2018. Biomechanical Determinants of the Reactive Strength Index During Drop Jumps. *Int J Sports Physiol Perform*, 13, 44-49.
- KNUTTGEN, H. G. & KRAEMER, W. J. 1987. Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1, 1-10.
- KOO, T. K. & LI, M. Y. 2016. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*, 15, 155-63.
- KOSSOW, A. J. & EBBEN, W. P. 2018a. Kinetic Analysis of Horizontal Plyometric Exercise Intensity. *J Strength Cond Res*, 32, 1222-1229.
- KOSSOW, A. J. & EBBEN, W. P. 2018b. Kinetic Analysis of Horizontal Plyometric Exercise Intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32, 1222-1229.
- KREJAC, K., ZVAN, M., PEHAREC, S. & COH, M. 2020. CORRELATION OF HANDGRIP STRENGTH WITH VERTICAL AND HORIZONTAL PLYOMETRIC JUMPS. *Kinesiologia Slovenica*, 26, 78-95.
- LAKE, J., AUGUSTUS, S., AUSTIN, K., COMFORT, P., MCMAHON, J., MUNDY, P. & HAFF, G. G. 2019. The reliability and validity of the bar-mounted PUSH Band(TM) 2.0 during bench press with moderate and heavy loads. *Journal of Sports Sciences*, 37, 2685-2690.
- LAKE, J. P., AUGUSTUS, S., AUSTIN, K., MUNDY, P., MCMAHON, J. J., COMFORT, P. & HAFF, G. G. 2018. The Validity of the Push Band 2.0 during Vertical Jump Performance. *Sports (Basel)*, 6.
- LEHANCE, C., CROISIER, J. L. & BURY, T. 2005. Optojump system efficiency in the assessment of lower limbs explosive strength. *Science & Sports*, 20, 131-135.
- LIN, J., SHEN, J., ZHANG, J., ZHOU, A. & GUO, W. 2023. Correlations between horizontal jump and sprint acceleration and maximal speed performance: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 11, e14650.

- LINTHORNE, N. P. 2001. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198-1204.
- LLOYD, R. S., OLIVER, J. L., HUGHES, M. G. & WILLIAMS, C. A. 2011. Specificity of test selection for the appropriate assessment of different measures of stretch-shortening cycle function in children. *J Sports Med Phys Fitness*, 51, 595-602.
- LLOYD, R. S., OLIVER, J. L., HUGHES, M. G. & WILLIAMS, C. A. 2012. The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26, 2812-2819.
- LOCKIE, R. G., MURPHY, A. J., CALLAGHAN, S. J. & JEFFRIESS, M. D. 2014. Effects of Sprint and Plyometrics Training on Field Sport Acceleration Technique. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28.
- LOCKIE, R. G., MURPHY, A. J., KNIGHT, T. J. & JANSE DE JONGE, X. A. 2011. Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 25, 2704-14.
- LOCKIE, R. G., MURPHY, A. J., SCHULTZ, A. B., KNIGHT, T. J. & JANSE DE JONGE, X. A. 2012. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 26, 1539-50.
- LOPES MÜLLER, C., DA CUNHA NETO, P. S., DA SILVA DOS SANTOS, E. J., OLIVEIRA, A., DOS SANTOS LEGNANI, R. F. & LEGNANI, E. 2020. Correlação entre percepção subjetiva do esforço e fadiga neuromuscular dos membros inferiores em atletas de futebol. / The correlation between the rating of perceived exertion and neuromuscular fatigue on the lower body in soccer athletes. *Caderno de Educação Física e Esporte*, 18, 37-41.
- LOTURCO, I., GIL, S., LAURINO, C. F. D., ROSCHEL, H., KOBAL, R., ABAD, C. C. C. & NAKAMURA, F. Y. 2015a. Differences in Muscle Mechanical Properties between Elite Power and Endurance Athletes: A Comparative Study. *J Strength Cond Res*, 29, 1723-1728.
- LOTURCO, I., PEREIRA, L. A., ABAD, C. C. C., D'ANGELO, R. A., FERNANDES, V., KITAMURA, K., KOBAL, R. & NAKAMURA, F. Y. 2015b. Vertical and

horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *J Strength Cond Res*, 29, 1966-1971.

LOTURCO, I., PEREIRA, L. A., KOBAL, R., ZANETTI, V., KITAMURA, K., ABAD, C. C. C. & NAKAMURA, F. Y. 2015c. Transference effect of vertical and horizontal plyometrics on sprint performance of high-level U-20 soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 33, 2182-2191.

LOUDER, T., THOMPSON, B. J., BANKS, N. & BRESSEL, E. 2019. A Mixed-Methods Approach to Evaluating the Internal Validity of the Reactive Strength Index. *Sports (Basel)*, 7.

LUEBBERS, P. E., POTTEIGER, J. A., HULVER, M. W., THYFAULT, J. P., CARPER, M. J. & LOCKWOOD, R. H. 2003. Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *J Strength Cond Res*, 17, 704-9.

LUM, D., COMFORT, P., BARBOSA, T. M. & BALASEKARAN, G. 2022. Comparing the effects of plyometric and isometric strength training on dynamic and isometric force-time characteristics. *Biology of Sport*, 39, 189-197.

MACKALA, K. & FOSTIAK, M. 2015. Acute Effects of Plyometric Intervention—Performance Improvement and Related Changes in Sprinting Gait Variability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29.

MACKALA, K., RAUTER, S., ZAWARTKA, M., COH, M. & VODICAR, J. 2021. The Relationship between Symmetrical and Asymmetrical Jumps and Their Influence on Speed Abilities: Gender Consideration. *Symmetry-Basel*, 13.

MAFFIULETTI, N. A., AAGAARD, P., BLAZEVIK, A. J., FOLLAND, J., TILLIN, N. & DUCHATEAU, J. 2016. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*, 116, 1091-116.

MAKARUK, H. & SACEWICZ, T. 2011. The Effect of Drop Height and Body Mass on Drop Jump Intensity. *Biology of Sport*, 28, 63-67.

MARKOVIC, G., JUKIC, I., MILANOVIC, D. & METIKOS, D. 2007. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res*, 21, 543-9.

- MARKOVIC, G. & MIKULIC, P. 2010. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med*, 40, 859-95.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015a. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 3300-3310.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015b. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29.
- MCLELLAN, C. P., LOVELL, D. I. & GASS, G. C. 2011. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 25, 379-85.
- MCMAHON, T. A. & CHENG, G. C. 1990. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J Biomech*, 23 Suppl 1, 65-78.
- MERO, A. 1988. Force-Time Characteristics and Running Velocity of Male Sprinters during the Acceleration Phase of Sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59, 94-98.
- MERO, A. & KOMI, P. V. 1994. EMG, force, and power analysis of sprint-specific strength exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 1-13.
- MERO, A., KOMI, P. V. & GREGOR, R. J. 1992. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med*, 13, 376-92.
- MEYLAN, C., MCMASTER, T., CRONIN, J., MOHAMMAD, N. I., ROGERS, C. & DEKLERK, M. 2009. Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and change-of-direction performance. *J Strength Cond Res*, 23, 1140-7.
- MOIR, G. L., GARCIA, A. & DWYER, G. B. 2009. Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. *Int J Sports Physiol Perform*, 4, 317-30.
- MONTALVO, S., GONZALEZ, M. P., DIETZE-HERMOSA, M. S., EGGLESTON, J. D. & DORGO, S. 2021. Common Vertical Jump and Reactive Strength Index

Measuring Devices: A Validity and Reliability Analysis. *J Strength Cond Res*, 35, 1234-1243.

MONTORO-BOMBÚ, R., SARMENTO, H., BUZZICHELLI, C., MOURA, N. A., GONZÁLES BADILLO, J. J., SANTOS, A. & RAMA, L. 2023. Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Frontiers in Physiology*, 14.

MORAN, J., RAMIREZ-CAMPILLO, R., LIEW, B., CHAABENE, H., BEHM, D. G., GARCIA-HERMOSO, A., IZQUIERDO, M. & GRANACHER, U. 2021. Effects of Vertically and Horizontally Orientated Plyometric Training on Physical Performance: A Meta-analytical Comparison. *Sports Med*, 51, 65-79.

MORESI, M. P., BRADSHAW, E. J., GREENE, D. & NAUGHTON, G. 2011. The assessment of adolescent female athletes using standing and reactive long jumps. *Sports Biomechanics*, 10, 73-84.

NAGANO, A., KOMURA, T. & FUKASHIRO, S. 2007. Optimal coordination of maximal-effort horizontal and vertical jump motions--a computer simulation study. *Biomed Eng Online*, 6, 20.

NEWTON, R. U. & DUGAN, E. 2002. Application of strength diagnosis. *Strength and Conditioning Journal*, 24, 50-59.

O'REILLY, M., CAULFIELD, B., WARD, T., JOHNSTON, W. & DOHERTY, C. 2018. Wearable Inertial Sensor Systems for Lower Limb Exercise Detection and Evaluation: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48, 1221-1246.

O'REILLY, M., WHELAN, D., CHANIALIDIS, C., FRIEL, N., DELAHUNT, E., WARD, T. & CAULFIELD, B. 2015. Evaluating Squat Performance with a Single Inertial Measurement Unit. *2015 Ieee 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (Bsn)*.

O'REILLY, M. A., WHELAN, D. F., WARD, T. E., DELAHUNT, E. & CAULFIELD, B. 2017a. Technology in Strength and Conditioning Tracking Lower-Limb Exercises With Wearable Sensors. *J Strength Cond Res*, 31, 1726-1736.

- O'REILLY, M. A., WHELAN, D. F., WARD, T. E., DELAHUNT, E. & CAULFIELD, B. M. 2017b. Classification of deadlift biomechanics with wearable inertial measurement units. *J Biomech*, 58, 155-161.
- ORSER, K., AGAR-NEWMAN, D. J., TSAI, M.-C. & KLIMSTRA, M. 2020. The validity of the Push Band 2.0 to determine speed and power during progressively loaded squat jumps. *Sports Biomechanics*.
- OZEN, G., ATAR, O. & KOC, H. 2020. The Effects of A 6-Week Plyometric Training Programme on Sand Versus Wooden Parquet Surfaces on the Physical Performance Parameters of Well-Trained Young Basketball Players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 27-32.
- PENG, H. T., KHUAT, C. T., KERNOZEK, T. W., WALLACE, B. J., LO, S. L. & SONG, C. Y. 2017a. Optimum Drop Jump Height in Division III Athletes: Under 75 % of Vertical Jump Height. *International Journal of Sports Medicine*, 38, 842-846.
- PENG, H. T., KHUAT, C. T., KERNOZEK, T. W., WALLACE, B. J., LO, S. L. & SONG, C. Y. 2017b. Optimum Drop Jump Height in Division III Athletes: Under 75% of Vertical Jump Height. *Int J Sports Med*, 38, 842-846.
- PENG, H. T., SONG, C. Y., WALLACE, B. J., KERNOZEK, T. W., WANG, M. H. & WANG, Y. H. 2019. Effects of Relative Drop Heights of Drop Jump Biomechanics in Male Volleyball Players. *International Journal of Sports Medicine*, 40, 863-870.
- POTACH, D. H. & CHU, D. A. 2008. Essentials of strength training and conditioning. In: BAECHLE, T. R. & EARLE, R. W. (eds.) *Plyometric training*. 3 ed.: Human Kinetics.
- PUEO, B., PENICHET-TOMAS, A. & JIMENEZ-OLMEDO, J. M. 2020. Reliability and validity of the Chronojump open-source jump mat system. *Biol Sport*, 37, 255-259.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ALVAREZ, C., GARCIA-PINILLOS, F., SANCHEZ-SANCHEZ, J., YANCI, J., CASTILLO, D., LOTURCO, I., CHAABENE, H., MORAN, J. & IZQUIERDO, M. 2018. Optimal Reactive Strength Index: Is It an

Accurate Variable to Optimize Plyometric Training Effects on Measures of Physical Fitness in Young Soccer Players? *J Strength Cond Res.*, 32, 885-893.

RAMÍREZ-CAMPILLO, R., ALVAREZ, C., HENRÍQUEZ-OLGUÍN, C., BAEZ, E. B., MARTÍNEZ, C., ANDRADE, D. C. & IZQUIERDO, M. 2014. Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle- and long-distance runners. *J Strength Cond Res*, 28, 97-104.

RAMÍREZ-CAMPILLO, R., ANDRADE, D. C. & IZQUIERDO, M. 2013. Effects of plyometric training volume and training surface on explosive strength. *J Strength Cond Res*, 27, 2714-22.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., CASTILLO, D., RAYA-GONZALEZ, J., MORAN, J., DE VILLARREAL, E. S. & LLOYD, R. S. 2020a. Effects of Plyometric Jump Training on Jump and Sprint Performance in Young Male Soccer Players: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50, 2125-2143.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., GALLARDO, F., HENRIQUEZ-OLGUIN, C., MEYLAN, C. M., MARTINEZ, C., ALVAREZ, C., CANIUQUEO, A., CADORE, E. L. & IZQUIERDO, M. 2015. Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 29, 1784-95.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., MORAN, J., CHAABENE, H., GRANACHER, U., BEHM, D. G., GARCÍA-HERMOSO, A. & IZQUIERDO, M. 2020b. Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review update. *Scand J Med Sci Sports*, 30, 983-997.

RAMIREZ-CAMPILLO, R., MORAN, J., DRURY, B., WILLIAMS, M., KEOGH, J. W., CHAABENE, H. & GRANACHER, U. 2019. Effects of Equal Volume But Different Plyometric Jump Training Intensities on Components of Physical Fitness in Physically Active Young Males. *J Strength Cond Res*.

RANDELL, A. D., CRONIN, J. B., KEOGH, J. W. L. & GILL, N. D. 2010. Transference of Strength and Power Adaptation to Sports Performance—Horizontal and Vertical Force Production. *Strength & Conditioning Journal*, 32, 100-106.

- READ, M. M. & CISAR, C. 2001. The influence of varied rest interval lengths on depth jump performance. *J Strength Cond Res*, 15, 279-83.
- RIMMER, E. & SLEIVERT, G. 2000. Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 295-301.
- RODRIGUEZ-ROSELL, D., PAREJA-BLANCO, F., AAGAARD, P. & GONZALEZ-BADILLO, J. J. 2018. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*, 38, 743-762.
- RUAN, M. & LI, L. 2008. Influence of a horizontal approach on the mechanical output during drop jumps. *Res Q Exerc Sport*, 79, 1-9.
- SALO, A. I. T., BEZODIS, I. N., BATTERHAM, A. M. & KERWIN, D. G. 2011. Elite Sprinting: Are Athletes Individually Step-Frequency or Step-Length Reliant? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43, 1055-1062.
- SANCHEZ-SIXTO, A., HARRISON, A. J. & FLORIA, P. 2021. Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 77, 25-35.
- SANTELLA, M. 2005. Review of motor control mechanisms underlying impact absorption from falls. *Gait Posture*, 21, 85-94.
- SCHMIDTBLEICHER, D. 1984. Innervation Characteristics of Drop-Jumps - a Comparison between Trained and Untrained Athletes. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 5, 224-224.
- SEDANO, S., VAEYENS, R., PHILIPPAERTS, R. M., REDONDO, J. C., DE BENITO, A. M. & CUADRADO, G. 2009. Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23, 1714-1722.
- SHROUT, P. E. & FLEISS, J. L. 1979. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull*, 86, 420-8.
- SILVA, A. F., CLEMENTE, F. M., LIMA, R., NIKOLAIDIS, P. T., ROSEMANN, T. & KNECHTLE, B. 2019. The Effect of Plyometric Training in Volleyball Players: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*, 16.

- SIMPSON, R. P. & CRONIN, J. 2006. Reliability of a Unilateral Horizontal Leg Power Test to Assess Stretch Load Tolerance. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 10, 169-178.
- STONE, M. H., O'BRYANT, H. S., MCCOY, L., COGLIANESE, R., LEHMKUHL, M. & SCHILLING, B. 2003. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res*, 17, 140-7.
- STRUZIK, A., JURAS, G., PIETRASZEWSKI, B. & ROKITA, A. 2016. Effect of Drop Jump Technique on the Reactive Strength Index. *Journal of Human Kinetics*, 52, 157-164.
- TAHER, A. V., PAVLOVIC, R., AHANJAN, S., SKRYPCHENKO, I. & JOKSIMOVIC, M. 2021. Effects of vertical and horizontal plyometric exercises on explosive capacity and kinetic variables in professional long jump athletes. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 25, 108-113.
- TAUBE, W., LEUKEL, C. & GOLLHOFER, A. 2012. How Neurons Make Us Jump: The Neural Control of Stretch-Shortening Cycle Movements. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40, 106-115.
- TERZIS, G., SPENGOS, K., METHENITIS, S., AAGAARD, P., KARANDREAS, N. & BOGDANIS, G. 2016. Early phase interference between low-intensity running and power training in moderately trained females. *Eur J Appl Physiol*, 116, 1063-73.
- TESCH, P. A., FERNANDEZ-GONZALO, R. & LUNDBERG, T. R. 2017. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. *Front Physiol*, 8, 241.
- THORLUND, J. B., MICHALSIK, L. B., MADSEN, K. & AAGAARD, P. 2008. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *Scand J Med Sci Sports*, 18, 462-72.

- TILLIN, N. A., JIMENEZ-REYES, P., PAIN, M. T. G. & FOLLAND, J. P. 2010. Neuromuscular Performance of Explosive Power Athletes versus Untrained Individuals. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 781-790.
- TORRES-BANDUC, M., RAMIREZ-CAMPILLO, R., ANDRADE, D. C., CALLEJA-GONZALEZ, J., NIKOLAIDIS, P. T., MCMAHON, J. J. & COMFORT, P. 2021. Kinematic and Neuromuscular Measures of Intensity During Drop Jumps in Female Volleyball Players. *Frontiers in Psychology*, 12.
- VACZI, M., TOLLAR, J., MESZLER, B., JUHASZ, I. & KARSAI, I. 2013. Short-Term High Intensity Plyometric Training Program Improves Strength, Power, and Agility in Male Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 36, 17-26.
- VAN LIESHOUT, K. G., ANDERSON, J. G., SHELBURNE, K. B. & DAVIDSON, B. S. 2014. Intensity rankings of plyometric exercises using joint power absorption. *Clinical Biomechanics*, 29, 918-922.
- VERKHOSHANSKY, Y. & SIFF, M. C. 2009. *Supertraining*, Paidotribo.
- WAKAI, M. & LINTHORNE, N. P. 2005. Optimum take-off angle in the standing long jump. *Human Movement Science*, 24, 81-96.
- WALLACE, B. J., KERNOZEK, T. W., WHITE, J. M., KLINE, D. E., WRIGHT, G. A., PENG, H. T. & HUANG, C. F. 2010. Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. *J Strength Cond Res*, 24, 207-12.
- WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRUGGEMANN, G. P. 2004a. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-6.
- WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRUGGEMANN, G. P. 2004b. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-566.
- WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRÜGGEMANN, G. P. 2004c. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-6.

- WALSHE, A. D., WILSON, G. J. & ETTEMA, G. J. 1998. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *J Appl Physiol (1985)*, 84, 97-106.
- WANG, I. L., CHEN, Y. M., ZHANG, K. K., LI, Y. G., SU, Y., WU, C. & HO, C. S. 2021. Influences of Different Drop Height Training on Lower Extremity Kinematics and Stiffness during Repetitive Drop Jump. *Appl Bionics Biomech*, 2021, 5551199.
- WHELAN, D., O'REILLY, M., HUANG, B. Q., GIGGINS, O., KECHADI, T. & CAULFIELD, B. 2016. Leveraging IMU Data for Accurate Exercise Performance Classification and Musculoskeletal Injury Risk Screening. *2016 38th Annual International Conference of the Ieee Engineering in Medicine and Biology Society (Embc)*, 659-662.
- WHELAN, N., O'REGAN, C. & HARRISON, A. J. 2014. Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. *J Strength Cond Res*, 28, 1858-66.
- WILSON, G. J., WOOD, G. A. & ELLIOTT, B. C. 1991. Optimal Stiffness of Series Elastic Component in a Stretch-Shorten Cycle Activity. *Journal of Applied Physiology*, 70, 825-833.
- Y.VERKHOSHANSKY 2006. *Todo sobre el método pliométrico Barcelona*, ES: Paidotribo.
- YOUNG, W. 1992. PLYOMETRICS: Sprint bounding, and the sprint bound index. *Strength & Conditioning Journal*, 14.
- YOUNG, W. 1995. Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics* [Online].
- YOUNG, W. B. 2006. Transfer of Strength and Power Training to Sports Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 74-83.
- YOUNG, W. B., PRYOR, J. F. & WILSON, G. J. 1995. Effect of Instructions on characteristics of Countermovement and Drop Jump Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 9, 232-236.

YOUNG, W. B., WILSON, G. J. & BYRNE, C. 1999. A comparison of drop jump training methods: effects on leg extensor strength qualities and jumping performance. *Int J Sports Med*, 20, 295-303.

ZATSIORSKY, V. M., KRAEMER, W. J. & FRY, A. C. 2021. *Science and Practice of Strength Training*, Champaign, IL : Human Kinetics.



## **CAPÍTULO V**

### **Discussão geral**



## CAPÍTULO V: Discussão geral

---

**E**sta tese teve como objetivo: desenvolver um procedimento baseado na força reativa para o controlo do volume e intensidade do salto em profundidade *Drop Jump* (DJ) destinado a atletas especialistas de saltos e de velocidade. Nos capítulos anteriores, os resultados individuais de cada estudo foram amplamente discutidos. Nesta secção, serão abordadas as discussões gerais dos estudos e serão apresentadas futuras linhas de investigação.

O objetivo geral da investigação é cumprido e a hipótese nula é rejeitada, aceitando que a conceção de um programa de treino pliométrico baseado em novos critérios por nós apresentado, mostra melhores resultados do que os programas tradicionais. Os principais resultados da revisão da literatura demonstraram problemas com a atual conceção metodológica do volume e intensidade do treino pliométrico. Embora esta revisão tenha sido baseada apenas em estudos randomizados e aleatórios, temos conhecimento de outros estudos que não apresentam esta estrutura, mas que também mantêm os erros metodológicos discutidos anteriormente (Lannerstrom et al., 2021, Kubo et al., 2021). Por conseguinte, é necessário ter em conta algumas considerações científico-metodológicas para a implementação de novos programas de treino pliométrico e balístico (Montoro-Bombú et al., 2023).

Ficou previamente provado que as superfícies macias, estando mais associadas à produção de força dinâmica máxima, podem ser utilizados para o Drop Jump (DJ), ao pretender uma maior ênfase no contramovimento e na altura do salto e quando não são requeridos tempos de contato com o solo (TCS) curtos (DJ com contramovimento ou Depth Jumps) (Ramírez-Campillo et al., 2013, Arazi et al., 2016). Este tipo de superfície pode ser utilizados para a reabilitação, durante a fase de preparação pliométrica ou a fase de preparação geral dos atletas, uma vez que o treino nessas fases não exige TCS curtos (Ramirez-Campillo et al., 2020a). As superfícies macias podem ser mais adequadas durante a primeira fase de desenvolvimento da aceleração do sprint, em que se procura trabalhar mais a produção de força elevada a velocidades relativamente baixas (Samozino et al., 2022), bem como para saltos quádruplos e deca-saltos (10 saltos) na preparação

geral. Além disso, podem ser utilizados com uma grande variedade de saltos que constituem a preparação geral dos atletas de alta competição (Jensen and Ebben, 2007, Ebben et al., 2010, Ebben et al., 2011a). Durante o treino em superfícies macias, os atletas devem ser orientados para eliminar os golpes de calcanhar contra o solo, para que estes não sejam transferidos para o trabalho em pisos duros. Pode-se recomendar a introdução de superfícies duras após o trabalho em superfícies macias. As superfícies duras estão associadas a TCS curtos e a saltos com ângulos de articulação do joelho abertos (Ahmadi et al., 2021a). Por conseguinte estão mais associadas ao desenvolvimento da potência (Matic et al., 2015b), rigidez muscular (Fouré et al., 2009, Fouré et al., 2011) e força reativa (Flanagan and Comyns, 2008b, Moresi et al., 2011). Assim sendo, devem ser introduzidas gradualmente na preparação específica, e continuar a ser utilizadas nas fases pré-competitiva e competitiva.

Uma grande variedade de saltos que requerem TCS curtos e baseiam-se principalmente em saltos rápidos, pode ser introduzida durante o treino em superfícies duras, desde que sejam monitorizados parâmetros como a potência máxima de saída, a melhor força reativa, etc. (Jensen and Ebben, 2007, Ebben et al., 2010, Ebben et al., 2011a). Estes exercícios pliométricos com TCS rápidos, envolvendo um contramovimento e alturas de queda mais elevadas, visando produzir força dinâmica máxima, aumentos nas forças de reação do solo ou produção de força excêntrica máxima, podem ser combinados com trabalho de força geral ou máxima. Neste caso, são recomendadas as quedas em profundidade, os saltos em profundidade, os saltos em queda horizontal e os saltos entre barreiras altas. Por outro lado, os exercícios pliométricos com ângulos de joelho e anca mais abertos, TCS rápidos e AQ ótimas, utilizados para o desenvolvimento da produção máxima de potência, TDF e força reativa, podem ser combinados com trabalho de musculação orientado para a potência. Neste caso, são recomendados exercícios como os Tuck Jumps, Drop Jumps e saltos entre barreiras médias. A combinação de exercícios pliométricos rápidos e lentos (ressalto e contramovimento) pode ser introduzida gradualmente nas fases de transição da preparação geral para a preparação especial ou ter uma aplicação específica durante a preparação. Por exemplo, se os saltos pliométricos forem utilizados para reforçar a força dinâmica máxima durante a preparação especial, ou nas fases competitivas, ou de Tapering, os DJ podem ser combinados com variante horizontal ou vertical.

O resultado da nossa análise sublinha que a intensidade do treino pode ser individualizada determinando (avaliando) a altura ótima para obter a maior potência (Pt) de saída, força reativa, taxa de desenvolvimento de força (TDF), forças de reação do solo (FRS), rigidez, altura de salto (AS) reativo ou outros parâmetros de desempenho (Montoro-Bombú et al., 2023). Os programas de treino para grandes grupos de atletas devem conter diferentes alturas de queda (AQ) para que cada atleta possa nível de adaptação. Conforme, isto facilita a organização do trabalho, uma vez que o grupo é distribuído por várias caixas. Além disso, o volume de treino pode ser individualizado mediante duas estratégias: a) monitorizando a sessão individualmente de modo que cada atleta não aumente os TCS, nem perca potência ou força reativa, procurando manter os melhores valores ou alternativa, b) estabelecer uma percentagem de perda de rendimento relativamente ao melhor resultado em cada métrica. Desta forma, garante-se que o atleta possa treinar com diferentes orientações de desempenho (conforme as necessidades), enquanto se permite que o atleta trabalhe conforme as suas capacidades diárias sem ter um número pré-estabelecido de séries ou repetições que, por vezes, podem ser excessivas ou inadequadas.

A seleção da AQ ótima deve ser determinada mediante uma métrica de desempenho específica (Matic et al., 2015b). Por exemplo, os programas de treino pliométrico que visam a melhoria da produção de potência máxima (Thomas et al., 2009) devem estabelecer a AQ do DJ que maximize essa métrica. Além disso, para uma correta execução da queda, recomenda-se que o atleta se posicione no bordo da caixa (não no centro), determine uma perna de partida, dirija o dedo do pé para cima e deixe o corpo cair livremente (sem empurrar para a frente). Por último alertamos que tanto a AQ quanto o volume de treino (séries e repetições) só sejam aumentados quando forem observadas adaptações reais às variáveis de treino anteriormente relataras.

O nosso **estudo 1** questionou se os acelerômetros disponíveis no mercado eram capazes de medir com precisão a TCS, a AS e a IFR em condições de campo. Para os investigadores, este estudo foi oportuno porque, se os dispositivos fossem válidos, teríamos a possibilidade de analisar o treino diário sem a necessidade de plataformas de força e custosos dispositivos de interrupção ótica. Estes acelerômetros, quando integrados

em sistemas online permitem o acesso diário a todos os saltos realizados no treino, garantindo assim diferentes estratégias de controlo do treino.

É importante lembrar que o indicador IFR procura fundamentalmente encontrar a altura ótima em que o atleta é capaz de obter o seu melhor desempenho (Ebben and Petushek, 2010b). Devido à diversidade da amostra para obter o melhor IFR, a AQ foi padronizada em 0.3m. A seleção de um único AQ para a validação do dispositivo não deve ser uma preocupação para os investigadores, já anteriormente foi demonstrado que, a 0.2m, os atletas não dispõem de tempo de pré-ativação muscular suficiente para produzir melhores AS (Flanagan and Comyns, 2008a) e isto favorece consideravelmente os TCS (Ebben and Petushek, 2010b), pelo que poderia afetar a medição deste indicador (Ebben and Petushek, 2010b, Newton and Dugan, 2002). Além disso, as medições a partir de uma altura de 0.4m podem exigir um certo nível de treino para atletas inexperientes. Assim, poderá não fazer sentido efetuar validações a diferentes AQ com a intenção de encontrar resultados diferentes. Estes critérios ajudam-nos a reforçar a ideia de que, quando os resultados da amostra para uma única AQ apresentam uma grande variabilidade na AS e nos TCS (como foi o caso do nosso estudo), este pode ser considerado um contexto de avaliação ideal para a validação de equipamentos que procuram medir a IFR. A altura de 0.3m pode ser considerada uma altura neutra para favorecer o ambiente de validação de dispositivos destinados principalmente a avaliar a IFR.

Os nossos resultados mostram que ambos os acelerômetros são válidos para medir a IFR. No entanto, verificámos que o limite de concordância (LC) ( $SD \pm 1,96$ ) apresentam uma grande amplitude. Isto significa que, no caso do PB2.0, poderíamos ter um IFR com 0,78 m/s acima da média e - 0,88 m/s abaixo da média. No caso da IMU, 0,24 m/s acima e - 0,73 m/s abaixo da média. Estes extremos da LC podem afetar gravemente os resultados deste indicador para atletas de alto rendimento que apresentem um IFR consistente com um intervalo de 0,01 m/s a 0,30 m/s entre 0.3 e 0.60m. Estes critérios são consistentes com os investigadores que relataram que durante a avaliação do IFR com diferentes populações, verificou-se que a variação do TV e do TCS não apresenta diferenças significativas com a variação da AQ (Kipp et al., 2018, Bobbert et al., 1987b, Walsh et al., 2004c). Outro elemento encontrado na IMU é que esta tende a melhorar a sua fiabilidade com o aumento da TCS. Esta estratégia de separar os TCS por

quartis, permitiu-nos perceber onde residem os problemas de fiabilidade deste equipamento. De modo geral, a IMU tem problemas em detetar TCS rápidos. Neste caso, verificamos que a IMU apresenta uma maior fiabilidade para TCS acima dos 400 ms, elemento que a deixa fora do alcance dos atletas de alto nível. Portanto, a análise das variáveis relacionadas ao desempenho não pôde ser realizada com este equipamento. Estes resultados não eram esperados pelos investigadores e levaram à necessidade da utilização de aparelhos Gold standard para a análise de variáveis associadas ao desempenho da força reativa e durante as comparações entre grupos e entre diferentes exercícios.

A amostra seccionada para comparações (**estudo 2 e 3**) era constituída por atletas de alto nível. Esse critério foi importante porque as condições de desempenho da atividade pliométrica em atletas de alto nível podem diferir de populações recreativas, estudantes universitários ou populações com indivíduos treinados regularmente. Por exemplo, uma investigação com atletas regularmente treinados propôs que 0.12m de AQ era o ideal para otimizar a AS e a velocidade de saída do salto (Lees and Fahmi, 1994b). Com atletas recreativos também foi sugerido que AQ de 0.60m pode ser ideal para não causar desequilíbrios bilaterais (Ball et al., 2010). No entanto, outros (Ramirez-Campillo et al., 2018b) concluem que existe uma altura ótima entre 0.10 e 0.40m de AQ, mas que 0.30m pode ser uma alternativa prática para o treino pliométrico. Em contrapartida, Di Giminiani defende que existe uma AQ individual que maximiza a potência de saída durante o salto em queda e que o teste para seleccionar esta AQ ótima deve ser repetido ao longo do tempo (Di Giminiani and Petricola, 2016). Também com atletas treinados, verificou-se que a AQ de 0.61m era melhor do que a de 0.46m para a FRS máxima, a TDF excêntrica e a força de reação articular (Jensen and Ebben, 2007). Estas diferenças relatadas nos estudos sugeriram-nos a realização de uma análise abrangente das características cinéticas e espaço-temporais de atletas de alto nível em velocidade e salto.

Estudos anteriores já se tinham debruçado sobre a avaliação da ação pliométrica horizontais e verticais (Loturco et al., 2015c, Ramirez-Campillo et al., 2015b, Gonzalo-Skok et al., 2016, Dello Iacono et al., 2017a, Gonzalo-Skok et al., 2019b, Aksoy et al., 2020, Abade et al., 2021) e mostraram correlações entre variáveis (Cronin and Hansen, 2005b, Hudgins et al., 2013, Mackala et al., 2021). Mas nenhum antes avaliou o DJ em

ambas as direções. Os resultados do nosso **estudo 3** são esclarecedores e fornecem uma ferramenta para aqueles que trabalham e investigam o comportamento das variáveis pliométricas dos saltos horizontais e verticais. Embora diferentes estudos tenham criticado que a Pliometria tem trabalhado historicamente na direção vertical e que essas condições podem não ser transferíveis para a direção horizontal (Loturco et al., 2015c, Ramírez-Campillo et al., 2015b), bem como que os saltos horizontais são mais voltados para o aumento agudo da aceleração em distâncias curtas e capacidade de mudança de direção, enquanto a Pliometria orientada verticalmente deve ser voltada para o desempenho do salto vertical (Dello Iacono et al., 2017a), os nossos resultados indicam que, durante o HDJ, os FRS verticais são 2 vezes mais elevados do que os FRS ântero-posteriores. Isto significa que durante o HDJ a maior percentagem de trabalho de força concêntrica depende de forças verticais. Neste sentido, os pressupostos anteriormente referidos podem ser discutíveis (Loturco et al., 2015c, Ramírez-Campillo et al., 2015b, Dello Iacono et al., 2017a). No entanto, embora reconheçamos que delinear os potenciais efeitos de transferência pliométrica específica orientada horizontal ou verticalmente poderia fornecer uma abordagem de senso comum para selecionar estrategicamente exercícios no programa de treino geral do atleta (Dello Iacono et al., 2017a), bem como a importância da abordagem mista (Ramírez-Campillo et al., 2015b) para estimular a aplicação de força de forma rápida na direção horizontal. Nós, recomendamos que a Pliometria vertical seja utilizada como uma preparação para a Pliometria horizontal. Ao mesmo tempo, os nossos resultados abrem a questão de saber se outros exercícios pliométricos de múltiplos saltos que foram anteriormente utilizados, estimulam realmente a predominância de forças ântero-posteriores sobre as forças verticais, um elemento que, na nossa opinião, precisa de ser mais investigado (Hennessy and Kilty, 2001, Cronin and Hansen, 2005b, Hudgins et al., 2013, Mackala et al., 2021).

A constatação de que a HDJ apresenta uma TCS significativamente mais elevada do que a DJ foi outra questão relevante por nós encontrada. Resultados importantes de este estudo foram que: as TV do HDJ são significativamente superiores no HDJ relativamente ao DJ. Desta forma tendo em conta o tempo de execução, o DJ constitui um exercício de ciclo estiramento encurtamento (CAE) rápido, mas o HDJ pode constituir um exercício de CAE lento. Além disso, o HDJ também requer mais tempo para a produção de força. Embora reconheçamos que o HDJ possa ser utilizado para estimular

a força reativa das forças ântero-posteriores para garantir um tempo de take-off mais rápido durante o comprimento, para garantir a preparação dos saltos quádruplos, decasaltos e saltos horizontais, bem como para ser um meio de excelência durante a preparação geral de um atleta de triplo salto. O DJ é o único exercício com início desde uma AQ capaz de estimular em maior grau a força reativa dos atletas.

Como mencionado (**estudo 2**), o IFR avalia a força reativa de um atleta, durante um movimento de potência que inclui uma AQ. No entanto, compreender o raciocínio por detrás das variáveis de resultado pode ser fundamental e pode muitas vezes, proporcionar uma maior clareza sobre o desempenho de um atleta. Os nossos resultados indicaram que o IFR, embora seja um indicador amplamente utilizado na literatura, pode ser inadequada para detetar alterações na força reativa quando considerada à AQ. Conforme relatado anteriormente (**estudo 2**): “pode não ser plausível aceitar que a força reativa se mantenha igual à medida que a AQ aumenta. O IFR orienta-nos para estimular a força reativa em zonas previamente adaptadas e não em zonas que poderiam manifestar uma maior especificidade (Walshe et al., 1998)”.

Como se pode verificar (**estudo 2**) quando analisámos o IFR dos atletas de 100m e 400m (figura 11), as diferenças entre o valor médio dos valores de AQ 0.3 e AQ 0.40m são muito semelhantes. Este é o resultado da análise por grupos, mas também pudemos verificar que os atletas mantêm uma variedade múltipla na produção de resultados deste indicador. Por exemplo, há atletas com o mesmo IFR entre AQ 0.30 m e 0.50m, outros tendem a um aumento progressivo mínimo até atingir a sua altura ótima, enquanto outros mostram grandes aumentos nos valores de IFR com o aumento de AQ, o que torna extremamente difícil a análise desta métrica. Durante as comparações entre grupos, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas variáveis de força reativa, no entanto, existem algumas diferenças entre os efeitos que os treinadores podem considerar. O desenvolvimento do IIFR poderia ser recomendado como uma medida mais sensível e precisa da força reativa durante o DJ a ser aplicada no treino. Ele pode fornecer uma estratégia clara não só para a avaliação da força reativa, mas também para a determinação do volume e da intensidade do treino.

Embora estes critérios sejam completamente inovadores, foi necessário testar se, na prática, o treino pliométrico baseado no IIFR como critério de intensidade apresenta

melhor desempenho do que os programas tradicionais de treino de saltos. Neste sentido foi desenvolvido o programa de treino cruzado (**estudo 4**). Os principais resultados foram que ambos os PTP apresentam melhoras significativas (IHP, TSP, 60 m e DJ); II) mais durante o PTP-1, o grupo G-RT1 apresentou melhor ES do que o G-PT2. Após o cruzamento G-PT2 apresentou melhor ES do que o grupo G-RT1, demonstrando os maiores efeitos da PTP baseada no IIFR. O grupo de controlo não apresentou alterações significativas em nenhuma das variáveis analisadas.

Os nossos resultados indicam um maior efeito do PTP baseado no IIFR em relação ao PTP tradicional. Além disso, aumentos dinâmicos e graduais na força reativa em função da AQ são relatados durante o treino baseado em IIFR. Outros estudos propõem aumentos progressivos de carga semanais (Ahmadi et al., 2021b) ou quinzenais (do Carmo et al., 2021, Ahmadi et al., 2021b) sem avaliações prévias para garantir as adaptações pretendidas em alturas e volumes de trabalho individualizados. No nosso caso, o aumento de carga é determinado por adaptações neuromusculares individuais (figura 15) e apresenta uma transição dinâmica e progressiva coerente com uma funcionalidade prática aplicável no contexto diário de treino. Outro critério que não induz a uma maior concentração do treino pliométrico baseado no IIFR é o seu controlo dinâmico diário do volume e da intensidade do exercício de forma individualizada. Estes resultados são práticos e fundamentais para os treinadores que pretendem desenvolver os seus programas de treino pliométrico para melhorar as condições de velocidade e força reativa dos seus atletas.

Os nossos resultados proporcionam informação relevante para um procedimento aplicável e cientificamente comprovado. O treino baseado no IIFR, não requer muitos recursos tecnológicos para a sua utilização e fornece informações em tempo real sobre o comportamento da força reativa do atleta relativamente à altura da queda. O procedimento pode ser introduzido na teoria e metodologia do treino desportivo, especificamente no treino pliométrico do DJ com uma conceção robusta. A nossa tese oferece também indicações metodológicas para a sua utilização e critérios de avaliação. No futuro, podem ser efetuadas investigações para comparar os efeitos do treino com base no IIFR comparando diferentes intensidades (por exemplo, 95% vs. 90%) e a sua relação com indicadores específicos para a utilização regular na sessão de treino.

## Referências Capítulo V

---

- ABADE, E., SILVA, N., FERREIRA, R., BAPTISTA, J., GONÇALVES, B., OSÓRIO, S. & VIANA, J. 2021. Effects of Adding Vertical or Horizontal Force-Vector Exercises to In-season General Strength Training on Jumping and Sprinting Performance of Youth Football Players. *J Strength Cond Res*, 35, 2769-2774.
- AHMADI, M., NOBARI, H., RAMIREZ-CAMPILLO, R., PÉREZ-GÓMEZ, J., RIBEIRO, A. L. A. & MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, A. 2021a. Effects of Plyometric Jump Training in Sand or Rigid Surface on Jump-Related Biomechanical Variables and Physical Fitness in Female Volleyball Players. *Int J Environ Res Public Health*, 18.
- AHMADI, M., NOBARI, H., RAMIREZ-CAMPILLO, R., PEREZ-GOMEZ, J., RIBEIRO, A. L. D. & MARTINEZ-RODRIGUEZ, A. 2021b. Effects of Plyometric Jump Training in Sand or Rigid Surface on Jump-Related Biomechanical Variables and Physical Fitness in Female Volleyball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.
- AKSOY, C. C., KURT, V., OKUR, İ., TASPINAR, F. & TASPINAR, B. 2020. The immediate effect of neurodynamic techniques on jumping performance: A randomised double-blind study. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 33, 15-20.
- ARAZI, H., ESTON, R., ASADI, A., ROOZBEH, B. & ZAREI, A. S. 2016. Type of Ground Surface during Plyometric Training Affects the Severity of Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports*, 4.
- BALL, N. B., STOCK, C. G. & SCURR, J. C. 2010. Bilateral contact ground reaction forces and contact times during plyometric drop jumping. *J Strength Cond Res*, 24, 2762-9.
- BOBBERT, M. F., HUIJING, P. A. & VAN INGEN SCHENAU, G. J. 1987. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 339-46.

- CRONIN, J. B. & HANSEN, K. T. 2005. STRENGTH AND POWER PREDICTORS OF SPORTS SPEED. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19, 349-357.
- DELLO IACONO, A., MARTONE, D., MILIC, M. & PADULO, J. 2017. Vertical- vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players. *J Strength Cond Res*, 31, 921-931.
- DI GIMINIANI, R. & PETRICOLA, S. 2016. The power output-drop height relationship to determine the optimal dropping intensity and to monitor the training intervention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 117-125.
- DO CARMO, E. C., BARROSO, R., GIL, S., DA SILVA, N. R., BERTUZZI, R., FOSTER, C. & TRICOLI, V. 2021. Can plyometric training change the pacing behaviour during 10-km running? *European Journal of Sport Science*.
- EBBEN, W. P., FAUTH, M. L., GARCEAU, L. R. & PETUSHEK, E. J. 2011. Kinetic Quantification of Plyometric Exercise Intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 3288-3298.
- EBBEN, W. P. & PETUSHEK, E. J. 2010. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res*, 24, 1983-7.
- EBBEN, W. P., VANDERZANDEN, T., WURM, B. J. & PETUSHEK, E. J. 2010. Evaluating plyometric exercises using time to stabilization. *J Strength Cond Res*, 24, 300-6.
- FLANAGAN, E. P. & COMYNS, T. M. 2008a. The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30, 32-38.
- FLANAGAN, E. P. & COMYNS, T. M. 2008b. The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength & Conditioning Journal*, 30, 32-38.
- FOURÉ, A., NORDEZ, A., GUETTE, M. & CORNU, C. 2009. Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii and the musculo-articular complex of the ankle joint. *Scand J Med Sci Sports*, 19, 811-8.

- FOURÉ, A., NORDEZ, A., MCNAIR, P. & CORNU, C. 2011. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle-tendon complex. *Eur J Appl Physiol*, 111, 539-48.
- GONZALO-SKOK, O., SÁNCHEZ-SABATÉ, J., IZQUIERDO-LUPÓN, L. & SÁEZ DE VILLARREAL, E. 2019. Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players. *Eur J Sport Sci*, 19, 305-314.
- GONZALO-SKOK, O., TOUS-FAJARDO, J., ARJOL-SERRANO, J. L., SUAREZ-ARRONES, L., CASAJÚS, J. A. & MENDEZ-VILLANUEVA, A. 2016. Improvement of Repeated-Sprint Ability and Horizontal-Jumping Performance in Elite Young Basketball Players With Low-Volume Repeated-Maximal-Power Training. *Int J Sports Physiol Perform*, 11, 464-73.
- HENNESSY, L. & KILTY, J. 2001. Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res*, 15, 326-31.
- HUDGINS, B., SCHARFENBERG, J., TRIPLETT, N. T. & MCBRIDE, J. M. 2013. Relationship Between Jumping Ability and Running Performance in Events of Varying Distance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 563-567.
- JENSEN, R. L. & EBBEN, W. P. 2007. Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 763-767.
- KIPP, K., KIELY, M. T., GIORDANELLI, M. D., MALLOY, P. J. & GEISER, C. F. 2018. Biomechanical Determinants of the Reactive Strength Index During Drop Jumps. *Int J Sports Physiol Perform*, 13, 44-49.
- KUBO, K., IKEBUKURO, T. & YATA, H. 2021. Effects of plyometric training on muscle-tendon mechanical properties and behavior of fascicles during jumping. *Physiological Reports*, 9.
- LANNERSTROM, J., NILSSON, L. C., CARDINALE, D. A., BJORKLUND, G. & LARSEN, F. J. 2021. Effects of Plyometric Training on Soft and Hard Surfaces for Improving Running Economy. *Journal of Human Kinetics*, 79, 187-196.

- LEES, A. & FAHMI, E. 1994. OPTIMAL DROP HEIGHTS FOR PLYOMETRIC TRAINING. *Ergonomics*, 37, 141-148.
- LOTURCO, I., PEREIRA, L. A., KOBAL, R., ZANETTI, V., KITAMURA, K., ABAD, C. C. & NAKAMURA, F. Y. 2015. Transference effect of vertical and horizontal plyometrics on sprint performance of high-level U-20 soccer players. *J Sports Sci*, 33, 2182-91.
- MACKALA, K., RAUTER, S., ZAWARTKA, M., COH, M. & VODICAR, J. 2021. The Relationship between Symmetrical and Asymmetrical Jumps and Their Influence on Speed Abilities: Gender Consideration. *Symmetry-Basel*, 13.
- MATIC, M. S., PAZIN, N. R., MRDAKOVIC, V. D., JANKOVIC, N. N., ILIC, D. B. & STEFANOVIC, D. L. J. 2015. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 3300-3310.
- MONTORO-BOMBÚ, R., SARMENTO, H., BUZZICHELLI, C., MOURA, N. A., GONZÁLES BADILLO, J. J., SANTOS, A. & RAMA, L. 2023. Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Frontiers in Physiology*, 14.
- MORESI, M. P., BRADSHAW, E. J., GREENE, D. & NAUGHTON, G. 2011. The assessment of adolescent female athletes using standing and reactive long jumps. *Sports Biomechanics*, 10, 73-84.
- NEWTON, R. U. & DUGAN, E. 2002. Application of strength diagnosis. *Strength and Conditioning Journal*, 24, 50-59.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ÁLVAREZ, C., GARCÍA-PINILLOS, F., GARCÍA-RAMOS, A., LOTURCO, I., CHAABENE, H. & GRANACHER, U. 2020. Effects of Combined Surfaces vs. Single-Surface Plyometric Training on Soccer Players' Physical Fitness. *J Strength Cond Res*, 34, 2644-2653.
- RAMIREZ-CAMPILLO, R., ALVAREZ, C., GARCÍA-PINILLOS, F., SANCHEZ-SANCHEZ, J., YANCI, J., CASTILLO, D., LOTURCO, I., CHAABENE, H., MORAN, J. & IZQUIERDO, M. 2018. Optimal Reactive Strength Index: Is It an

Accurate Variable to Optimize Plyometric Training Effects on Measures of Physical Fitness in Young Soccer Players? *J Strength Cond Res*, 32, 885-893.

RAMÍREZ-CAMPILLO, R., ANDRADE, D. C. & IZQUIERDO, M. 2013. Effects of plyometric training volume and training surface on explosive strength. *J Strength Cond Res*, 27, 2714-22.

RAMÍREZ-CAMPILLO, R., GALLARDO, F., HENRIQUEZ-OLGUÍN, C., MEYLAN, C. M., MARTÍNEZ, C., ÁLVAREZ, C., CANIUQUEO, A., CADORE, E. L. & IZQUIERDO, M. 2015. Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 29, 1784-95.

SAMOZINO, P., PEYROT, N., EDOUARD, P., NAGAHARA, R., JIMENEZ-REYES, P., VANWANSEELE, B. & MORIN, J. B. 2022. Optimal mechanical force-velocity profile for sprint acceleration performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32, 559-575.

THOMAS, K., FRENCH, D. & HAYES, P. R. 2009. The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *J Strength Cond Res*, 23, 332-5.

WALSH, M., ARAMPATZIS, A., SCHADE, F. & BRÜGGEMANN, G. P. 2004. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res*, 18, 561-6.

WALSHE, A. D., WILSON, G. J. & ETTEMA, G. J. 1998. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *J Appl Physiol* (1985), 84, 97-106.



## **CAPÍTULO VI**

### **Conclusões gerais**



## CAPÍTULO VI: Conclusões gerais

---

No estudo de revisão sistemática foram identificados várias fragilidades relativamente à organização metodológica e procedimento adotados nos programas de treino pliométrico reportados na literatura, tais como: i) a falta de consenso sobre um critério de intensidade de treino, ii) a falta de justificação para a distribuição e orientação do volume de treino e iii) a falta de critérios para a individualização do processo de treino. Por estas razões, foram desenvolvidos critérios metodológicos que consideramos fundamentais para a prescrição de programas de treino pliométrico. Na sequência da revisão sistemática, foi estabelecido um novo critério para a identificação do nível de experiência dos sujeitos, bem como recomendações metodológicas para a seleção da intensidade e do volume de treino. Parte-se do princípio de que a altura de queda (AQ) não deve ser entendida como o único fator determinante para a prescrição da intensidade do treino pliométrico e que o índice de força reativa pode ser uma medida de intensidade.

Foi nossa preocupação a validação dos dispositivos que avaliem a força reativa em condições de campo permitindo facilitar o acesso a indicadores espaciotemporais. Os nossos resultados de validação mostram que o Push Band 2.0 (PB2.0) é um dispositivo válido para medir o índice de força reativa (IFR). No entanto, recomendamos considerar os limites de concordância desta investigação antes de utilizar o PB2.0 com atletas com um elevado nível de força reativa. Entretanto, os resultados do dispositivo Output Sport demonstram que também pode ser utilizado na prática, para fornecer medições de IFR válidas e fiáveis. No entanto devem-se considerar igualmente, os limites de concordância. Estes equipamentos podem ser utilizados no contexto prático como uma ferramenta económica para avaliar a força reativa. No entanto, sugere-se que os fabricantes do Push Band 2.0 e do Output Sport continuem a desenvolver ajustes na aplicação ou em versões melhoradas dos dispositivos para aumentar a validade e a fiabilidade com atenção aos limites de concordância.

Na análise comparativa entre velocistas masculinos de 100m e 400m, pudemos constatar que não existem diferenças significativas nas variáveis de força reativa (Tempo de voo (TV), força de reação no solo (FRS), AS, capacidade reativa (RC), IFR e o índice integral de força reativa (IIFR)). Os nossos resultados podem ser tidos em conta para desenvolver programas pliométricos e quebrar o mito de que os atletas de 400m podem ser menos reativos devido à sua especialidade. Adicionalmente, o IIFR mostrou ser um indicador mais sensível na deteção de possíveis aumentos ou diminuições da força reativa durante o DJ.

Também foram encontradas diferenças entre o DJ e o Drop Jump horizontal (HDJ). Esta constatação permite dispor de uma orientação, mais precisa de qual tarefa proporciona melhores benefícios em termos de variáveis cinéticas e espaço-temporais. O HDJ tem tempos de contacto mais elevados e necessita também de mais tempo para a produção de força. A componente excêntrica demora mais tempo do que a concêntrica, sendo a que mais afeta os parâmetros de força reativa. Devido às características do tempo de contato com o solo (TCS), o HDJ pode não favorecer os estímulos rápidos durante a fase de velocidade máxima do sprint, mas pode beneficiar a fase de arranque e aceleração, onde é necessário mais tempo até o pico de força concêntrica, além o TCS e mais longo. Foi possível concluir que i) os impulsos verticais predominam sobre os horizontais, independentemente do tipo de exercício pliométrico; ii) no DJ, a força de reação no solo na componente excêntrica é superior à força de reação no solo na componente concêntrica (FRS<sub>C</sub>). Neste sentido, as estratégias para a redução do primeiro impacto, procurando potenciar o FRS<sub>C</sub>, não dependem deste exercício; iii) o DJ garante melhores indicadores de potência e FRS<sub>C</sub>, pelo que a sua utilização durante o período de preparação especial e direta para a competição pode ser recomendado.

Por último, o programa de treino Pliométrico baseado no IIFR pode ser eficazmente recomendado. Este mostrou efeitos significativos em 8 semanas de intervenção para as variáveis associadas à força reativa. As suas principais vantagens são i) O IIFR mostrou um aumento dinâmico e gradual da força reativa em função da AQ. ii) Permite controlar o volume e a intensidade do exercício de forma individual. iii) O aumento do volume de treino não se baseia num critério rígido do treinador, mas sim nas características individuais. Os nossos resultados são práticos e fundamentais para desenvolver programas de treino pliométrico com o objetivo de melhorar as condições de velocidade e força reativa dos atletas.



## ANEXOS

### Anexo 1: Diferenças práticas entre Drop Jump, Depth Jump e Depth Drop.

	Drop Jump	Depth Jump	Depth Drop
Altura da queda	0.20 – 0.75m	0.40 – 1.0m	0.9 – 130m
Características	Um tempo de contacto com o solo mais curto provoca um valor de força reativa mais elevado.	Um maior tempo de contacto com o solo provoca um valor força reativa mais baixo, apesar da altura do salto mais elevado	Na força reativa
Ângulo da articulação do joelho	130° e 170°	90° e 135°	90° e 135°
Objetivos de desempenho do exercício	Tempo mínimo de contacto com o solo e salto reativo máximo	Máxima altura do salto	Terminação rápida da fase excêntrica
Amplitude de contramovimento	Mínimo	Máximo	Ausente
Adaptações de treino	Diminuição dos tempos de acoplamento e aumento da força reativa; aumento da potência concêntrica em ângulos específicos.	Aumento da potência concêntrica como resultado do aumento da força dinâmica máxima, aumento da força excêntrica.	Força máxima excêntrica e isométrica.

## Anexo 2: Características dos ECA incluídos no estudo.

Studies	1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14
							weeks	vol							
(Lum et al., 2022)	Atletismo resistência	n=22 e= 37±6 s= mix	No	No	DJ +	0.40, 0.50 y 0.60m	1 2-5 6	3 x 5 4 x 5 2 x 5	No	6 Sem 2 x W Total: 18	no	3	No	No	9.20 % (AS)
(Falch et al., 2022)	Andebol	n=21 e= 17±2 s= Mulh	No	IFR	DJ +	0.40m	1 2-3 4 5 6 7	1 x 6 1 x 8 1 x 10 1 x 12 1 x 8 1 x 5	No	8 Sem 1 o 2 x W Total: 12	no	>2	Contact mat	No	37.0 % (IFR)
(Sanchez-Sixto et al., 2021)	Basquetebol	n=36 e= 23±6 s= Hom	No	No	DJ	0.20, 0.25, 0.30 y 0.40m	1-3 4 5 6	3 x 6 3 x 4 4 x 4 3 x 3	No	6 Sem 2 x W Total: 12	1	3	No	No	5.71 % (AS)
(do Carmo et al., 2021)	Corredores recreativos	n=28 e= 33,3 s= Hom	No	No	SPF +	0.40m	4-5 6 7 8	2 x 6 3 x 6 4 x 6 2 x 6	No	8 Sem 2 x W Total: 16	-	-	No	No	7.28 % (AS DJ)
(Ahmadi et al., 2021)	Voleibol	n=17 e= 23±2 s= Mulh	No	No	SPF +	0.40m	1-8	2 x 6	No	8 Sem 2 x W Total: 16	5 15'' to	30 to 60''	Wood vs sand	No	13.6 % (AS) 11.5 % (IFR)
(Laurent et al., 2020)	Fisicamente ativo	n=32 e= 22.5 s= Mulh	No	No	DJ +	0.20, 0.40 y 0.60m	1 2 3-10	3 x 10 4 x 10 5 x 10	No	10 Sem 2 x W Total: 20	2'	1.5 to 3'	Ground	No	13.7 % (AS)
(di Cagno et al., 2020)	Esgrima	n=54 e= 17.5 s= Hom	No	No	DJ	0.50m	1-2 3-4 5-6	1 x 7 2 x 7 3 x 7	No	6 Sem 2 x W Total: 12	2'		Ground	No	4 % (AS) CMJ
(Jeffreys et al., 2019)	Rugby	n=36 e= 20±1 s= Hom	No	IFR	DJ	individual	2-6	2 x 5	Does not vary	4 Sem 2 x W Total: 8	-	-	No	No	15.78 % (IFR)
(Bogdanis et al., 2019)	Moderadamente treinados	n=15 e= 19.6 s= Mix	No	no	DJ +	0.30m	1-3 4-6	2 x 10 3 x 10	No	6 Sem 2 x W Total: 12	-	1	No	No	4.30 % (IFR)

(Bianchi et al., 2019)	Futebol	n=21 e= 17±8 s= Hom	No	No	DJ +	0.60m	1-8	4 x 5	Does not vary	8 Sem 2 x W Total: 16	-	-	No	No	1.43 % (Sprint 30 m)
(Ramirez-Campillo et al., 2018c)	Futebol	n=23 e= 21±3 s= Fem	No	No	DJ +	0.5-0.35m	1-2 3-4 5-6 7- 8-	5 x 16 5 x 20 5 x 24 5 x 28 5 x 14	No	8 Sem 2 x W Total: 16	5-15''	30-60''	Assorted grass and ground	No	
(Terzis et al., 2016)	Estudantes de Educação Física	n=22 e= 20±2 s= Mulh	No	No	DJ +	0.20, 0.30 y 0.40m	1-6	8 x 3	No	6 Sem 1 x W Total: 6	30''	1'	Contact mat	No	10.90 % (AS CMJ)
(Ramírez-Campillo et al., 2014)	Atletismo resistência	n=36 e= 22.1 s= Mix	No	No	DJ +	0.20, 0.40 y 0.60m	1-6	6 x 10	Does not vary	6 Sem 2 x W Total: 12	15''	2'	Wood	No	8.86 % (AS CMJ)
(Chelly et al., 2014)	Andebol	n=23 e= 17.2 s= Hom	No	No	DJ +	0.40m	5-8	4 x 10	Does not vary	9 Sem 2 x W Total: 18	5''		No	No	9.52 % (AS CMJ)
(Ramírez-Campillo et al., 2013)	Estudantes de Educação Física	n=29 e= 16.86 s= Hom	No	No	DJ	0.20, 0.40 y 0.60m	1-6	6 x 10 12 x 10	Does not vary	7 Sem 2 x W Total: 14	5''	1,5'	Wood OR mattress (0.03m)	No	N/M (AS CMJ)
(Khlifa et al., 2010)	Basquetebol	n=27 e= 23.61 s= Hom	No	No	DJ +	0.40m	1 2 3-10	3 x 5 5 x 9 6 x 15	No	10 Sem 3 x W Total: 30	15 <sup>a</sup> 30''	-	No	No	7.0 % (AS CMJ)
(Sedano et al., 2009)	Futebol	n=20 e= 22.9 s= Mulh	No	No	DJ +	0.50m	1-6 2-4 3-5 8-10 9-11 12	8 x 5 10 x 5 9 x 5 11 x 5 10 x 5 9 x 5	No	12 Sem 1 x W Total: 12	1'	4'	Synthetic hard floor	No	18.0 % (AS DJ)
(de Villarreal et al., 2008)	Estudantes de Educação Física	n=42 e= 23.5 s= Hom	No	No	DJ	0.20, 0.40 y 0.60m	1-7	6 x 10	Does not vary	7 Sem 4 x W Total: 28	-	1'	0.03m mattress	No	18.78 % (AS JD)
(Markovic et al., 2007)	Estudantes de Educação Física	n=93 e= 20.1 s= Hom	No	No	DJ +	0.40m	8-11	4 x 10	No	4 Sem 3 x W Total: 12	5''	-	Athletics track	No	14.2 % (AS JD)
(Luebbers et al., 2003)	Estudantes de Educação Física	n=38	No	No	SPF	0.40m	3 4 5-6	2 x 10 3 x 10 6 x 10	No	5 Sem 3 x W Total: 15	15-30''	-	No	No	4.0 % (AS CMJ)

		e= Universitários s= Hom			+		7	7 x 10							
(Gehri et al., 1998)	Recreativamente e ativo	n=28 e= 20.3 s= Mix	No	No	DJ	0.40m	1-2 3-10	2 x 8 4 x 8	No	10 Sem 2 x W Total: 20	5''	1'	No	No	0.69 % (AS CMJ)
(Chelly et al., 2010)	Futebol	n=23 e= 19±0.7 s=Hom	No	No	DJ +	0.40m	5-8	4 x 10	Does not vary	9 Sem 2 x W Total: 18	5''		Grass	No	2.43 % (AS CMJ)

1= Desporto ou atividade; 2= Número de sujeitos, idade e sexo; 3= Metodologia declara um programa de preparação pliométrica; 4= Metodologia declara os critérios de altura antes de realizar o exercício; 5= Programa inclui DJ, SPF mais outros saltos; 6= Metodologia declara a altura selecionada para realizar o DJ ou SPF; 7= Estrutura do volume por semanas ou sessões; 8= A metodologia indica os critérios de variação de volume; 9= Frequência do treino e o número total de sessões; 10= Recuperação entre exercícios; 11= Recuperação entre conjuntos; 12= Tipo de superfície de trabalho; 13= O estudo apresenta crossover; e 14= Aumento do desempenho mostrado pelo Programa



## OPEN ACCESS

EDITED BY  
Pui Wah Kong,  
Nanyang Technological University,  
Singapore

REVIEWED BY  
Žiga Kozinc,  
University of Primorska, Slovenia  
Danny Lum,  
Sport Singapore, Singapore

\*CORRESPONDENCE  
Raynier Montoro-Bombú,  
✉ rayniermb@gmail.com

RECEIVED 07 March 2023  
ACCEPTED 06 April 2023  
PUBLISHED 21 April 2023

CITATION  
Montoro-Bombú R, Sarmiento H,  
Buzzichelli C, Moura NA,  
González Badillo JJ, Santos A and Rama L  
(2023), Methodological considerations  
for determining the volume and intensity  
of drop jump training. A systematic,  
critical and prepositive review.  
*Front. Physiol.* 14:1181781.  
doi: 10.3389/fphys.2023.1181781

COPYRIGHT  
© 2023 Montoro-Bombú, Sarmiento,  
Buzzichelli, Moura, González Badillo,  
Santos and Rama. This is an open-access  
article distributed under the terms of the  
[Creative Commons Attribution License  
\(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use, distribution or  
reproduction in other forums is  
permitted, provided the original author(s)  
and the copyright owner(s) are credited  
and that the original publication in this  
journal is cited, in accordance with  
accepted academic practice. No use,  
distribution or reproduction is permitted  
which does not comply with these terms.

## Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review

Raynier Montoro-Bombú<sup>1\*</sup>, Hugo Sarmiento<sup>1</sup>, Carlo Buzzichelli<sup>2</sup>, Nelio Alfano Moura<sup>3</sup>, Juan José González Badillo<sup>4</sup>, Amândio Santos<sup>1</sup> and Luís Rama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Coimbra, Research Unit for Sport and Physical Activity (CIDA), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, Coimbra, Portugal, <sup>2</sup>Faculty of Exercise and Sport Science, University of Milano, Milan, Italy, <sup>3</sup>Chinese Athletics Association, Beijing, China, <sup>4</sup>Faculty of Sport, Pablo de Olavide University, Seville, Spain

This systematic review provides critical and propositional information on criteria for determining the volume and intensity of drop jumps during plyometric training programs. Eligibility criteria were defined according to PICOS: Participants: male or female athletes, trained or recreationally active (16–40 years). Intervention duration: more than 4 weeks. Comparators: passive or active control group during a plyometric training program. Outcomes: information on improvement with Drop Jump or Depth Jump, with other jumps, acceleration, sprint, strength, and power output. Design: randomized controlled trials. We searched articles published in PubMed, SPORTDiscus, Web of Science, and Scopus. The search was conducted until 10 September 2022 for English-language articles only. The risk of bias was assessed using Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation (GRADE) for randomized controlled studies. We identified 31495 studies, of which only 22 were included. We found that six groups presented results with women, 15 presented results with men, and the remaining four presented mixed studies. Of the 686 people recruited, 329 participants aged 25.79 ± 4.76 years were involved in training. Methodological problems in training intensity, volume distribution, and individualization were noted, but methodological recommendations for their solution are also provided. It is concluded that the drop height should not be understood as the intensity determinant of plyometric training. Intensity is determined by ground reaction forces, power output, and jump height, among other factors. Furthermore, the athletes' experience level selection should be based on the formulas recommended within this research. These results could be helpful for those who intend to conduct new plyometric training programs and research.

## KEYWORDS

drop jump, depth jump, jumping program, plyometric training, plyometrics

Article

# The Validity of the Push Band 2.0 on the Reactive Strength Index Assessment in Drop Jump

Raynier Montoro-Bombú <sup>1,\*</sup>, Lázaro de la Paz Arencibia <sup>2</sup>, Carlos Buzzichelli <sup>3</sup>, Paulo Miranda-Oliveira <sup>4,5,6</sup>, Orlando Fernandes <sup>7,8</sup>, Amândio Santos <sup>1</sup> and Luis Rama <sup>1,9</sup>

- <sup>1</sup> Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, 3004-531 Coimbra, Portugal; acupidosantos@gmail.com (A.S.); luisrama@fcdef.uc.pt (L.R.)
  - <sup>2</sup> Faculty of Sports, University of Physical Culture and Sport Sciences Manuel Fajardo, Havana 10600, Cuba; lazarodpaz50@gmail.com
  - <sup>3</sup> Faculty of Exercise and Sport Science, University of Milano, 20122 Milan, Italy; cb@isci.education
  - <sup>4</sup> Interdisciplinary Research Centre Egas Moniz (CiEM), Cooperativa de Ensino Superior CRL, 2829-511 Almada, Portugal; paoliveira@egasmoniz.edu.pt
  - <sup>5</sup> School of Technology and Management (ESTG), Polytechnic of Leiria, 2411-901 Leiria, Portugal
  - <sup>6</sup> Portuguese Athletics Federation (FPA), 2799-538 Oeiras, Portugal
  - <sup>7</sup> Sport and Health Department, School of Health and Human Development, Universidad de Evora, 7000-671 Evora, Portugal; orlando@uevora.pt
  - <sup>8</sup> Comprehensive Health Research Center (CHRC), University of Évora, 7000-671 Évora, Portugal
  - <sup>9</sup> Research Unit for Sport and Physical Activity (CIDAF), 3004-531 Coimbra, Portugal
- \* Correspondence: rayniermb@gmail.com

**Citation:** Montoro-Bombú, R.; de la Paz Arencibia, L.; Buzzichelli, C.; Miranda-Oliveira, P.; Fernandes, O.; Santos, A.; Rama, L. The Validity of the Push Band 2.0 on the Reactive Strength Index Assessment in Drop Jump. *Sensors* **2022**, *22*, 4724. <https://doi.org/10.3390/s22134724>

Received: 17 May 2022

Accepted: 17 June 2022

Published: 22 June 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** This study aims to verify the validity of the Push Band 2.0 (PB2.0) device on the reactive strength index (RSI) measurement, using a force plate (FP) and an optical sensor device, OptoJump (OPT), as a reference. Twenty trained athletes performed 60 drop jump trials with a height box of 30 cm. A randomized repeated measures study was conducted during a single session using the PB2.0, the OPT, and the plate force manually synchronized to obtain RSI data for each jump. Validity was analyzed by contrasting three measures: the intra-class correlation coefficient (ICC), the Bland-Altman test, and R2 coefficient of determination. Bland-Altman analysis showed that RSI and FP for PB2.0 (media = -0.047; IC 93.34%) of all data were within the confidence interval, indicating a statistically reliable result. The RSI measured by the OPT and PB2.0 also provided similar values (media = -0.047). These data are identical to other validity measures (ICC and linear correlation) but differ in the R2 values. The explained variation of PB2.0 measures attained only 29.3% of the FP (R2 = 0.293) and 29.5% (R2 = 0.295) of the OPT assessment, showing a very low determination coefficient. The results of this study point to caution in the use of PB2.0 when measuring RSI in scientific research.

**Keywords:** reactivity assessment; plyometrics; drop jump; instrument; vertical jump

## 1. Introduction

Plyometric exercises are commonly considered in training programs to improve reactive strength [1–3]. The drop jump (DJ) is one of the most studied protocols in the plyometric assessment [4–6], and some studies have demonstrated its utility to assess the influence of leg extensor strength qualities on the vertical jump performance [7–11].

Reactive strength index (RSI) is an effective marker of reactive strength [12] due to the use of a fast shortening caused by a previous activation in the DJ, known as the stretch-shortening cycle [13,14]. The duration of the ground contact time (GCT) characterizes two types of stretch-shortening cycle: short duration if >250 ms, as it is typical of the DJ, and long duration if >250 ms is present in the counter movement jump (CMJ). The RSI is currently one of the broadest performance markers reported in the literature



## OPEN ACCESS

EDITED BY  
Sheng Zhang,  
Zhejiang University, China

REVIEWED BY  
Gavin L. Moir,  
East Stroudsburg University,  
United States  
Ivan Miguel Pires,  
Universidade da Beira Interior, Portugal  
Bessem Mkaouer,  
University of Manouba, Tunisia

\*CORRESPONDENCE  
Raynier Montoro-Bombú,  
rmynermb@gmail.com

These authors have contributed equally  
to this work

SPECIALTY SECTION  
This article was submitted to Biosensors  
and Biomolecular Electronics,  
a section of the journal  
Frontiers in Bioengineering and  
Biotechnology

RECEIVED 09 August 2022  
ACCEPTED 05 October 2022  
PUBLISHED 17 October 2022

CITATION  
Montoro-Bombú R, Field A, Santos AC  
and Rama L (2022), Validity and reliability  
of the Output sport device for assessing  
drop jump performance.  
*Front. Bioeng. Biotechnol.* 10:1015526.  
doi: 10.3389/fbioe.2022.1015526

COPYRIGHT  
© 2022 Montoro-Bombú, Field, Santos  
and Rama. This is an open-access article  
distributed under the terms of the  
Creative Commons Attribution License  
(CC BY). The use, distribution or  
reproduction in other forums is  
permitted, provided the original  
author(s) and the copyright owner(s) are  
credited and that the original  
publication in this journal is cited, in  
accordance with accepted academic  
practice. No use, distribution or  
reproduction is permitted which does  
not comply with these terms.

# Validity and reliability of the Output sport device for assessing drop jump performance

Raynier Montoro-Bombú<sup>1,\*†</sup>, Adam Field<sup>2</sup>,  
Amândio Cúcido Santos<sup>1</sup> and Luis Rama<sup>1,3†</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, <sup>2</sup>Division of Sport, Exercise and Nutrition Sciences, School of Human and Health Sciences, University of Huddersfield, Huddersfield, United Kingdom, <sup>3</sup>Research Unit for Sport and Physical Activity (CIDAF), Coimbra, Portugal

The devices for measuring plyometric exercise in field conditions are becoming increasingly prevalent in applied research and practice. However, before the use of a device in an applied setting, the validity and reliability of such an instrument must be determined. The study aimed to assess the validity and reliability of the Output Sport, an inertial measurement unit (IMU), through comparisons with a force plate for research purposes. A repeated measure test-retest study was performed. Reliability was assessed during single-session trials (i.e., intrasession reliability). A total of 34 national/university level athletes (13 females, 21 males) performed three drop jumps with a fall from 30 cm while both devices recorded ground contact time (GCT), flight time (FT), jump height (HJ), and reactive strength index (RSI). T-tests demonstrated that data collected from the IMU device were significantly different to the force platform for all reported variables (all  $p < 0.01$ ). The intraclass correlation coefficients (ICC) demonstrated good-to-excellent reliability, but with a large range of confidence intervals (CI 95%) for GCT (0.825, 0.291–0.930), FT (0.928, 0.756–0.958), HJ (0.921, 0.773–0.964), and RSI (0.772, 0.151–0.907). The Bland-Altman test showed that the device overestimated contact times and underestimated the other variables. Upon landing, greater ground contact times (i.e.,  $\geq 0.355$ ms) were associated with higher reliability. These results suggest that a single IMU can be used to track changes somewhat accurately and reliably in jump metrics, especially when the GCT is greater than 0.355ms. It is recommended that before practitioners and trainers use the device as a cost-effective solution in the field, further research should be carried out to evaluate a range of data on the type of exercise to be performed.

## KEYWORDS

accelerometer, jump height, ground contact time, flight time calculation, reactive strength index, inertial measurement unit, plyometric exercise

## PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS



**EUROPEAN COLLEGE OF  
SPORT SCIENCE**

### EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE

Am Sportpark Müngersdorf 6  
50933 Cologne

GERMANY

VAT-ID: DE251715668 - St.Nr.: 223/5905/0216

register of associations: VR12508

Cologne, 20.08.2023 - 23:50:10

## Confirmation of Presentation

This is to certify that the following title has been presented at the 28th Annual Congress of the European College of Sport Science between 4 - 7 July 2023 in Paris - France.

Raynier Montoro

UC: Universidade de Coimbra  
Rua de Alecrim 41. Primer Andar EQ. Rio  
2635-269 Lisboa, Portugal

Abstr.-ID: 1627, Presentation format: Poster, Session name: CP-AP16 - Resistance Training I

Title: SPATIOTEMPORAL DIFFERENCES ASSOCIATED WITH VERTICAL AND HORIZONTAL JUMPS IN ELITE ATHLETES.

Authors: Montoro-Bombú, R., Miranda-Oliveira, P., Santos, A., Rama, L.

Institution: UC: Universidade de Coimbra

Presentation date: 06.07.2023, 18:00, Lecture room: Hall Bordeaux, No: 5

European College of Sport Science

This document has been created digitally and is valid without a signature

The ECSS is a non-profit organisation dedicated to Sport Science.  
Copyright © 2023 European College of Sport Science, All Rights Reserved.

Supported by SporTools GmbH - Datamanagement in Sports



Certifica-se que

## Certificado

**Raynier Montoro**

esteve presente, como participante no XIX Congresso de Ciências do Desporto e Educação Física dos Países de Língua Portuguesa que decorreu em Coimbra, nos dias 26, 27 e 28 de janeiro de 2023.

Coimbra, 28 de janeiro de 2023

CONGRESSO INTERNACIONAL

Vasco Vaz  
Presidente do Congresso



## 2022 NACACTFCA VIRTUAL CONGRESS IN ATHLETICS

# RAYNIER MONTORO BOMBÚ

Thank you for your Contributions to the 2022 Virtual Congress of the North American,  
Central American, and Caribbean Track & Field Coaches Association

DECEMBER 16-17, 2022



*Victor López*

Victor López, President  
NACACTFCA

*Richie Mercado*

Richie Mercado, Secretary  
NACACTFCA

# Certificate



WORLD  
CONGRESS  
ON SCIENCE  
AND SOCCER  
15, 16 & 17 JUN, 2022  
COIMBRA, PORTUGAL

*We hereby certify that*

**Raynier Montoro Bombú**

*has participated in World Congress on  
Science and Soccer 2022 held at Coimbra,  
Portugal from 15, to 17 June 2022.*

António Figueiredo

WCSS2022, Chair

1290 UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Coimbra, 17 June 2022



X CONGRESSO  
DA SOCIEDADE  
PORTUGUESA DE  
BIOMECÂNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que:

**Raynier Montoro-Bombu**

esteve presente no X Congresso da Sociedade Portuguesa de Biomecânica que decorreu na Figueira da Foz, nos dias 5 e 6 de maio de 2023.

SPB SOCIEDADE  
PORTUGUESA  
DE BIOMECÂNICA

P<sup>1</sup>a Comissão Organizadora

Ana Amaro

Luís Roseiro



**unl**

Educación  
Continua

## Confiere el siguiente **Certificado**

A:

*Raynier Montoro*

Por su participación en calidad de expositor en el **Primer Congreso Internacional de Actividad Física y el Deporte**, organizado por la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte de la Universidad Nacional de Loja, modalidad en línea, el 24 de mayo de 2022, con la temática: Avances científicos del entrenamiento pliométrico en el deporte de altas competencias.

Loja, 28 de junio de 2022.



Firmado electrónicamente por:  
**NIKOLAY ARTURO  
AGUIRRE MENDOZA**

**PhD. Nikolay Aguirre**  
RECTOR  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA



Firmado electrónicamente por:  
**YOVANY  
SALAZAR**

**Ph.D. Yovany Salazar Estrada**  
DECANO DE LA FACULTAD DE LA EDUCACIÓN,  
EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA



Firmado electrónicamente por:  
**WILSON GERARDO  
ALCOSER SALINAS**

**Abg. Wilson Alcoser Salinas**  
SECRETARIO GENERAL  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA



# CERTIFICADO

a: *Mgtr. Raynier Montoro Bombú*

Por haber participado en calidad de **EXPOSITOR**, en el módulo de **MATVEIEV**, de la certificación de "Sistemas de Planificación Deportiva", desarrollada desde el 16 de mayo hasta el 05 de junio del presente año, con un total de 3 horas, impartiendo los conocimientos que fortalecerán al deporte formativo del país.

Guayaquil, 05 de junio del 2022

  
ABG. JOSÉ AREVALO SANTANA  
PRESIDENTE





MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CUBA.  
UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN E INCUBA DEPORTES MUNDIAL.

**CERTIFICAN**

**A: MsC. Raynier Montoro Bombú.**

Por haber participado como Disertante en el 3er Congreso Mundial en Ciencias de la Educación Física, el Deporte y la Recreación. Con la Conferencia Especial: "Tendencias actuales de la investigación pliométrica en atletas de alta calificación: Un enfoque desde la velocidad y los saltos en atletismo".

Coordinado desde el Estado de Veracruz, México; a los 4 días del mes de septiembre de 2022.

DR. C. FERNANDO QUEVEDO AMADOR  
DIRECTOR EJECUTIVO DE  
INCUBADEPORTES A. C.

DR. C. MICHEL ALBERTO PÉREZ  
GARCÍA  
DECANO UNIVERSIDAD DE  
HOLGUÍN



FOLIO 0013



[www.incubadeportes.org](http://www.incubadeportes.org) [facebook.com/incubadeportes](https://www.facebook.com/incubadeportes) [instagram.com/incubadeportes](https://www.instagram.com/incubadeportes) [youtube.com/channel/UC...](https://www.youtube.com/channel/UC...) [linkedin.com/company/incubadeportes](https://www.linkedin.com/company/incubadeportes) [tiktok.com/@incubadeportes](https://www.tiktok.com/@incubadeportes)



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**2<sup>a</sup>** Convención Mundial  
de Ciencias de la Actividad  
Física y Deporte 2022 **CPLED**



Colegio Profesional de  
Licenciados en  
Entrenamiento Deportivo

El Colegio Profesional de Licenciados en Entrenamiento Deportivo con registro F-431 ante la Dirección General de Profesiones, dependencia de la SEP otorgan el presente

## RECONOCIMIENTO

al

**MTRO. RAYNIER MONTORO BOMBÚ**

por su conferencia

**EL ENTRENAMIENTO PLIOMÉTRICO:  
COMPRENSIÓN DE UN ENFOQUE  
CONTEMPORÁNEO**

**2da Convención de Ciencias de la Actividad  
Física y Deporte 2022**

realizado en línea del 14 al 19 de marzo de 2022



**Mtro. Salvador Muñoz Gutiérrez**  
Presidente del CPLED



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE  
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA  
DE TECNOLOGÍA

Confiere el presente

## CERTIFICADO

A Raynier Montoro Bombú

Por su excelente desempeño como **revisor de la Revista Vínculos** en el I Congreso Internacional del Departamento de Ciencias Humanas y Sociales.



1922  
Ecuador  
PATRICIO  
XAVIER MOLINA  
SIMBAÑA

Sangolquí, 8 de enero de 2021

Tcn. IGEO. Patricio Xavier Molina Simbaña, Ph. D.  
Vicerrector de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología







# Certifica

A. **Mgs. Reynier Montoro**

Por haber participado como **EXPOSITOR** de la conferencia Incidencia de la Pilometría en el Entrenamiento Deportivo virtual y presencial el **IX CONGRESO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN FÍSICA, DEPORTES, RECREACIÓN Y CIENCIAS A FINES**, "Ámbitos de Intervención y Promoción del Ejercicio Físico Nuevas Tendencias" del 5 al 14 de mayo del 2023, con una duración de 60 horas académicas, según Codificación: **IX-CIED&R-RE-2023**

**Unach**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

**PEDAGOGÍA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE**  
Dirección

Mgs. Susana Paz Viteri  
DIRECTORA DE CARRERA DE PEDAGOGÍA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE UNACH

**Dr. Fabian Falconi Baguero**  
INTERVENTOR DE FEDERACIÓN DEPORTIVA DE CHIMBORAZO FDCH

**Mgs. Henry G. ...**  
PRESIDENTE COLPRAFYDCH

