



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

NÚCLEO DE TEORIA E PESQUISA DO COMPORTAMENTO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E COMPORTAMENTO

**VALIDAÇÃO E REPLICABILIDADE DE MEDIDAS ACELEROMÉTRICAS PARA  
IDENTIFICAÇÃO DAS FASES DO SALTO DE CONTRAMOVIMENTO**

Efraim Alexandre Barreto Dias

Belém, Pará

2023

**EFRAIM ALEXANDRE BARRETO DIAS**

**VALIDAÇÃO E REPLICABILIDADE DE MEDIDAS ACELEROMÉTRICAS PARA  
IDENTIFICAÇÃO DAS FASES DO SALTO DE CONTRAMOVIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Neurociências e Comportamento, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza

Coorientador: Anselmo de Athayde Costa e Silva

Belém, Pará

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
UFPA/Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento/Biblioteca

---

- D541v Dias, Efraim Alexandre Barreto,  
Validação e replicabilidade de medidas acelerométricas para  
identificação das fases do salto de contramovimento / Efraim  
Alexandre Barreto Dias. — 2023.  
42 f.: il.  
Orientador: Givago da Silva Souza  
Coorientador: Anselmo de Athayde Costa e Silva  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de  
Teoria e Pesquisa do Comportamento, Programa de Pós- Graduação  
em Neurociência e Comportamento, Belém, 2023.
1. Análise do comportamento. 2. Movimento humano. 3.  
Acelerômetro (avaliação). 4. Sensores inerciais (monitoramento). 5.  
Salto contramovimento. 6. Eletromiografia. I. Título.

CDD - 23. ed. — 150.77

---

Catálogo na fonte: Maria Célia Santana da Silva – CRB2/780

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

Efraim Alexandre Barreto Dias, Programa de Pós-Graduação em Neurociência e Comportamento da Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil.

Contato: Efraim Alexandre Barreto Dias

E-mail: [efraimbarreto@gmail.com](mailto:efraimbarreto@gmail.com)

EFRAIM ALEXANDRE BARRETO DIAS

**VALIDAÇÃO E REPLICABILIDADE DE MEDIDAS ACELEROMÉTRICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS FASES DO SALTO DE CONTRAMOVIMENTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Neurociência e Comportamento, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Neurociência e Comportamento.

**Comissão Examinadora:**

---

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Givago da Silva Souza (UFPA)

---

Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Anselmo de Athayde Costa e Silva (UFPA)

---

Membro 1: Prof<sup>o</sup>. Dr. Bruno Duarte Gomes (UFPA)

---

Membro 2: Profa. Dra. Bianca Callegari (UFPA)

---

Membro 3: Dr. André dos Santos Cabral (UEPA)

**Resultado: Aprovado**

Belém, Pará

2023

**Termo de Autorização e Declaração de Distribuição não exclusiva para Publicação Digital no Repositório Institucional da UFPA**

**IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR E DA OBRA**

Autor: Efraim Alexandre Barreto Dias  
Vínculo com a UFPA: ( ) Servidor; (X) Discente  
Unidade: Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento  
Sub Unidade: Programa de Pós-Graduação em Neurociência e Comportamento  
Tipo do documento: ( ) Tese; (X) Dissertação; ( ) Livro; ( ) Capítulo de Livro; ( ) Artigo de Periódico; ( ) Trabalho de Evento; ( ) Outro. Especifique: \_\_\_\_\_  
Título do Trabalho: Validação e replicabilidade de medidas acelerométricas para identificação das fases do salto de contramovimento  
Data da Defesa: 20/09 /2023      Área do Conhecimento: Neurociência e Comportamento  
Agência de Fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA**

O referido autor: Efraim Alexandre Barreto Dias  
Declaro que o documento entregue é seu trabalho original, e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declaro também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.  
Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declaro que obtive autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à Universidade Federal do Pará os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros, está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo entregue.  
Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal do Pará, declaro que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO**

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a UFPA a disponibilizar de acordo com a licença pública Creative Commons Licença 3.0 Unported, e de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra citada, conforme permissões abaixo por mim assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou download, a partir desta data.

Permitir o uso comercial da obra?

(X) Sim

( ) Não

Permitir modificações em sua obra?

(X) Sim, contanto que compartilhem pela mesma licença

( ) Não

O documento está sujeito ao registro de patente?

(X) Sim

( ) Não

A obra continua protegida conforme a Lei de Direito Autoral.

Belém (PA), 11/12 /2023

*Efraim Alexandre B. Dias*

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos do Autor

Dias, E. A. B. (2023). Validação e replicabilidade de medidas acelerométricas para identificação das fases do salto de contramovimento. Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento, Belém: Universidade Federal do Pará. 42 páginas.

## RESUMO

Atualmente, as técnicas utilizadas na análise do movimento têm evoluído quanto ao armazenamento e processamentos de dados, indispensáveis para compreensão de parâmetros do movimento. No estudo do movimento, o salto vertical, está presente em diversas modalidades esportivas. Nesse sentido, a avaliação do salto tem sido classicamente realizada utilizando plataforma de força. Contudo, a plataforma de força apresenta um alto custo e por esse motivo, novas possibilidades têm sido levantadas para tentar baratear a avaliação do salto. Uma delas são as unidades de medição inerciais, como os acelerômetros comerciais, denominados de sensores inerciais, capazes de analisar o movimento e poder descrever o movimento. O objetivo desta dissertação é avaliar a validação e replicabilidade de um acelerômetro comercial para medir os intervalos relacionados com as fases do salto vertical de contramovimento (CMJ). Foram avaliados 15 participantes com idade entre 18-40 anos. O teste consistiu na execução do salto vertical de contramovimento, analisados em sensores inerciais e plataforma de força. Através da plataforma de força foram identificadas as fases do CMJ. Através do sensor inercial foi buscado identificar os componentes transitórios acelerométricos que possam ser usados para identificar as fases do salto determinadas pela plataforma de força. Para cada componente transitório acelerométrico, foi identificado quanto tempo deste componente. Foi usada análise de Bland-Altman e correlação linear para validar os resultados obtidos com o acelerômetro e o coeficiente de correlação intraclasse para avaliar a replicabilidade da plataforma e do acelerômetro para realizar as medidas relacionadas às fases do CMJ. Foi observado que houve alta correlação entre as medidas acelerométricas e da plataforma de força, no entanto houve um viés significativo para a medida de duração do tempo de voo medido pelo acelerômetro, sendo este mais longo que o medido pela plataforma de força. Ambos os equipamentos apresentaram moderada a alta replicabilidade para todas as medidas realizadas. O acelerômetro mostrou-se um equipamento válido e replicável para a identificação das diferentes fases do CMJ.

**Palavras-chave:** Salto vertical; salto de contramovimento; Sensores inerciais; Plataforma de força; Eletromiografia, Movimento humano.

Dias, E. A. B. (2023). Validation and replicability of accelerometric measurements to identify the phases of the countermovement jump. Postgraduate Program in Neurosciences and Behavior, Belém: Federal University of Pará. 42 pages.

## **ABSTRACT**

Currently, techniques used in motion analysis have evolved in terms of data storage and processing, which are essential for understanding movement parameters. In the study of movement, vertical jump is present in various sports modalities. In this regard, the assessment of vertical jump has traditionally been performed using a force platform. However, force platforms come with a high cost, and for this reason, new possibilities have been explored to make vertical jump assessment more affordable. One of these alternatives is the use of inertial measurement units, such as commercial accelerometers, capable of analyzing and describing movement. The objective of this dissertation is to evaluate the validation and replicability of a commercial accelerometer for measuring intervals related to the phases of the countermovement vertical jump (CMJ). Fifteen participants aged between 18-40 years were evaluated. The test involved performing the countermovement vertical jump, which was analyzed using inertial sensors and a force platform. The force platform identified the phases of CMJ, while the inertial sensor aimed to identify the transient accelerometric components that could be used to identify the jump phases determined by the force platform. For each transient accelerometric component, the duration of this component was identified. Bland-Altman analysis and linear correlation were used to validate the results obtained with the accelerometer, and the intraclass correlation coefficient was used to assess the replicability of both the platform and the accelerometer for measuring CMJ-related phases. It was observed that there was a high correlation between the accelerometric measurements and the force platform measurements; however, there was a significant bias in the measurement of flight time by the accelerometer, which was longer than that measured by the force platform. Both devices showed moderate to high replicability for all measurements taken. The accelerometer proved to be a valid and replicable device for identifying the different phases of CMJ.

**Keywords:** Vertical jump; Countermovement jump; Inertial sensors; Force platform; Electromyography, Human movement.



## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Fases do CMJ obtidas por plataforma de força. Peso corporal (entre 0 e A). Fase de redução de peso (entre A e B). Fase de frenagem (entre B e D). Fase de propulsão (entre D e G). Fase de Vôo (entre G e I). Fase de pouso (1). Adaptado de Chavda et al. (2018) .....	13
<b>Figura 2</b> Dados do acelerômetro adquiridos durante a execução do CMJ. Linha azul (X). Linha verde (Y). Linha vermelha (Z). Adaptado de Milosevic & Farel (2015). .....	18
<b>Figura 3</b> Forma de onda obtida descrevendo a variação da força sobre a plataforma de força e a variação inercial usando o acelerômetro durante a execução do CMJ. ....	25
<b>Figura 4</b> Concordância para diferenças médias na fase de frenagem. A linha preta tracejada representa a linha de concordância. As linhas tracejadas em azul representam o intervalo de confiança de 95% (A). A linha tracejada em vermelho representa a linha de regressão (B). ....	26
<b>Figura 5</b> Concordância para diferenças médias na fase de Propulsão. A linha preta tracejada representa a linha de concordância. As linhas tracejadas em azul representam o intervalo de confiança de 95% (A). A linha tracejada em vermelho representa a linha de regressão (B). ....	27
<b>Figura 6</b> Concordância para diferenças médias na fase de Vôo. A linha preta tracejada representa a linha de concordância. As linhas tracejadas em azul representam o intervalo de confiança de 95% (A). A linha tracejada em vermelho representa a linha de regressão (B). ....	28

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Fases do CMJ .....	12
1.2 Validação do Acelerômetro para medir o salto .....	16
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>19</b>
<b>3 Objetivos .....</b>	<b>21</b>
3.1 Objetivo geral .....	21
3.2 Objetivos específicos .....	21
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
4.1 Considerações éticas .....	22
4.2 Ambiente de coleta de dados .....	22
4.3 Participantes .....	22
4.4 Procedimentos .....	23
4.5 Análise dos Dados .....	24
4.6 Estatística .....	24
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
5.1 Descrição das formas de onda obtidas durante o salto de contramovimento usando a plataforma de força e o acelerômetro.....	25
5.2 Validação do acelerômetro para identificação das fases do salto.....	26
5.3 Avaliação da replicabilidade da plataforma de força e do acelerômetro para identificação das fases do salto.....	29
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A biomecânica se baseia em análises que investigam as ações de forças internas e externas ao corpo humano, responsável pela produção motora controlada pelo sistema nervoso. As informações obtidas nesse campo são frutos de elementos da morfologia, cibernética e mecânica, podendo assim ser considerada uma indispensável ferramenta para o conhecimento científico do movimento, tendo aplicação em áreas do desporto, indústria e saúde (Abrantes, 2008; Lu & Chang, 2012).

Atualmente, as técnicas utilizadas no estudo do movimento apresentam notável melhoramento nos processos de medição, armazenamento e processamentos de dados para análise motora, indispensáveis para compreensão de parâmetros do movimento humano, reforçando assim, que o conhecimento biomecânico é um importante meio para o diagnóstico complementar do movimento (Amadio et al., 1999; Halilaj et al., 2018).

No estudo do movimento, o salto vertical, por estar presente em diversas modalidades esportivas, tem sido amplamente investigado para avaliação de desempenho de atletas, explicando variáveis que determinam performances e para o estabelecimento de referencial teórico mais amplo que busca um entendimento mais completo deste movimento (Samozino et al., 2014; Ugrinowitsch & Barbanti, 1998). Classificado como uma ação multi-articular, onde é exigido produção de força explosiva, ou seja, capacidade de realizar força num curto período de tempo, potência e coordenação, em geral, pode ser um meio de potencializar as capacidades motoras mais complexas (Cruz, 2003; Harman et al., 1991).

Dessa forma, para o estudo do salto vertical, é comumente utilizada a técnica de execução denominada de salto de contramovimento, do inglês *countermovement jump* (CMJ), o qual é um

salto vertical a partir do agachamento, uma ação básica utilizada em diversas modalidades e situações desportivas, com o objetivo de desenvolver potência, que é executado a partir da posição em pé, mãos posicionadas na cintura, para diminuir o movimento de braços durante o salto, os pés paralelos com um afastamento confortável, seguido do movimento de abaixamento e de rápida extensão do membro inferior, cujo objetivo é atingir a maior altura possível, não é permitido um novo abaixamento do centro de gravidade (CG), sendo o movimento apenas ascendente (Beattie et al., 2017; Bobbert & van Soest, 2001). Dessa forma, este tipo de impulsão depende de fatores como, contração muscular, trabalho muscular, velocidade e intensidade da ação (Samozino et al., 2008).

Dentre as informações obtidas da análise do movimento CMJ, estão, (i) aspectos de natureza biomecânica, (ii) participação muscular, onde mostram quais os grupos musculares ativados e qual a ordem de ativação; (iii) avaliação de força, identificando o nível de força rápida do sujeito; (vi) potência muscular, avaliando parâmetros de performance; e (v) força reativa, aferindo a velocidade da produção de reação concêntrica (Dayne, et al., 2011; Beattie et al., 2017; Bobbert & Van Soest, 2001; Martins, 2014).

A avaliação do salto tem sido classicamente realizada utilizando dispositivos de medição como a plataforma de força e sistemas de eletromiografia, onde ambos são considerados adequados e altamente eficientes para as estimativas de desempenho de salto vertical e amplamente utilizado nas análises de CMJ (de Assis Voltolini, 2017; Cronin, et al., 2004; Marques & Izquierdo, 2014; Martins, 2014).

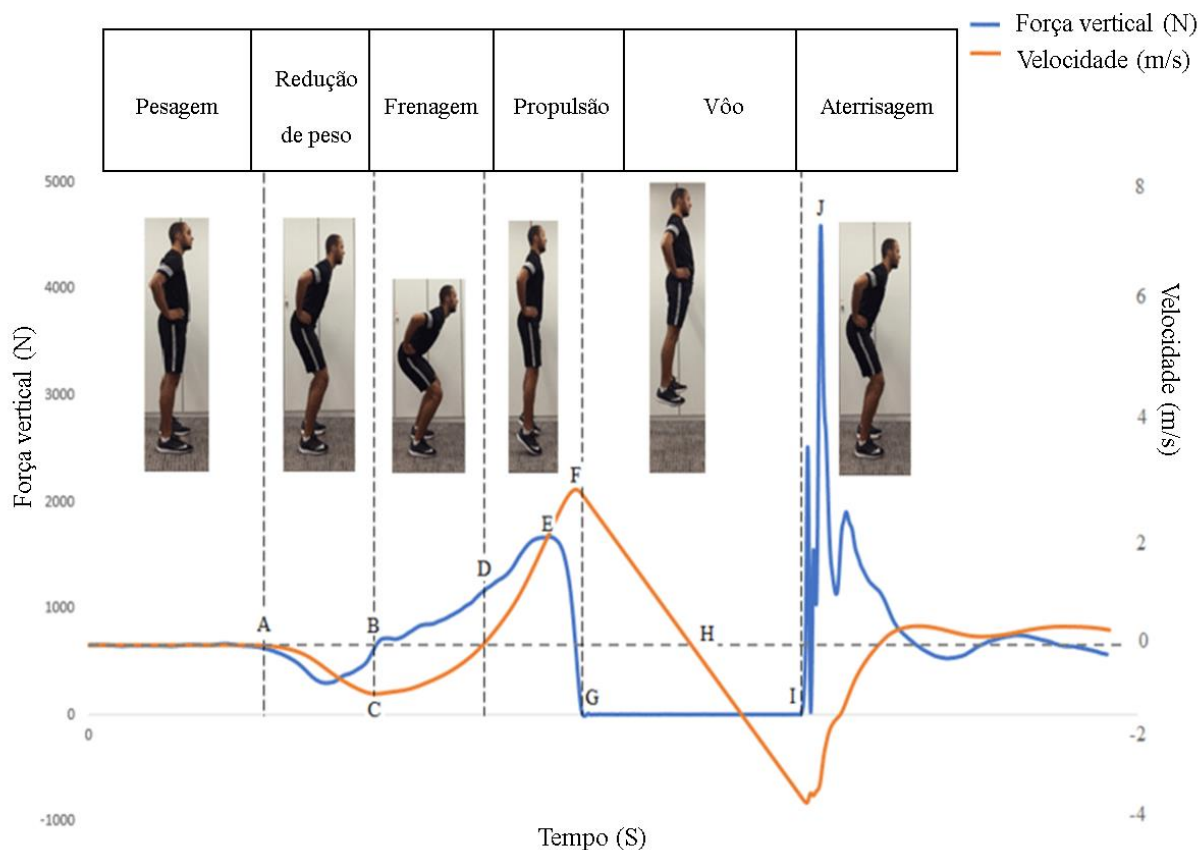
A plataforma de força é estruturalmente composta por duas superfícies rígidas sobrepostas e interligadas por sensores de força, existem algumas variações quanto ao número e posicionamento dos sensores, sendo que a plataforma retangular de quatro sensores é comumente

a mais utilizada nos estudos do movimento (Barela & Duarte, 2011). A eletromiografia de superfície (EMG) é uma técnica amplamente utilizada que fornece informações sobre os padrões de ativação muscular e sobre como o sistema nervoso exerce controle no movimento humano, desse modo, tem sido constantemente utilizada nos estudos de movimento (Kronbauer et al., 2013).

Especificamente os estudos que envolvem o CMJ utilizando a plataforma de força procuram investigar, como no estudo de Barker et al. (2018), relações de força, altura e tempo de voo, correlacionando essas variáveis com as fases do salto, descritas como, descarga, excêntrica, amortização e concêntrica. Da mesma forma, no trabalho realizado por Jiménez-Reyes et al. (2017) foi demonstrado que a plataforma de força é válida e confiável para analisar além de força, velocidade e potência durante o salto de CMJ. Além disso, nos estudos que buscam comparar diferentes dispositivos para avaliar a ferramenta mais conveniente no CMJ, a plataforma de força é apresentada como o padrão-ouro sendo possível através dos dados obtidos por esse equipamento, obter informações para cálculos de diferentes métodos que podem ser utilizados em homens e mulheres (Moir et al., 2008; Rago et al., 2018).

### **1.1 Fases do CMJ**

Como visto na literatura, são comumente identificadas seis fases no CMJ classificadas como, pesagem, redução de peso, frenagem, propulsão, voo e pouso (Figura 1). As fases descritas podem ser determinadas a partir da curva força-tempo, obtida com plataforma de força (McMahon et al., 2018).



**Figura 1** Fases do CMJ obtidas por plataforma de força. Peso corporal (entre 0 e A). Fase de redução de peso (entre A e B). Fase de frenagem (entre B e D). Fase de propulsão (entre D e G). Fase de Voo (entre G e I). Fase de pouso (1). Adaptado de Chavda et al. (2018)

O CMJ tem início com a fase de pesagem, que é considerado o ponto de partida da coleta de dados, nesta fase o sujeito é orientado a se posicionar em pé sobre a plataforma de força, e em seguida se manter o mais estático possível até receber o comando para o salto. O objetivo nessa etapa, além do cálculo do peso corporal é obter um limiar para determinar o início do movimento. Segundo Pérez-Castilla et al. (2019) é uma questão metodológica relevante o ponto de início da análise do salto medido a partir da plataforma de força, conforme citado em sua investigação, pode ser realizado de duas maneiras, analisando manualmente o sinal de força-tempo ou automaticamente, que considera um desvio padrão da fase de pesagem quando o sujeito está parado.

Na fase denominada de redução de peso, desponderação ou descompensação marca o início do movimento onde irá ocorrer a flexão dos joelhos e quadril, acompanhado de uma inclinação da coluna. Nesta fase ocorre a redução da força vertical abaixo no limiar de peso corporal e chega ao final quando o peso corporal é atingido novamente. Uma pesquisa observou que a redução do limiar de 2,5% do peso corporal é o método mais adequado para a análise do início do movimento, considerando que limiares de início maiores como 5 e 10% podem acarretar na perda do sinal comprometendo as análises das fases subsequentes (Meylan et al., 2011).

A fase de frenagem também chamada de fase de alongamento ou excêntrica começa no final da fase de redução de peso e termina quando a velocidade do centro de massa é igual a zero, especificamente é o momento onde ocorre a parte mais profunda do agachamento seguido de uma pausa momentânea na parte inferior do contramovimento. No estudo de Harry et al. (2020) foi proposto que a fase excêntrica deve ser dividida em duas subfases, uma denominada de rendimento excêntrico, onde ocorre uma aceleração para baixo, e a subfase de frenagem excêntrica, na qual ocorre uma ação de desaceleração para baixo. O trabalho sugere que a inclusão dessas subfases contribui para consistência metodológica em estudos do CMJ. É válido considerar também, que não é esperado quando se investiga o CMJ em plataforma de força que haja uma padronização do agachamento na fase excêntrica, visto que, tal fato poderia interferir na estratégia de salto natural dos participantes, porém a maneira em que ocorre o deslocamento do centro de massa nessa etapa contribui para obtenção de variáveis cinemáticas, como por exemplo, a velocidade no CMJ (McMahon et al., 2017).

A quarta fase é chamada de fase de propulsão ou concêntrica. Consiste na extensão dos joelhos, quadris e tornozelos para impulsionar verticalmente o centro de massa o que permite que a velocidade se torne positiva e chega ao fim quando o sujeito deixa a plataforma de força. Sole et

al. (2018) observou que existe uma relação que, em parte, já seria esperada entre a fase excêntrica e de propulsão, de modo que o impulso que ocorre na fase anterior é determinante para altura alcançada na fase subsequente. Em alguns estudos a forma de onda obtida por plataforma de força nessa fase é observada de duas maneiras, sendo elas classificadas com picos uni e bimodal, seguidas por um aumento das forças verticais do solo que atinge o ápice e diminui rapidamente na decolagem, dessa maneira, essas características podem indicar estratégias de saltos distintas (Guess et al., 2020).

A penúltima fase do CMJ é chamada de fase de vôo, onde o atleta deixa a plataforma de força para deslocar positivamente o seu centro de massa o máximo possível. Começa no instante da decolagem e termina no instante de aterrissagem. Para Chavda et al. (2017), é notório nesse momento a desaceleração do centro de massa por conta da ação da gravidade durante o voo, em seguida, o voo atinge seu ápice quando o saltador ainda no alto, atinge velocidade zero, ou seja, nesse exato momento não ocorre deslocamento nem para baixo e nem para cima, sendo esse ponto descrito como deslocamento de pico.

A última fase do CMJ é classificada como fase de pouso, em que é considerado o momento entre o instante de pouso e o instante em que o centro de massa é igual a zero. Nessa fase o sujeito absorve as forças flexionando os quadris, joelhos e tornozelos e assim alcança uma profundidade de agachamento confortável. Essa etapa também pode ser analisada em duas subfases classificadas como impacto e estabilização, a primeira é o instante entre a aterrissagem e o pico de força, a segunda é momento entre o pico de força e o deslocamento negativo do centro de massa (McMahon et al., 2018). O pouso no CMJ avaliado com plataforma de força apresenta dois picos de força, onde um ocorre devido ao impacto dos metatarsos e o outro ao impacto do calcâneo, sendo que



pode haver registros também um terceiro pico de força que está relacionado a flexão do tornozelo (Ortega et al., 2010).

## **1.2 Validação do Acelerômetro para medir o salto**

Devido a relevância do CMJ em análises de biomecânica, há um número crescente de ferramentas que têm sido desenvolvidas para proporcionar uma avaliação mais eficaz e confiável desse movimento (Nielsen et al., 2019). Nesse sentido, o acelerômetro destaca-se com uma alternativa viável, de fácil manuseio e baixo custo, que permite avaliação rápida e que é comumente utilizado em análises de ativação muscular de maneira geral, avaliações de lesões e de carga articular, além de fornecer dados para quantificar movimentos de impacto e desempenho de extremidades inferiores, como no caso do CMJ (Watkins et al., 2020).

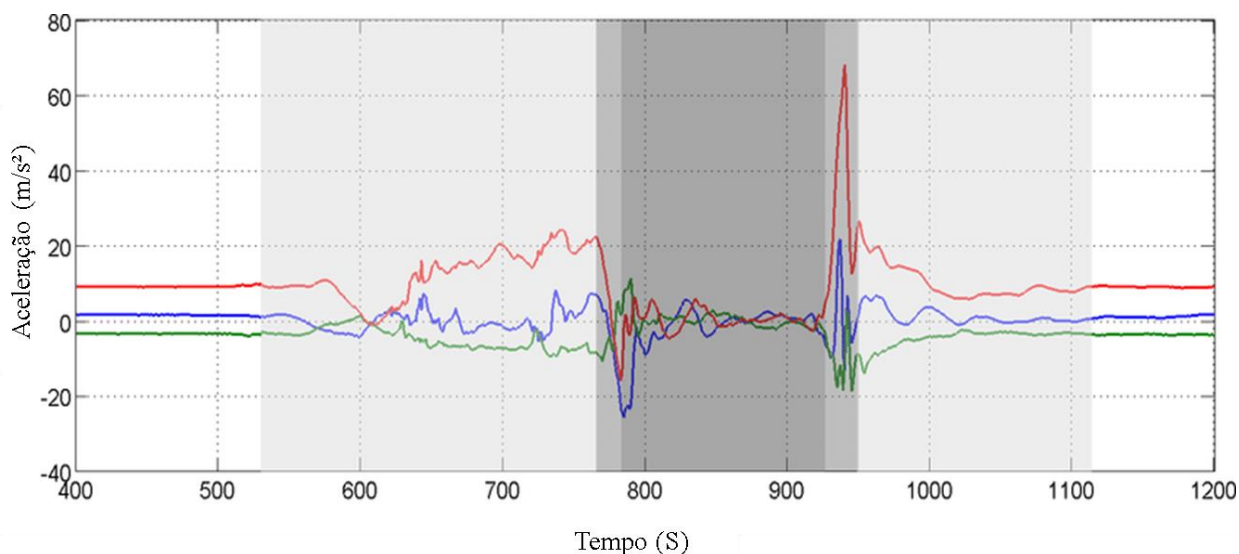
A validação do acelerômetro como método de avaliação do salto de contramovimento já vem sendo documentada em diversos trabalhos (Cabarkapa et al., 2022). Recentemente, as investigações de movimentos verticais com uso de acelerômetros confirmam essa validade quando se procura avaliar altura, velocidade e potência durante o CMJ (Costa et al., 2018; White et al., 2022). Com relação as estimativas de altura no salto, o uso de acelerômetros vestíveis é capaz de trazer resultados tão precisos quanto os obtidos através de plataforma de força, todavia para que esse resultado seja garantido se faz necessário que a posição do acelerômetro esteja alinhada com a direção vertical absoluta do corpo do indivíduo durante a execução do movimento (Picerno et al., 2011). Além disso, no estudo de Choukou et al. (2014), foi referido um alto nível de confiabilidade do sistema acelerométrico, com funcionabilidade autônoma, utilizado para aferir variáveis de altura no CMJ, com ele foi possível obter as mesmas medidas de altura em momentos diferentes do salto de maneira compatível com investigações anteriores, confirmando resultados

já descritos na literatura. Para Rantalainen et al. (2018) a utilização de acelerômetros foi classificada como excelente na avaliação que objetivou verificar a concordância altura de salto e medidas de potência dos membros inferiores em diferentes momentos do CMJ, em sua análise, na qual, novamente foi acatado o perfil de protocolo que inclui a plataforma de força para validar a confiabilidade do sistema acelerométrico.

Como relatado no estudo de Ferro et al. (2019), quando se analisa a velocidade no CMJ os sistemas acelerométricos também se mostram relevantes, sendo assim, em sua avaliação que teve por finalidade comparar o uso de tecnologias diferentes para extrair estimativas de velocidade máxima no CMJ, o acelerômetro utilizado foi capaz de medir adequadamente alterações de desempenho durante a aplicação do teste de CMJ. Garret et al. (2020), recentemente em seu trabalho mencionou que existem variáveis úteis que podem ser obtidas do CMJ, entre elas estão o fator velocidade, no entanto, é necessário ressaltar que, para que seja considerado verdadeiramente útil, a variável precisa ser suficientemente sensível para registro e de alta confiabilidade, o que foi demonstrado em trabalhos anteriores que durante testes que envolvem esforço físico, registros confiáveis podem ser obtidos através de acelerômetros.

Em um estudo realizado por Chien et al. (2022), foi referido um ponto de vista prático do uso do acelerômetro para se examinar movimentos verticais. No trabalho foi descrito que é possível se obter com uso acelerômetro padrões de força em diferentes fases do CMJ, além disso, a pesquisa também demonstrou que, a posição de fixação do aparelho deve ser considerada, de maneira em que, quando posicionado na parte superior inferior das costas, é possível se obter variáveis precisas durante o salto, tais quais as obtidas em plataforma de força. Segundo McHugh et al. (2018), os dados de força registrados por sensores iniciais que medem aceleração vertical durante o CMJ, foram registrados em concordância com a literatura e também foram eficientes na

descrição da recuperação muscular, sendo considerados importantes para monitorar o desempenho muscular, além de oferecer vantagens em relação a outros métodos, principalmente por serem dispositivos pequenos, portáteis e vestíveis. Além disso, uma pesquisa teve como objetivo principal examinar a confiabilidade e a validade de dispositivos comerciais portáteis utilizados em avaliações de salto, apontou algumas vantagens do acelerômetro, dentre as quais a precisão de forma mais rápida e acessível, e a utilização de algoritmos automáticos que são capazes de determinar decolagem e aterrissagem, destacando que os pesquisadores devem estar cientes da validade do aparelho e da sua conveniência na avaliação do salto (Watkins et al., 2020).



**Figura 2** Dados do acelerômetro adquiridos durante a execução do CMJ. Linha azul (X). Linha verde (Y). Linha vermelha (Z). Adaptado de Milosevic & Farela (2015).

A normalização do tempo pode ser útil para avaliar o desempenho, pois variáveis temporais se correlacionam fortemente com as fases que compõe o CMJ, (Figura 2) no ciclo do salto como um todo, além disso, devido ao fato de que, durante a execução do salto ocorrer armazenamento de energia e produção de força, comumente a variáveis temporais são descritas com a determinação de uma curva força-tempo (Barker et al., 2018; McMahon et al., 2018; Krzyszkowski et al., 2022;

Sarvestan et al., 2018). Algumas investigações propõe o uso de acelerômetros montados no corpo para buscar melhorias na conformidade com a plataforma de força, os dados que são obtidos pela plataforma, de maneira geral, são comparados com os sinais provenientes de acelerômetros, metodologia amplamente utilizada em pesquisas de CMJ (Rantalainen et al., 2018; Chien et al., 2022)

Sendo assim, a partir de dados acelerométricos o tempo de duração das fases pode ser estimado no CMJ, métodos têm sido desenvolvidos para detectar esses registros temporais com mais precisão (Figura 2). Esses dados geralmente são extraídos a para detectar o intervalo entre decolagem e pouso (Monnet et al., 2014). No trabalho de Stanton et al. (2019), as variações temporais do CMJ foram parâmetros que contribuíram para estimar a altura alcançada no salto a partir do tempo de voo, em comparação da plataforma de força com acelerômetro.

## **2 JUSTIFICATIVA**

A plataforma de força apresenta um alto custo, ficando além das possibilidades financeiras de muitos laboratórios e centros de pesquisa, assim como também, ocorrem dificuldades quanto a deslocamento dos equipamentos, o que inviabiliza o uso em testes em campo, pois estes dispositivos são sensíveis a vibrações estranhas, portanto esses equipamentos devem ser montados em locais adequados, obedecendo às instruções do fabricante, para dessa maneira, garantir a integridade dos sinais capturados, sem que haja interferência nos dados (Cronin et al., 2004; Marques & Izquierdo, 2014).

Diante disso, novas possibilidades têm sido levantadas para tentar baratear a avaliação do salto, que incluem equipamentos portáteis, acessíveis e econômicos, que possam garantir a coleta

de informações biomecânicas válidas e confiáveis (Brooks et al., 2018). Uma dessas alternativas é a utilização de unidades de medição inerciais, onde estudos já mostram ser um meio confiável de investigação na avaliação do salto (Bogataj et al., 2020; Gallardo-Fuentes et al., 2016). O aprimoramento dessa tecnologia permitiu que o movimento humano fosse estudado em diversos ambientes, havendo apenas a necessidade do posicionamento em pontos adequados do corpo (Rodrigues, 2018).

Um exemplo efetivo desse tipo de ferramenta são os acelerômetros, sensores de movimento capazes de medir a variação do deslocamento que estiver ocorrendo, sendo assim, esses instrumentos permitem a captação de dados como aceleração, velocidade e posição, sendo utilizados em diferentes abordagens no estudo do salto vertical (Costa et al., 2018). Um exemplo de sua diversa abordagem é seu uso para estimativas de altura no CMJ, podendo ser colocado em diferentes partes do corpo para detectar tempos de decolagem e repouso com mais precisão (Cabarkapa et al., 2021; Monnet et al., 2014; Nielsen et al., 2019; Stanton et al., 2019). Em boa parte dos estudos os acelerômetros são utilizados para fazer relações de velocidade e força, tendo apresentado resultados consistentes e confiáveis (Ferro et al., 2019; García-Ramos et al., 2019; Pena Garcia-Orea et al., 2021).

Sendo assim, considerando que os dispositivos de acelerômetros são capazes de descrever os eventos inerciais relacionados à posição do corpo durante a execução de CMJ, a presente dissertação propõe avaliar a validação e replicabilidade dos acelerômetros para identificarem os marcos temporais das diferentes fases do CMJ.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Validar e avaliar a replicabilidade de um acelerômetro para identificar os marcos temporais das fases do CMJ.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Registrar as variações de força na plataforma de força durante o CMJ.
- Registrar as variações inerciais durante o CMJ.
- Identificar as fases do CMJ pelos sinais da plataforma de força.
- Identificar componentes transitórios dos sinais inerciais durante o CMJ e verificar a validação desses componentes.
- Avaliar a replicabilidade das medidas para as diferentes fases do CMJ pelos dois equipamentos.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Considerações éticas**

Este projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. Todos os procedimentos estão de acordo com a declaração de Helsinki e suas atualizações (World Medical Association, 2000).

### **4.2 Ambiente de coleta de dados**

Essa pesquisa foi realizada no Laboratório de Neurologia Tropical do Núcleo de Medicina Tropical e no Laboratório de Estudos do Movimento Humano do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Pará (UFPA).

### **4.3 Participantes**

Foram recrutados 15 participantes do sexo masculino. Levando em conta que nas análises de CMJ o gênero deve ser considerado, pois estudos indicam que homens e mulheres respondem diferente a execução do movimento (Bazett-Jones et al., 2008). Foram registados altura e peso corporal, em conformidade a pesquisas que mostram que observação dessas medidas deve ser considerada em pesquisas de salto verticais (Jiménez-Reyes et al., 2017).

Cada participante foi submetido a uma anamnese, onde foi realizado um levantamento de saúde geral dos participantes, que conste ausência de doenças cardíacas, respiratórias, problemas ósseos e lesões musculoesqueléticas nos últimos seis meses ou condicionamento físico que possa interferir nos testes.

#### 4.4 Procedimentos

Foi pedido a cada participante que realize 5 saltos de contramovimento. Foi mostrado aos participantes como devem executar os saltos e foi permitido que eles fizessem um salto de treino antes dos registros. Os participantes executaram a técnica denominada de CMJ, salto vertical de contramovimento, que é desenvolvido a partir da posição em pé, mãos posicionadas na cintura, para diminuir o movimento de braços durante o salto, os pés paralelos com um afastamento confortável, seguido do movimento de abaixamento e de rápida extensão do membro inferior, cujo objetivo é atingir a maior altura possível. Não foi permitido um novo abaixamento do centro de gravidade (CG), sendo o movimento apenas ascendente (Beattie et al., 2017; Bobbert & van Soest, 2001).

Antes de iniciar o experimento foi realizado um salto para poder sincronizar os registros dos sinais dos 2 equipamentos. O momento da aterrissagem do salto foi considerado como momento inicial dos registros da plataforma de força e do acelerômetro. Após 10 s do salto de sincronia, os 5 saltos de teste foram realizados em intervalos de 5 s.

Para o experimento houve a utilização simultânea de 2 instrumentos: plataforma de força e um sensor inercial. Foi utilizada a plataforma de força (Biomec400, EMG system do Brasil, São Paulo, Brasil) com aquisição de 100 Hz. Foi também utilizado um sensor inercial do modelo Metamotion C (25 mm de diâmetro x 4 mm de altura e 5,6 g, MbientLab, São Francisco, Estados Unidos da América), o qual tem um acelerômetro triaxial (modelo Bosch BMI 160, amplitude de resolução: 16 bits, faixa de trabalho:  $\pm 8$  g). O sensor foi fixado por uma cinta na coluna lombar próximo à vértebra L5. Um aplicativo (MbientLab, São Francisco, Estados Unidos da América) controlou o funcionamento do sensor inercial.



#### 4.5 Análise dos Dados

Os registros da plataforma de força e do sensor inercial foram exportados no formato de arquivo de texto para serem lidos por rotinas computacionais escritas em linguagem de programação MATLAB/OCTAVE. Sobre os sinais da plataforma de força e do sinal acelerométrico foram aplicados filtragem passa-baixa em 10 Hz, usando um filtro Butterworth de segunda ordem sem modificação da fase. Os sinais acelerométricos foram fundidos de acordo com a Equação 1:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \text{ (Equação 1)}$$

onde  $r$  é o vetor resultante e  $x, y$  e  $z$  são os vetores acelerométricos registrados nos eixos mediolateral, anteroposterior e superoinferior, respectivamente.

Foi realizada a identificação dos componentes do registro da plataforma de força relacionados com as fases do CMJ. Para cada componente foi registrado o valor do tempo do sinal. Em seguida, foram identificados os componentes transitórios do sinal inercial e a relação deles com as fases do salto identificados pelo registro da plataforma de força.

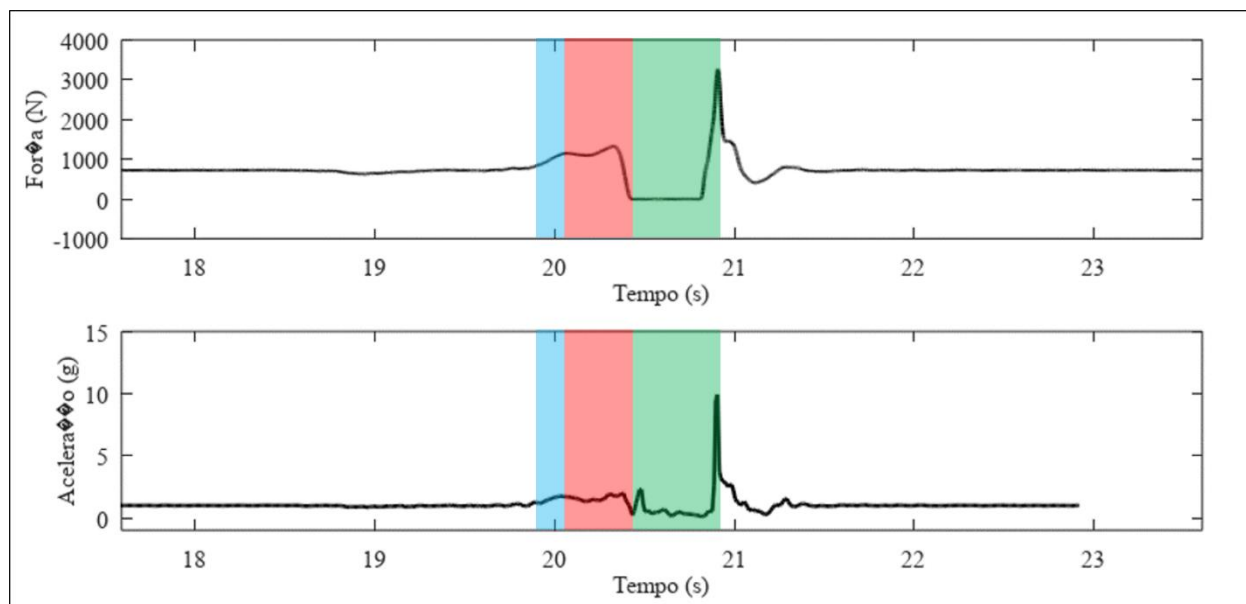
#### 4.6. Estatística

Foram realizadas análises de Bland-Altman para avaliar a concordância entre as medidas da plataforma de força e do acelerômetro. Foram calculados os vieses e os intervalos de concordância. Os vieses foram considerados significativo se o intervalo de confiança da diferença das medidas dos dois equipamentos não passasse pela diferença nula. Para avaliar a replicabilidade foi calculado o coeficiente de correlação intraclass. Em todas as análises foi considerado um nível de significância de 5%.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Descrição das formas de onda obtidas durante o salto de contramovimento usando a plataforma de força e o acelerômetro

A força aplicada à plataforma de força durante o salto de contramovimento mostra um aumento representando a fase de frenagem. Em seguida há a manutenção de uma deflexão positiva correspondente à fase de propulsão que termina com uma deflexão negativa referente ao início da fase do voo. Durante toda a fase do voo, a força aplicada à plataforma de força é igual a zero e ao final da fase do voo e marcação do momento da aterrissagem há um grande e rápido componente positivo. A Figura 3 mostra a forma de onda descrita anteriormente no painel superior.

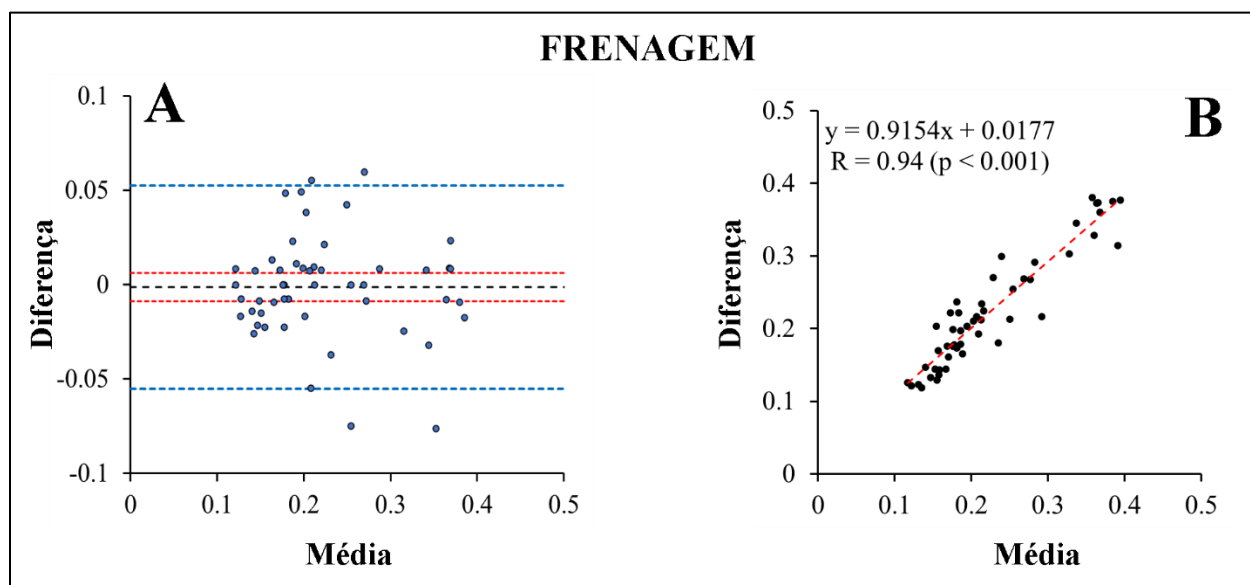


**Figura 3** Forma de onda obtida descrevendo a variação da força sobre a plataforma de força e a variação inercial usando o acelerômetro durante a execução do CMJ.

A Figura 3 também mostra a forma de onda das mudanças inerciais registradas pelo acelerômetro durante o salto de contramovimento (painel inferior). Assim como na onda descrita para a plataforma de força, a onda inercial também apresenta componentes transitórios que demarcam temporalmente as fases de frenagem, propulsão e voo.

## 5.2 Validação do acelerômetro para identificação das fases do salto

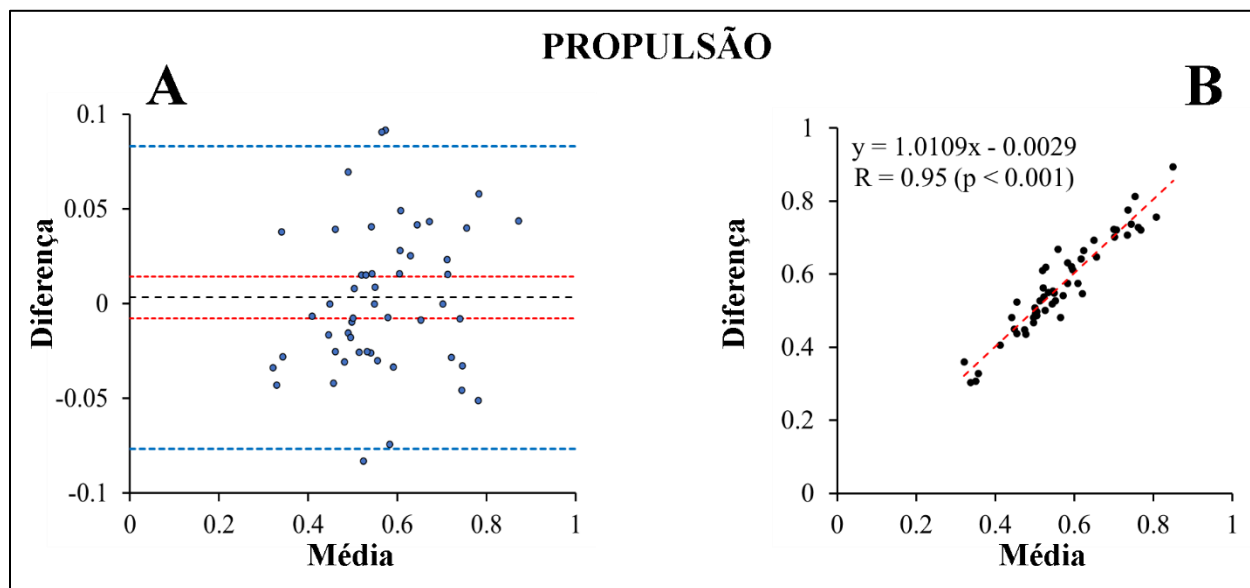
Com o intuito de validar a onda inercial como uma descritora dos eventos que ocorrem durante o vôo foi realizada uma análise de concordância e análise de correlação entre as medidas inerciais e da plataforma de força. Foram calculados os intervalos de duração das fases de frenagem, propulsão e vôo nos dois instrumentos.



**Figura 4** Concordância para diferenças médias na fase de frenagem. A linha preta tracejada representa a linha de concordância. As linhas tracejadas em azul representam o intervalo de confiança de 95% (A). A linha tracejada em vermelho representa a linha de regressão (B).

Na análise de Bland-Altman para a identificação da duração da fase de frenagem (Figura 4) foi observada a presença de um viés igual a  $-0,001$  segundos (limite de concordância superior =  $-0,052$  segundos, limite de concordância inferior =  $-0,055$  segundos). Foi observado que o viés não apresentou significância estatística, visto que o valor de viés igual a zero se encontra dentro do intervalo de confiança do viés (limite de confiança superior do viés =  $0,006$  segundos, limite de confiança inferior do viés =  $-0,008$  segundos). A comparação dos valores médios da duração da de frenagem do CMJ medidos pela plataforma de força e pelo acelerômetro não apresentou

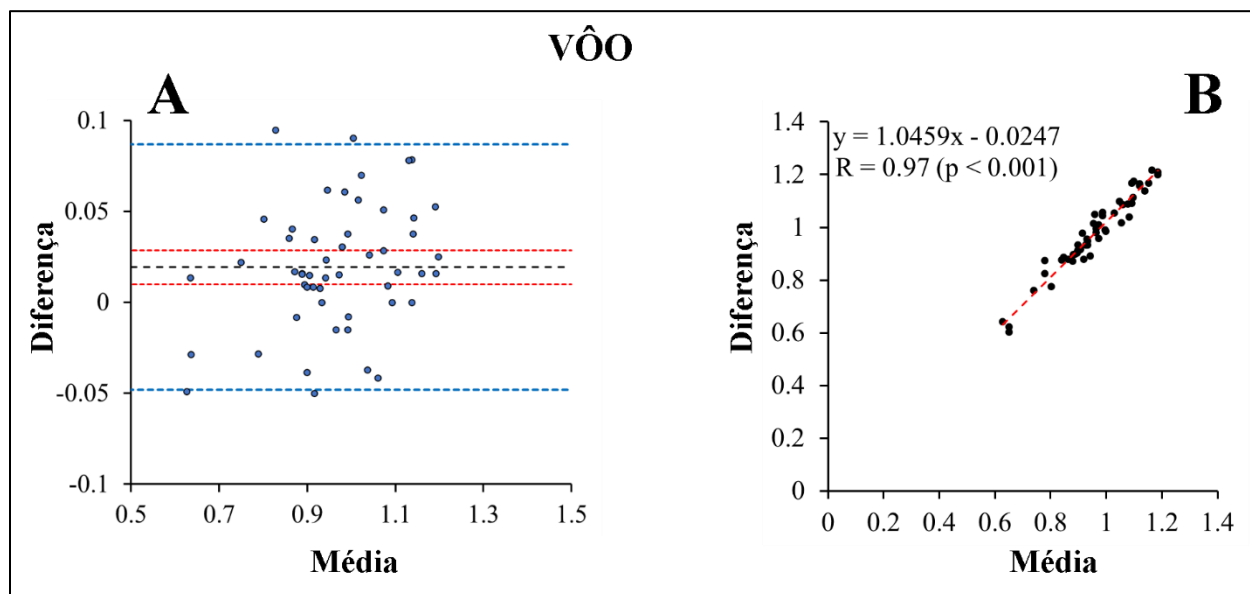
diferenças significativas (plataforma de força =  $0,224 \pm 0,08$  segundos, acelerômetro =  $0,2227 \pm 0,08$  segundos,  $p = 0,74$ ) e a correlação entre essas medidas teve coeficiente de correlação linear igual a 0,94 ( $p < 0,001$ ), indicando uma associação muito forte entre as duas medidas.



**Figura 5** Concordância para diferenças médias na fase de Propulsão. A linha preta tracejada representa a linha de concordância. As linhas tracejadas em azul representam o intervalo de confiança de 95% (A). A linha tracejada em vermelho representa a linha de regressão (B).

A análise de Bland-Altman para avaliar a concordância das medidas de duração da fase de propulsão (Figura 5) apresentou um viés igual a 0,003 segundos (limite de concordância superior = 0,083 segundos, limite de concordância inferior = -0,076 segundos). Tal como na fase de frenagem, foi observado que na fase de propulsão o viés não apresentou significância estatística, visto que o valor de viés igual a zero também se encontra dentro do intervalo de confiança (limite de confiança superior do viés = 0,014 segundos, limite de confiança inferior do viés = -0,007 segundos). Quando comparados os valores médios da duração da fase de propulsão medidos pela plataforma de força e pelo acelerômetro não foram observadas diferenças significativas (plataforma de força =  $0,56 \pm 0,12$  segundos, acelerômetro =  $0,57 \pm 0,13$  segundos,  $p = 0,56$ ) e a

correlação entre essas medidas teve coeficiente de correlação linear igual a 0,94 ( $p < 0,001$ ), indicando uma forte associação entre as duas medidas.



**Figura 6** Concordância para diferenças médias na fase de Vôo. A linha preta tracejada representa a linha de concordância. As linhas tracejadas em azul representam o intervalo de confiança de 95% (A). A linha tracejada em vermelho representa a linha de regressão (B).

Para a análise da duração da fase de vôo, a análise de Bland-Altman (Figura 6) mostrou a presença de um viés igual a 0,019 segundos (limite de concordância superior = 0,086 segundos, limite de concordância inferior = -0,048 segundos). Foi observado que o viés apresentou significância estatística, visto que o valor de viés igual a zero encontrou-se fora do intervalo de confiança (limite de confiança superior do viés = 0,028 segundos, limite de confiança inferior do viés = 0,009 segundos). Para a comparação dos valores médios da duração do vôo medidos pela plataforma de força e pelo acelerômetro foi observado diferenças significativas (plataforma de força = 0,957 +- 0,13 segundos, acelerômetro = 0,976 +- 0,13 segundos,  $p = < 0,0001$ ) e a correlação entre essas medidas teve coeficiente de correlação linear igual a 0,97 ( $p < 0,001$ ), indicando uma forte associação entre as duas medidas.

### 5.3 Avaliação da replicabilidade da plataforma de força e do acelerômetro para identificação das fases do salto

A Tabela 1 mostra os parâmetros quantitativos da análise de correlação intra-classe para a avaliação da replicabilidade de plataforma de força e do acelerômetro para a identificação das fases do salto de contra-movimento. A plataforma de força e o acelerômetro apresentaram fortes e significativas correlações intraclassa para todos os parâmetros avaliados.

Tabela 1. Análise de replicabilidade para as medições dos marcos temporais das diferentes fases do CMJ usando ambos os equipamentos.

Duração da fase	Plataforma de força	Acelerômetro
Frenagem	0,849 (0,55-0,95)*	0,719(0,27-0,90)*
Propulsão	0,801(0,44-0,90)*	0,819(0,48-0,94)*
Vôo	0,889(0,66-0,96)*	0,858(0,58-0,97)*

\*p < 0,001

**Tabela 1.** Avaliação da replicabilidade das medidas de duração das fases do salto de contramovimento. Os valores apresentados representam os coeficientes de correlação intraclassa (Limite de confiança inferior e superior)

## 6 DISCUSSÃO

A relevância do presente estudo se dá em virtude da validação do acelerômetro para a mensuração da duração das diferentes fases do CMJ. É o primeiro estudo a validar de fato os marcos temporais para essas 3 fases do CMJ. Considerando que nas áreas onde se estuda o movimento humano, pequenos detalhes de monitoramento se mostram de grande importância para um melhor diagnóstico e entendimento de caso (White et al., 2022), em sintonia com esse

entendimento, em nossa investigação foi posto que as medidas obtidas com o sistema utilizado estão em conformidade e apresentam fortes correlações com o padrão-ouro.

Nos estudos com acelerômetros voltados para descrição do de saltos verticais, em especial o CMJ, podemos observar que há um grande interesse nas investigações voltadas para altura de salto e estimativas de tempo, isso ocorre pelo fato de que essas variáveis oferecem informações importantes sobre o desempenho dos membros inferiores, tais como potência, força e recrutamento muscular (Moreno-Pérez et al., 2023; Kumar et al., 2023). Nesse contexto, o presente estudo apresenta semelhanças consideráveis em se tratando das medidas de duração das fases de voo com relação a estudos posteriores. Durante esse intervalo houve uma ótima correlação entre plataforma de força e acelerômetro. Entretanto é possível observar com clareza, que apesar das boas correlações encontradas, existe a ocorrência de viés significativo do acelerômetro apresentando durações maiores.

A presente dissertação ressalta a importância das fases de frenagem e propulsão do CMJ. Esses intervalos serão determinantes para o deslocamento vertical durante o salto, visto que nessas fases ocorre efetivamente a preparação para um dos principais momentos do salto que é a fase de voo, de modo que estudos indicam que as execuções ótimas nessas etapas proporcionam um melhor desempenho durante o salto (McMahon et al., 2017). No estudo de Picerno et al. (2011), o algoritmo utilizado interpretou sinais de obtidos de uma associação entre um acelerômetro 3D e um giroscópio 3D, que identificavam oscilações nos eixos verticais durante o salto. Essas oscilações foram suficientes para identificar as fases de frenagem e propulsão, devido ao movimento do quadril no CMJ, por outro lado, na fase de voo, houveram dificuldades na interpretação do sinal, devido ao fato de que, segundo o autor, durante esta fase, o acelerômetro continua a medir os movimentos oscilantes dos tecidos moles. Quagliarella et al. (2010) em sua

pesquisa avaliou o CMJ caracterizando o movimento em três fases, propulsão, voo e pouso. A investigação, assim como em nosso trabalho, se baseou nos dados de acelerômetros anexados ao corpo, portanto, a análise das fases de propulsão e pouso foram quantificadas e estabelecidas através do sinal do acelerômetro, enquanto que, na fase de voo, o algoritmo detectou medidas de tempo de voo, sendo possível, dessa forma, avaliar a estratégia motora e coordenação dos membros inferiores. Consideramos que os achados observados em nosso trabalho estão em concordância com estudos anteriores, visto que em nossas análises as etapas do CMJ onde o acelerômetro se mostrou mais válido foram justamente as fases de frenagem e propulsão, sendo possível extrair características e estimativas do movimento através de sinais de aceleração e tempo em que ocorre a movimentação.

A boa replicabilidade observada em nossos achados, está de acordo com estudos voltados aos saltos verticais. Ferro et al. (2019), foi constatado o teste feito por meio de coeficiente de correlação intraclasse (ICC) para medidas únicas e erro típico, apresentou alto nível de replicabilidade no CMJ, assim como em Stanton et al. (2019), que buscava aferir a altura do CMJ, as medidas obtidas foram significativas com relação a replicabilidade.

O acelerômetro mostrou-se um instrumento válido e replicável para avaliar as diferentes fases do CMJ comparado à plataforma de força. Os presentes resultados abrem a possibilidade para ampla utilização desse instrumento em diferentes campos de investigação do salto vertical.



## REFERÊNCIAS

- Abrantes, J. M. C. S. (2008). Fundamentos e elementos de análise em biomecânica do movimento humano. MovLab: *Universidade Lusófona de Lisboa*. Disponível em: <https://movlab.ulusofona.pt/wp-content/uploads/sites/202/2020/11/Fundamentos-e-Elementos-de-analise-edicao-2019.pdf>
- Amadio, A. C., Costa, P. H. L., Sacco, I. C. N., Serrão, J. C., Araújo, R. C., Mochizuki, L., & Duarte, M. (1999). Introdução à biomecânica para análise do movimento humano: descrição e aplicação dos métodos de medição. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 3(2), 41-54.
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (2018). Relationships between countermovement jump ground reaction forces and jump height, reactive strength index, and jump time. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(1), 248-254. [https://doi:10.1519/JSC.0000000000002160](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002160)
- Barela, A. M. F., & Duarte, M. (2011). Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana. *Brazilian Journal of Motor Behavior*, 6(1), 56-61.
- Bazett-Jones, D. M., Finch, H. W., & Dugan, E. L. (2008). Comparing the effects of various whole-body vibration accelerations on counter-movement jump performance. *Journal of sports science & medicine*, 7(1), 144.
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., & Kenny, I. C. (2017). The relationship between maximal strength and reactive strength. *International journal of sports physiology and performance*, 12(4), 548-553. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0216>
- Bobbert, M. F., & van Soest, A. K. (2001). Why do people jump the way they do? *Exercise and sport sciences reviews*, 29(3), 95-102.

- Bogataj, Š., Pajek, M., Hadžić, V., Andrašić, S., Padulo, J., & Trajković, N. (2020). Validity, Reliability, and Usefulness of My Jump 2 App for Measuring Vertical Jump in Primary School Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3708. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103708>
- Brooks, E. R., Benson, A. C., & Bruce, L. M. (2018). Novel technologies found to be valid and reliable for the measurement of vertical jump height with jump-and-reach testing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(10), 2838-2845. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000002790>
- Cabarkapa, D., Fry, A., & Hermes, M. (2021). Accuracy of an Experimental Accelerometer for Assessing Countermovement Vertical Jump Height. *Sports Innovation Journal*, 2, 45-55. <https://doi.org/10.18060/24831>
- Cabarkapa, DV, Fry, AC, Cabarkapa, D., Parra, M. E & Hermes, M. J (2022). Impact of accelerometer placement on assessment of vertical jump performance parameters. *Journal of Physical Education and Sport*, 22(5), 1340-1345. <https://doi:10.7752/jpes.2022.05168>
- Cerrah, A., Gungor, E. O., Soylu, A., & Ertan, H. (2014). Muscular activation differences between professional and amateur soccer players during countermovement jump. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 16(2), 51-58. <https://doi:10.15314/TJSE.201428105>
- Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, AN, ... & Mundy, PD (2018). Características força-tempo do salto contramovimento: Analisando a curva no Excel. *Strength & Conditioning Journal*, 40(2), 67-77. <https://doi:10.1519/SSC.0000000000000353>

- Cheraghi, M., Sarvestan, J., Sebyani, M., & Shirzad, E. (2017). Stretch-shortening cycle in countermovement jump: Exclusive review of force-time curve variables in eccentric and concentric phases. *Preprints*, 2017080070. [https://doi: 10.20944/preprints201708.0070.v1](https://doi.org/10.20944/preprints201708.0070.v1)
- Chien, K. Y., Chang, W. G., Chen, W. C., & Liou, R. J. (2022). Accelerometer-based prediction of ground reaction force in head-out water exercise with different exercise intensity countermovement jump. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00389-8>
- Choukou, M. A., Laffaye, G. & Taiar, R. (2014). BR Reliability and validity of an accelerometric system to assess vertical jump performance. *Sport Biology*, 31 (1), 55-62. DOI: <https://doi.org/10.5604/20831862.1086733>
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., ... & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 20(4), 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Costa, P. H. V., Amaral, N. S., Polese, J. C., & Sabino, G. S. (2018). Validade e confiabilidade de aplicativos de avaliação do movimento para smartphones: revisão descritiva. *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas*, 2(2), 66-73.
- Cronin, J. B., Hing, R. D., & McNair, P. J. (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 590-593.
- Cruz, E. M. D. (2003). Estudo do salto vertical: uma análise da relação de forças aplicadas. Dissertação de Mestrado. *Universidade Estadual de Campinas. Campinas (SP). Brasil.*

- Dayne, A. M., McBride, J. M., Nuzzo, J. L., Triplett, N. T., Skinner, J., & Burr, A. (2011). Power output in the jump squat in adolescent male athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 585-589. <https://doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c1fa83>
- de Assis Voltolini, L., de Souza, W. C., de Camargo Smolarek, A., de Lima, V. A., da Costa, A., & Mascarenhas, L. P. G. (2017). Análise de desempenho do nado crawl por meio da cinemetria. *Revista Brasileira De Prescrição E Fisiologia Do Exercício*, 11(69),735-742. Disponível em: <http://www.rbpfex.com.br/index.php/rbpfex/article/view/1257>
- Felicissimo, C. T., Dantas, J. L., Moura, M. L., & Moraes, A. C. D. (2012). Respostas neuromusculares dos membros inferiores durante protocolo intermitente de saltos verticais em voleibolistas. *Revista de Educação Física*, 18(1), 153-164. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742012000100016>
- Ferro, A., Floría, P., Villaceros, J., & Muñoz-López, A. (2019). Maximum velocity during loaded countermovement jumps obtained with an accelerometer, linear encoder and force platform: A comparison of technologies. *Journal of Biomechanics*, 95, 109281. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.07.025>
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Morales-Artacho, AJ, Almeida, F., Padial, P., Bonitch-Góngora, J., ... & Feriche, B. (2019). Force-velocity relationship in the jumping exercise with countermovement evaluated by different measurement methods. *Journal of Human Kinetics*, 67 (1), 37-47. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0085>
- Garrett, J. M., Graham, S. R., Eston, R. G., Burgess, D. J., Garrett, L. J., Jakeman, J., & Norton, K. (2020). Comparison of a countermovement jump test and submaximal run test to quantify the sensitivity for detecting practically important changes within high-

- performance australian rules football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(1), 68-72. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0150>
- Gallardo-Fuentes, F., Gallardo-Fuentes, J., Ramírez-Campillo, R., Balsalobre-Fernández, C., Martínez, C., Caniuqueo, A., & Izquierdo, M. (2016). Intersession and intrasession reliability and validity of the My Jump app for measuring different jump actions in trained male and female athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 30(7), 2049-2056. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001304>
- Gheller, R. G., Dal Pupo, J., Lima, L. A. P. D., Moura, B. M. D., & Santos, S. G. D. (2014). Effect of squat depth on performance and biomechanical parameters of countermovement vertical jump. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16, 658-668. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2014v16n6p658>
- Guess, T. M., Gray, A. D., Willis, B. W., Guess, M. M., Sherman, S. L., Chapman, D. W., & Mann, J. B. (2020). Force-Time Waveform Shape Reveals Countermovement Jump Strategies of Collegiate Athletes. *Sports*, 8(12), 159. <https://doi.org/10.3390/sports8120159>
- Harry, J. R., Barker, L. A., & Paquette, M. R. (2020). A Joint Power Approach to Define Countermovement Jump Phases Using Force Platforms. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(4), 993-1000. <https://doi:10.1249/mss.0000000000002197>
- Halilaj, E., Rajagopal, A., Fiterau, M., Hicks, J. L., Hastie, T. J., & Delp, S. L. (2018). Machine learning in human movement biomechanics: best practices, common pitfalls, and new opportunities. *Journal of biomechanics*, 81 (16), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.09.009>

- Harman, EA, Rosenstein, MT, Frykman, PN, Rosenstein, RM, & Kraemer, WJ (1991). Estimation of human energy production from the vertical jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 5 (3), 116-120.
- Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Randers, M. B., Kjaer, M., Andersen, L. L., Krstrup, P., & Aagaard, P. (2012). The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch–shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Human movement science*, 31(4), 970-986. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.10.001>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International journal of sports physiology and performance*, 12(1), 36-43. Doi: <https://doi.org/10.1123/IJSP.2015-0484>
- Kopper, B., Csende, Z., Sáfár, S., Hortobágyi, T., & Tihanyi, J. (2013). Muscle activation history at different vertical jumps and its influence on vertical velocity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.09.005>
- Krzyszowski, J., Chowning, L. D., & Harry, J. R. (2022). Phase-Specific Predictors of Countermovement Jump Performance That Distinguish Good From Poor Jumpers. *Journal of strength and conditioning research*, 36(5), 1257–1263. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003645>
- Kronbauer, G.A., Otsuka, M. M, & Loss, J. F (2013). Estudo eletromiográfico e cinemático do salto vertical no trampolim acrobático. *Brazilian Journal of Biomechanics*, 11(20), 73-79.
- Kumar, S., Singh, J., Pradhan, P., Kumar, S., & Thapa, R. K. (2023). Validity and Reliability of an Inertial Measurement Unit (BTS G-Walk) for Measurement of Countermovement Jump

- Height: A pilot-study. *Journal of Anthropology of Sport and Physical Education*, 7(3), Ahead-of. <https://doi.org/10.26773/jaspe.230704>
- Lu, T. W., & Chang, C. F. (2012). Biomechanics of human movement and its clinical applications. *The Kaohsiung journal of medical sciences*, 28 (25), 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2011.08.004>
- Marques, M. C., & Izquierdo, M. (2014). Kinetic and kinematic associations between vertical jump performance and 10-m sprint time. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(8), 2366-2371. <https://doi: 10.1519/JSC.0000000000000390>
- Martins, D. A. (2014). O squat jump na avaliação da força muscular: limitações e soluções metodológicas. Dissertação de Mestrado. *Universidade de Lisboa*. Lisboa. Portugal.
- McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength & Conditioning Journal*, 40(4), 96-106. <https://doi: 10.1519/SSC.0000000000000375>
- McMahon, J. J., Rej, S. J., & Comfort, P. (2018). Sex differences in countermovement jump phase characteristics. *Sports*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/sports5010008>
- McHugh, M. P., Clifford, T., Abbott, W., Kwiecien, S. Y., Kremenec, I. J., DeVita, J. J., & Howatson, G. (2019). Countermovement jump recovery in professional soccer players using an inertial sensor. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(1), 9-15. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0131>
- Meylan, C. M., Nosaka, K., Green, J., & Cronin, J. B. (2011). The effect of three different start thresholds on the kinematics and kinetics of a countermovement jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(4), 1164-1167. <https://doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c699b9>

- Milosevic, B., & Farella, E. (2015). Wearable inertial sensor for jump performance analysis. In Proceedings of the 2015 workshop on Wearable Systems and Applications. *Association for Computing Machinery*, 15-20. <https://doi.org/10.1145/2753509.2753512>
- Monnet, T., Decatoire, A., & Lacouture, P. (2014). Comparison of algorithms to determine jump height and flight time from body mounted accelerometers. *Sports Engineering*, 17(4), 249-259. <https://doi.org/10.1007/s12283-014-0155-1>
- Moir, G. L. (2008). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12(4), 207-218. <https://doi.org/10.1080/10913670802349766>
- Moreno-Pérez, J. A., Ruiz-García, I., Navarro-Marchal, I., López-Ruiz, N., Gómez-López, P. J., Palma, A. J., & Carvajal, M. A. (2023). System Based on an Inertial Measurement Unit for Accurate Flight Time Determination in Vertical Jumps. *Sensors*, 23(13), 6022. <https://doi.org/10.3390/s23136022>
- Mundial, A. M. (2000). Declaração de Helsinque VI. Edimburgo, Escócia.
- Nielsen, E. T., Jørgensen, P. B., Mechlenburg, I., & Sørensen, H. (2019). Validation of an inertial measurement unit to determine countermovement jump height. *Asia-Pacific journal of sports medicine, arthroscopy, rehabilitation and technology*, 16, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2018.09.002>
- Ortega, D. R., Bías, E. C. R., & de la Rosa, F. J. B. (2010). Analysis of the vertical ground reaction forces and temporal factors in the landing phase of a countermovement jump. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(2), 282-287.
- Pena Garcia-Orea, G., Belando-Pedreño, N., Merino-Barrero, J. A., Jiménez-Ruiz, A., & Heredia-Elvar, J. R. (2021). Validation of an opto-electronic instrument for the measurement of



- weighted countermovement jump execution velocity. *Sports Biomechanics*, 20(2), 150-164. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1526316>
- Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2022). Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: A technical examination of the jump threshold initiation. *Sports Biomechanics*, 21(5), 622-636. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1682649>
- Picerno, P., Camomilla, V., & Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of Sports Sciences*, 29(2), 139-146. <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2010.523089>
- Quagliarella, L., Sasanelli, N., Belgiovine, G., Moretti, L., & Moretti, B. (2010). Evaluation of standing vertical jump by ankles acceleration measurement. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1229-1236. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb281a>
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Carvalho, T., Fernandes, T., Fonseca, P., & Rebelo, A. (2018). Countermovement jump analysis using different portable devices: implications for field testing. *Sports*, 6(3), 91. <https://doi.org/10.3390/sports6030091>
- Rantalainen, T., Gatin, P.B., Spangler, R., & Wundersitz, D. (2018). Concurrent validity and reliability of torso-worn inertial measurement unit for jump power and height estimation. *Journal of Sports Sciences*, 36(17), 1937-1942. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1426974>
- Rodrigues, T. B., Salgado, D. P., Cordeiro, M. C., Osterwald, K. M., Teodiano Filho, F. B., de Lucena Jr, V. F., ... & Murray, N. (2018). Fall detection system by machine learning

- framework for public health. *Procedia Computer Science*, (vol. pp. 141, 358-365).  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.189>
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International journal of sports medicine*, 35(06), 505-510. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354382>
- Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of biomechanics*, 41(14), 2940-2945. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.07.028>
- Sarvestan, J., Cheraghi, M., Sebyani, M., Shirzad, E., & Svoboda, Z. (2018). Relationships between force-time curve variables and jump height during countermovement jumps in young elite volleyball players. *Acta Gymnica*, 48 (1), 9-14. <https://doi.org/10.5507/ag.2018.003>
- Sole, C. J., Mizuguchi, S., Sato, K., Moir, G. L., & Stone, M. H. (2018). Phase characteristics of the countermovement jump force-time curve: A comparison of athletes by jumping ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(4), 1155-1165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001945>
- Stanton, R., Doering, T. M., Macgregor, C., Borges, N., & Delvecchio, L. (2019). Validity of a contact mat and accelerometric system to assess countermovement jump from flight time. *Physical Education and Exercise Science*, 23(1), 39-46. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2018.1493593>

- Ugrinowitsch, C., & Barbanti, V. J. (1998). O ciclo de alongamento e encurtamento e a “performance” no salto vertical. *Revista Paulista de Educação Física*, 12(1), 85-94. <https://doi.org/10.11606/issn.2594-5904.rpef.1998.139535>
- Watkins, C. M., Maunder, E., Tillaar, R., & Oranchuk, D. J. (2020). Concurrent Validity and Reliability of Three Ultra-Portable Vertical Jump Assessment Technologies. *Sensors*, 20(24), 7240. <https://doi.org/10.3390/s20247240>
- White, MG, Bezodis, NE, Neville, J., Summers, H., & Rees, P. (2022). Determining jumping performance from a single body-worn accelerometer using machine learning. *Plos one*, 17(2), 1-25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263846>