Rothwell, M., Rumbold, J. L., & Stone, J. A. (2018). Exploring British adolescent rugby league players' experiences of professional academies and dropout. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*. doi:10.1080/1612197X.2018.1549579

Salmela, J. (1994). Stages and transitions across sports careers. In D. Hackfort (Ed.), *Psycho-social issues and interventions in elite sports* (pp. 11-28). Lang.

Savelsbergh, G., & Wormhoudt, R. (2018). Creating adaptive athletes: The athletic skills model for enhancing physical literacy as a foundation for expertise. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, 102, 31-38.

Sieghartsleitner, R., Zuber, C., Zibung, M., & Conzelmann, A. (2018). The early specialised bird catches the worm! A specialised sampling model in the development of football talents. *Frontiers in Psychology*, 9(188). doi:10.3389/fpsyg.2018.00188

Soberlack, P., & Côté, J. (2003). The developmental activities of elite ice hockey players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 15, 41-49. doi:10.1080/10413200305401

Stambulova, N. (1994). Developmental sports career investigations in Russia: A post-perestroika analysis. *The Sport Psychologist*, 8(3), 221-237.

Strafford, B.W., Davids, K., North, J., & Stone, J. (2020). Designing parkour-style training environments for athlete development: Insights from experienced parkour traceurs. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*. doi:10.1080/2159676X.2020.1720275

Strafford, B.W., van der Steen, P., Davids, K., & Stone, J.A. (2018). Parkour as a donor sport for athletic development in youth team sports: Insights through an ecological dynamics lens. *Sports Medicine – Open*, 4(21). doi:10.1186/s40798-018-0132-5

Stranchan, L., Côté, J., & Deakin, J. (2009). "Specializers" versus "samplers" in youth sport: Comparing experiences and outcomes. *The Sport Psychologist*, 23, 77-92.

Wall, M., & Côté, J. (2007). Developmental activities that lead to dropout and investment in sport. *Physical Education & Sport Pedagogy*, 12(1), 77-87. doi:10.1080/17408980601060358

Ward, P., Hodges, N., Starkes, J., & Williams, A.M. (2007). The road to excellence: Deliberate practice and the development of expertise. *High Ability Studies*, 18(2), 119-153. doi:10.1080/13598130701709715

Wiersma, L. (2000). Risks and benefits of youth sport specialization: Perspectives and recommendations. *Pediatric Exercise Science*, 12, 13-22.

Wood, E. (2013). *Play, learning and the early childhood curriculum*. Sage.

Wormhoudt, R., Teunissen, J. W., Savelsbergh, G., & Davids, K. (2018). *The athletic skills model for talent development: No specialists, but athletes with a specialization*. Routledge | Taylor & Francis.

Wylleman, P., & Lavallee, D. (2004). A developmental perspective on transitions faced by athletes. In M. R. Weiss (Ed.). *Developmental sport and exercise psychology: A lifespan perspective* (pp. 507-527). Fitness Information Technology.

AUTORES:

Pedro Fonseca ¹

Filipa Sousa ^{1, 2}

Leandro Machado ^{1, 2}

João Paulo Vilas-Boas ^{1, 2}

¹ Laboratório de Biomecânica do Porto (Labiomep), Universidade do Porto, Portugal

² Centro de Investigação, Formação, Intervenção e Inovação em Desporto (CIFI²D), Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal

<https://doi.org/10.5628/rpcd.21.S2.421>

INTRODUÇÃO

A análise biomecânica do salto vertical, enquanto indicador da função músculo-tendinosa dos membros inferiores, não é trivial. Como tal, deve sustentar-se em abordagens metodológicas robustas, que permitam simultaneamente a padronização do movimento realizado e a sua reprodutibilidade, ainda que aceitando a existência de variabilidade intra e inter individual.

A realização de um salto vertical tem um objetivo claro: atingir a máxima altura possível. Esta ação é potenciada pela intervenção sinérgica de ambos os membros inferiores e reflete a capacidade de coordenação do atleta e a sua capacidade de produzir força para contrariar a ação da gravidade. Para avaliar estes fatores determinantes da altura de salto, é necessário recorrer a equipamentos que permitam a sua medição direta. No contexto de avaliação e controlo de treino desportivo, várias soluções estão disponíveis para avaliações de campo e laboratoriais. No projeto INEX foram utilizados vários tipos de equipamentos ao longo das diversas dimensões de análise implementadas. No caso dos saltos verticais, foram utilizadas plataformas de força, um equipamento que, embora eminentemente de cariz laboratorial, pode ser aplicado em avaliações de campo. Esta escolha decorreu do facto deste instrumento além de medir, como o próprio nome indica, as forças envolvidas na impulsão e receção vertical do salto, permitir também, o cálculo da altura de salto mediante a utilização de algumas equações simples.

Não obstante, outros dispositivos podem ser usados para medir a altura de salto. Estes devem ser do conhecimento dos treinadores e investigadores para que possam fazer uma escolha ponderada e informada caso optem pela sua utilização. Devemos, no entanto, ressaltar que equipamentos de campo, ainda que úteis e de fácil implementação, têm uma uti-

lidade limitada. Permitem a avaliação da altura do salto, mas não discriminam com detalhe quais os mecanismos que o potenciam. Como tal, estes equipamentos podem (e devem) ser utilizados com frequência para monitorizar e controlar o treino do atleta, mas devem ainda ser complementados com avaliações laboratoriais mais robustas e detalhadas em períodos bem definidos no plano de treino dos desportistas.

Neste artigo será apresentada a abordagem metodológica implementada no projeto INEX para medição dos saltos verticais, contextualizando-a em comparação com outras possibilidades e descrevendo as suas vantagens e desvantagens.

DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO

Qualquer salto vertical, seja ele um salto em agachamento (SJ) ou com contramovimento (CMJ), caracteriza-se por uma fase de impulsão, seguida de uma fase de voo, terminando numa receção no solo. Alguns métodos de medição fazem uso do tempo de voo para estimar a altura de salto (Garcia-Lopez et al., 2005), enquanto outros calculam-na mediante o deslocamento ou impulsão inicial (Linthorne, 2001). Como tal, diferentes classes de dispositivos de medição podem ser estabelecidas de acordo com o seu princípio de medição, as suas características físicas e o tipo de dados que proporcionam.

TRANSDUTORES LINEARES

na sua forma mais simples, são baseados no dispositivo introduzido por Abalakov, em 1938, que consiste numa cinta colocada em torno da cintura pélvica do sujeito, conectada por uma fita a uma placa no solo, onde um mecanismo permita o deslize da fita durante a realização do salto. A diferença de comprimento da fita entre a cinta e o solo, antes e após o salto, permite a obtenção da altura de salto (Buckthorpe et al., 2012). Abordagens eletrónicas estão também disponíveis, nas quais um carretel de fio é conectado a um transdutor colocado no solo. Uma das pontas do fio é ligada à cintura pélvica do atleta e, à medida que o salto se realiza, vai desenrolando o cabo no carretel, fazendo-o girar. O número de rotações do carretel (e a sua velocidade) são registados, dando uma indicação do deslocamento e velocidade alcançados.

TAPETES DE CONTACTO

São superfícies finas do tipo sanduiche, constituídas por duas camadas condutoras elétricas (barras ou placas metálicas) separadas por um material não condutivo (ar ou filme), uma ligada a um ânodo e outra a um cátodo (Borges Júnior et al., 2011; Garcia-Lopez et al., 2005). Como tal, estes dispositivos operam como um interruptor, na medida que quando é aplicada uma força (o peso do atleta imóvel no tapete), as placas metálicas fecham o circuito elétrico e a corrente flui do ânodo para o cátodo. Quando o peso é removido (atleta

na fase de voo), as placas metálicas separam-se, quebrando o circuito elétrico e cessando a transmissão de corrente elétrica. A medição entre estes períodos de “interruptor ligado” e “interruptor desligado” permite calcular o tempo de voo, o qual é posteriormente usado para estimar a altura de salto. No entanto, tirando este parâmetro temporal, e eventual tempo de contacto com o tapete, estes dispositivos não apresentam possibilidades de análise suplementares.

CÉLULAS ÓTICAS

Operam segundo um princípio idêntico aos tapetes de contacto, medindo a interrupção de um feixe de luz entre um emissor e um recetor, colocados em paralelo no solo, com o atleta entre as duas estruturas. Quando o atleta se encontra em contacto com o solo, o feixe é bloqueado pelos pés (“interruptor fechado”) e, quando em fase de voo, o feixe fica livre para ser transmitido entre emissor e recetor (“interruptor ligado”).

ACELERÓMETROS

São sensores capazes de medir a aceleração de um objeto em uma ou mais direções simultaneamente. Aqueles que incluem ainda a capacidade de medir a rotação (giroscópio) e orientação (magnetómetro) são geralmente designados por unidades inerciais (IMU). Podem apresentar-se como um dispositivo dedicado, ou embebido noutros dispositivos (como por exemplo num smartphone). São uma solução amplamente acessível e de fácil implementação, tendo por base a medição da aceleração, e sua variação, durante o salto. Várias aplicações móveis encontram-se disponíveis para medição do salto vertical a partir de acelerómetros, nomeadamente contidos em smartphones, ainda que nem todas se encontrem validadas. Como tal, a seleção deverá ser ponderada e analisada previamente.

CÂMARAS DE VÍDEO

Podem utilizar luz visível ou infravermelhos. Estas últimas estão geralmente reservadas a ambiente laboratorial devido à complexidade da sua montagem e calibração. No entanto, câmaras de vídeo com uma frequência de aquisição razoável (> 50 Hz) e alta resolução, podem ser utilizadas para a filmagem do plano sagital do atleta e a medição do deslocamento de um ponto (ou marcador) colocado na sua cintura pélvica, por exemplo (Leard et al., 2007; Rago et al., 2018). Montagens mais complexas, com três ou mais câmaras e recorrendo a software de processamento e análise, permitem a análise do salto em três dimensões (Kibele, 1998). Estes sistemas, além de permitirem a medição da altura de salto, possibilitam ainda a sua análise qualitativa. No entanto, é necessária uma correta estabilização da(s) câmara(s) e uma calibração prévia do espaço de performance através de uma escala (em uma, duas ou três dimensões), podendo implicar um nível de complexidade moderado a elevado.

PLATAFORMAS DE FORÇA

Instrumentos que medem forças em função das microdeformações que estas impõem a células de carga (elemento de medição). São, geralmente, um instrumento laboratorial, mas que, providenciadas as condições adequadas, podem ser empregues em testes de campo. Quando um atleta se encontra sobre uma destas plataformas, a força que exerce (verticalmente) sobre a plataforma é medida, bem como as forças realizadas nas direções ântero-posterior e médio-lateral. De acordo com a 3.ª Lei de Newton, as forças exercidas pelo atleta sobre a plataforma são iguais, mas com direção oposta, àquelas que a plataforma exerce sobre o atleta. Como tal, e por convenção, as forças medidas pelas plataformas de força são denominadas de forças de reação do solo e são interpretadas como as forças aplicadas sobre o atleta. A figura 1 apresenta uma representação vetorial da força de reação do solo.

FIGURA 1. Plataforma de forças, localização dos seus transdutores e direção das forças de reação do solo medida

Apesar da existência de várias classes de dispositivos aqui apresentadas, nem todos os sistemas apresentam as mesmas valências, métodos de cálculo, validade ou mesmo fiabilidade. Como tal, vários autores têm procurado comparar estas classes de dispositivos com os métodos de referência (gold standard), nomeadamente as câmaras de vídeo e as plataformas de força (Borges Júnior et al., 2011; Buckthorpe et al., 2012; Fernandes et al., 2021; Rago et al., 2018), de forma a evidenciar quão adequados são para a tarefa de medição da altura de salto.

Um transdutor linear simples (Abalakov) permite obter valores de altura de salto semelhantes aos das plataformas de força (Buckthorpe et al., 2012), ainda que correndo o risco de a sobrestimar devido à medição do deslocamentos total (o qual inclui deslocamento na direção ântero-posterior) realizado durante o salto (Mizuguchi et al., 2015). Os acelerómetros também apresentam uma tendência para a sobrestimação da altura de salto, tanto comparativamente com os transdutores lineares, como com as plataformas de força (Rago et al., 2018; Ruben et al., 2011).

Em oposição a estas classes encontram-se os tapetes de contacto e as células óticas. Estas baseiam-se exclusivamente no tempo de voo para estimar a altura de salto e, como tal, necessitam de frequências de aquisição entre 500 e 1000Hz (Borges Júnior et al., 2011; Buckthorpe et al., 2012). Embora esta resolução temporal seja idêntica à usada nas plataformas de força, os tapetes de contacto tendem a sobrestimar o tempo de voo em cerca de 9.2ms (Garcia-Lopez et al., 2005) comparativamente às plataformas de força. Este excesso de tempo poderá estar relacionado com o período necessário à deformação do tapete para garantir o contacto das placas condutoras (Borges Júnior et al., 2011). Este efeito resulta numa sobrestimação da altura de salto de 4.6 a 8.9cm (Enoksen et al., 2009), podendo diferir da altura calculada por plataformas de força até 11.6cm (23%) (Buckthorpe et al., 2012). Como tal, e ainda que estes tapetes sejam fiáveis e possam ser usados para comparações com atletas medidos pelo mesmo sistema, os resultados não podem ser comparados com os obtidos por outros dispositivos.

O mesmo se aplica às células óticas, em particular com sistemas comerciais como o *OptoJump*. Este sistema, ainda que fiável, não é válido para a medição de altura de salto, apresentado um viés constante comparativamente às plataformas de força (Attia et al., 2017), e uma subestimação da altura de salto comparativamente às câmaras de vídeo (Rago et al., 2018). Complementarmente, há que ter em consideração outras dimensões de uso destes equipamentos, como quão fáceis são de aplicar em situações de recolha de dados (e no campo), a quantidade de dados que poderão proporcionar e o nível de conhecimento técnico que é necessário à sua correta utilização. Como estas questões são, na sua maioria, de cariz subjetivo e dependente do utilizador, estes encontram-se vertidos, na forma de uma avaliação qualitativa, no quadro 1.

QUADRO 1. Comparação das várias classes de dispositivos para medição da altura de salto e sua avaliação qualitativa em termos de facilidade de uso para recolha de dados, fiabilidade, validade, quantidade de dados extraíveis, conhecimentos necessários à sua correta utilização e aplicabilidade em medições de campo

CLASSE	FACILIDADE DE USO	FIABILIDADE	VALIDADE	QUANTIDADE DE DADOS PROVIDENCIADOS	CONHECIMENTOS TÉCNICOS REQUERIDOS	APLICABILIDADE EM CAMPO
Transdutores lineares	***	**	**	*	*	***
Células óticas	***	*	*	*	*	***
Tapetes de contato	***	**	**	*	*	***
Acelerómetros	***	*	*	**	**	**
Câmaras de vídeo	**	***	***	***	***	*
Plataformas de força	***	***	***	***	***	**

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

DO SALTO VERTICAL

COMO EXECUTAR UM SALTO VERTICAL

O salto vertical pode ser realizado com, ou sem, a contribuição dos membros superiores. Esta primeira modalidade é geralmente designada por *sargent jump* (salto de sargento), na qual o sujeito salta com os membros superiores livres, podendo balançá-los acima do nível da cabeça, por forma a elevar o seu centro de massa e assim alcançar alturas superiores. Neste caso, a altura máxima atingida é determinada pela altura a que a mão (ou ponta dos dedos) é capaz de alcançar. Embora este salto seja ecologicamente válido, na medida que seria a forma mais natural de realizar um salto vertical, a contribuição (facilitadora ou inibitória) dos membros superiores impede a correlação da altura atingida com a capacidade funcional dos membros inferiores. Por essa razão, a maioria das avaliações de saltos verticais são realizados com os membros superiores imóveis, sejam cruzados sobre o peito (menos frequente), ou apoiados lateralmente na bacia (mais frequente). Alguns autores reportam ainda o salto realizado com uma barra olímpica ou de plástico sobre os ombros (Sole et al., 2018), o que apresenta vantagens quando se pretende avaliar o salto com cargas adicionais (Cormie et al., 2008). Os saltos verticais no projeto INEX foram realizados com as mãos na cintura, por forma a garantir que apenas a contribuição dos membros inferiores seja traduzida em altura de salto.

Apesar da importância da imobilização dos membros superiores, outras considerações posturais devem ser consideradas antes e durante o salto. No quadro 2 é apresentado o protocolo padrão para a recolha de dados durante o salto em agachamento (SJ) e com contramovimento (CMJ), detalhando os aspetos que devem ser observados por forma a garantir a correta execução de cada um. Se todos estes procedimentos forem observados, é possível minimizar eventuais erros e variabilidade não controlada, o que permitirá avaliações mais precisas e reprodutíveis. A adesão a um protocolo, como o que é aqui reproduzido, é também fundamental para garantir a comparação entre atletas e entre períodos de avaliação.

A frequência de aquisição de dados, ainda que apareça como último elemento a ser considerado nesta lista, não deve ser ignorado. Um dos métodos mais frequentes de cálculo da altura de salto é baseado no tempo de voo (detalhado mais à frente neste artigo), pelo que uma elevada resolução temporal (ou seja, elevada frequência de amostragem) é fundamental para garantir a precisão da medição deste período. Vários investigadores reportam que uma frequência de amostragem inferior a 1000 Hz está associada a uma subestimação da altura de salto entre 0.32 e 1.10% (Street et al., 2001) e que poderá ainda comprometer o registo da força, velocidade e potência quando se usam plataformas de força (Hori et al., 2009; Owen et al., 2014). Este efeito adverso sobre o registo de forças é também indesejado se o método de cálculo da altura de salto for baseado na força, ou sinais dela derivados. Portanto, a utilização de uma frequência de aquisição igual ou superior a 1000 Hz é recomendada para manter o erro de cálculo da altura de salto abaixo de 1.0%.

A duração do período de repouso antes do salto pode ser vista como de pouca importância prática, mas é importante para todos os cálculos que dependam da precisa medição do peso do atleta e para a correta identificação do início do movimento de salto. O período mínimo para o saltador permanecer imóvel varia consoante autores, sendo frequente um período de pelo menos 1.0s (Moir, 2008). De acordo com Street et al. (2001), este período é adequado, sendo que o cálculo do peso do saltador em períodos mais curtos aumenta o erro de medição em 1.4% (0.5s) a 3.3% (0.1s). Como tal, e seguindo um princípio de precaução, é sugerido que o saltador permaneça em repouso sobre a plataforma de forças pelo menos 2 segundos, sendo que durante este tempo deve abster-se de realizar qualquer movimento dos membros inferiores, superiores ou tronco, que possam alterar o padrão de forças de reação do solo. Adicionalmente, e no caso dos saltos em agachamento, é importante que o atleta permaneça na posição de agachamento pelo menos 3 segundos de forma a não usar o ciclo de alongamento-encurtamento para potenciar o salto.

Uma vez que o equipamento se encontre instalado e configurado, é necessário garantir que o atleta compreende perfeitamente como executar o salto vertical. Um conjunto de instruções devem ser transmitidas de forma clara e padronizada, pois estas têm o potencial para afetar a altura de salto, bem como os parâmetros de força e potência (Talpey et al., 2016) e a própria forma da curva de força ao longo do tempo (Pérez-Castilla et al., 2019). A instrução dada ao atleta, seja para saltar “o mais rápido possível”, ou para “saltar o mais alto possível”, pode ter resultados diferentes. Por exemplo, um salto em contramovimento realizado rapidamente, no qual há pouco tempo de contacto com o solo, resulta numa curva de força com um só pico de força impulsiva. Por seu lado, um salto mais lento, e pouco eficiente na utilização dos ciclos de alongamento e encurtamento musculares, resulta numa curva de força com dois máximos relativos de impulsão (Kennedy & Drake, 2018). Ainda que não haja um padrão para estas instruções, é importante enfatizar a necessidade de serem claras. Sugerimos ainda que o salto seja demonstrado ao atleta, o qual deverá ter, depois, a possibilidade de realizar algumas tentativas de familiarização não válidas. Isto permite ao investigador providenciar comentários corretivos e assim garantir a execução de um salto de acordo com as recomendações.

QUADRO 2. Protocolo padrão de operações de recolha de dados baseado na propostas de Petrigna et al. (2019), com adições implementadas no projeto INEX

FASE DO SALTO	SALTO COM CONTRAMOVIMENTO (CMJ)		SALTO EM AGACHAMENTO (SJ)
Antes do salto	Explicar verbalmente, e em detalhe, como realizar o salto vertical pretendido, preferencialmente usando instruções padrão		
	Exemplificar a realização do salto, permitindo ao participante a realização de saltos de treino (não válidos), dando comentários corretivos, caso necessário		
Posição inicial	Tronco ereto, com os membros inferiores em extensão completa.		Tronco, coxas e pernas com flexão de 90° entre si.
	<i>Mãos:</i> posicionadas lateralmente nas ancas (akimbo).		
	<i>Pés:</i> afastados com a mesma largura dos ombros		
	<i>Cabeça:</i> a olhar em frente para um ponto ao nível dos olhos.		
	Garantir que o participante mantém a posição de forma imóvel por, pelo menos, 2 segundos.		
Início do movimento	<i>Direção:</i> descendente, até que as ancas e joelhos flitam 90°. Então, alterar o movimento para ascendente, saltando.		<i>Direção:</i> ascendente, saltando.
	<i>Velocidade e esforço:</i> máxima e explosivo, para saltar o mais alto e rapidamente possível.		
Descolagem e voo	Tronco ereto, com os membros inferiores em extensão completa e sem retirar as mãos da cintura. Pés com um afastamento não maior que a largura dos ombros e olhar fixo em frente		
Aterragem	Manter o tronco com o mesmo posicionamento da descolagem e fase de voo.		
	Aterrar preferencialmente no mesmo local em que foi feita a descolagem.		
	Imediatamente após o contato com o solo, realizar amortecimento do impacto mediante a flexão dos membros inferiores.		
Calçado	Modelo de calçado que cubra totalmente o pé (não usar chinelos) Deverá ser, preferencialmente, o mesmo modelo em sessões subsequentes		
Repetições	Pelo menos 3.		
Tempo de repouso	Pelo menos 1 minuto entre repetições.		
Aquecimento	Não realizar exercícios pliométricos de alta intensidade ou de alongamento		
Dispositivos de medida	Em laboratório: câmaras de vídeo por infravermelho ou plataforma de forças		
	Em campo: tapete de salto ou plataforma de forças		
Frequência de aquisição	1000HZ.		

ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE DADOS

Uma vez recolhidos, os dados nem sempre se apresentam de uma forma imediatamente analisável. Por um lado, podem exibir ruído elétrico que necessite de ser removido mediante filtragem, mas também pode acontecer que necessitem de ser alvo de operações aritméticas ou algébricas para obter a informação que se procura.

FILTRAGEM

A aplicação de filtros tem como objetivo a limpeza do sinal de elementos que possam impedir a correta identificação das suas características. No entanto, este é um tema controverso, pois os filtros podem causar a diminuição da amplitude do sinal, bem como desfaseamentos temporais ou a deturpação de instantes de rápida transição. Portanto, a seleção de um tipo de filtro e frequência de corte adequados é fundamental e a sua utilização deve ser convenientemente ponderada.

Filtros passa-baixo de 30, 40 ou 50Hz são frequentemente reportados (Harry et al., 2020; Peng et al., 2019; Philpott et al., 2020; Sha et al., 2021). Estas são escolhidas pois os sinais de força dos saltos verticais têm frequências naturais inferiores. Frequências de corte entre 27 e 130Hz causam uma diminuição de sinal inferior a 1.2% (Street et al., 2001). Caso seja usado um filtro, o mesmo deverá ser aplicado a todo o sinal recolhido, antes mesmo deste ser cortado para um período de interesse. Deverá ainda ser do tipo zero lag (sem distorção de tempo), ou então ser aplicado duas vezes em sentidos opostos (bidirecional), o que efetivamente resulta na duplicação da ordem do filtro. A comparação do sinal original pré-filtragem, e do sinal filtrado, deve ser sempre feita, mesmo que apenas por inspeção visual.

TRANSFORMAÇÃO DE SINAIS

A plataforma de forças permite o registo das forças de reação do solo aquando de um salto vertical. No entanto, caso o investigador pretenda obter informação adicional, tal como a aceleração, velocidade, deslocamento ou potência do salto, irá necessitar de realizar algumas operações matemáticas. Para tal, há que recordar a 2.ª Lei de Newton:

$$\vec{F}_R = m . \vec{a}$$

Ou seja, a força resultante ($\vec{F}_R$) depende não só da massa do objeto (m), como da aceleração ($\vec{a}$) que lhe é imposta.

Quando o sujeito se encontrar sobre a plataforma de forças (em situação estática ou dinâmica) a força resultante que sobre ele atua é a soma da força peso (representada por $\vec{F}_p$ e igual à massa corporal multiplicada pela aceleração da gravidade) e da força de reação do solo ($\vec{F}_s$), sendo esta última medida pela plataforma de forças.

Considerando apenas a componente vertical das forças aplicadas, que é a que interessa para o estudo dos saltos verticais, a força peso (F_p) é dirigida verticalmente para baixo e a força de reação do solo (F_s) verticalmente para cima. Usando a convenção de que positivo é para cima, a componente vertical da força resultante (F_R) a atuar sobre o sujeito é obtida por:

$$F_R = F_S - F_P$$

Quando em repouso sobre a plataforma, a força de reação do solo medida é equivalente à força do peso, o que significa que a força resultante é nula e, portanto, a aceleração também é nula. Já numa situação dinâmica, como o salto vertical, a força de reação medida pela plataforma de forças dependerá também dos movimentos e ações musculares, pelo que ultrapassará (em módulo) o peso do atleta.

Com esta curva de força, uma serie de operações matemáticas podem ser realizadas para obtenção de sinais relativos à aceleração, velocidade e deslocamento do centro de massa do sujeito, à potência e ao trabalho. Um sumário dos procedimentos matemáticos apropriados à obtenção de cada uma destas curvas é apresentado no quadro 3.

QUADRO 3. Conjunto de equações matemáticas que permitem o cálculo de várias curvas de interesse a partir da componente vertical da força registada com uma plataforma de forças

CURVA	EQUAÇÃO MATEMÁTICA	UNIDADE
Força resultante	$F_R(t) = F_S(t) - F_P$	Newton (N)
Aceleração	$a(t) = \frac{F_R(t)}{m}$	Metro por segundo quadrado (m/s2)
Velocidade	$v(t) = \int a(t) \ dt$	Metro por segundo (m/s)
Deslocamento	$d(t) = \int v(t) \ dt$	Metro (m)
Potência	$P(t) = F_R(t) \times v(t)$	Watt (W)
Trabalho	$W(t) = \int P(t) \ dt$	Joule (J)

Nota: a : aceleração; v : velocidade; d : deslocamento; P : potência; W : trabalho; t : tempo; m : massa; F_R : força resultante; F_S : componente vertical da força de reação do solo aplicada no atleta, F_P : força peso

IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS

A curva de força durante o salto vertical apresenta caraterísticas facilmente identificáveis e típicas para o salto em agachamento e o salto com contramovimento. No entanto, as demais curvas obtidas com recurso às equações do quadro 3 são também bastante este-reotipadas e constituem informação complementar e de interesse para a análise do salto.

Nesta secção são identificados e caraterizados os instantes de tempo em que se verifi-ca uma ocorrência relevante (um evento) nas curvas de força, velocidade e potência. Na figura 2 pode observar-se o perfil de força, velocidade e potência ao longo do tempo, de um salto com contramovimento (painel superior) e um salto em agachamento (painel in-ferior), com os respetivos eventos destacados. É de particular nota o facto de o salto em agachamento não apresentar uma fase de contração excêntrica, o que se reflete no menor número de eventos e fases em que pode ser dividido.

De modo a facilitar a anotação do gráfico de salto vertical, cada evento encontra-se se-quencialmente identificado por uma letra minúscula. Como o salto com contramovimento é o que apresenta mais eventos, a anotação do salto em agachamento segue o mesmo esquema de identificação, ainda que evidenciando menos ocorrências. Os eventos apresentados são:

Início do salto (a): o período de repouso termina e começa o movimento de salto, no qual a força de reação do solo diminui (no contramovimento) ou aumento (em agachamento) em relação a um limiar de deteção equivalente à média do período de repouso (peso do atleta).

Máxima perda de peso (b): instante do salto em contramovimento no qual a força de reação do solo é mínima antes da descolagem e que coincide com a máxima aceleração descendente.

Velocidade descendente máxima (c): instante no qual o centro de massa atinge a sua máxima velocidade descendente, corresponde a uma aceleração e força resultante sobre o atleta nulas.

Força máxima (d): instante em que se regista a máxima produção de força vertical. No salto com contramovimento, este instante coincide com o valor de velocidade nula, ou seja, quando o centro de massa atinge o ponto mais baixo.

Potência máxima (PM): instante em que a força de reação do solo e a velocidade ascenden-te produzem a máxima potência de salto ($P = F \cdot v$).

Velocidade ascendente máxima (e): instante no qual o centro de massa atinge a sua veloci-dade ascendente máxima. A força de reação do solo, que tem vindo a diminuir, equivale ago-ra ao peso corporal. Já se verifica algum deslocamento vertical resultante da flexão plantar dos pés, correspondendo à chamada “altura de contacto” (Vanrenterghem et al., 2001).

Descolagem (f): instante em que a força de reação do solo diminuiu até valores mínimos, indicando que o atleta não se encontra em contacto com a plataforma de força.

Aterragem (g): instante em que o atleta retoma o contacto com a plataforma de força, correspondendo a um aumento rápido da força de reação do solo.

Máxima força na aterragem (h): valor máximo de força de reação do solo em resposta à aterragem do atleta.

A correta e precisa identificação dos eventos de descolagem e aterragem são importantes caso o tempo de voo seja usado para o cálculo da altura de salto. Para tal, um limiar de detecção pode ser aplicado, de forma semelhante ao que é feito para a identificação do evento de início.

FIGURA 2. Representação das curvas de força (linha contínua), velocidade (tracejado) e potência (ponteado) de um salto com contramovimento e em agachamento, destacando (a) instante de início do salto, (b) máxima perda de peso, (c) máxima velocidade descendente, (d) força máxima e velocidade nula, (e) velocidade ascendente máxima e força igual ao peso corporal, (f) início da fase de voo, (g) fim da fase de voo, (h) força máxima da aterragem. Estes eventos permitem ainda a divisão do salto nas fases de (a) repouso, (b) perda de peso, (c) travagem, (d) impulsão, (e) voo, e (f) aterragem

DEFINIÇÃO DAS FASES DO SALTO

Os eventos aqui descritos podem ser usados para definir e delimitar fases do salto vertical de acordo com as características desses períodos. Várias divisões podem ser encontradas na literatura científica, pelo que aqui apresentamos um conjunto de fases baseadas nas propostas de Linthorne (2001), McMahon et al. (2018) e Sole et al. (2018), harmonizadas em termos de terminologia.

Fase de repouso (i): período que antecede o início do salto (a), no qual o atleta permanece tão imóvel quanto possível na posição de início de salto. Durante este período, a força de reação do solo é igual ao peso do sujeito e a força resultante que nele atua é nula.

Perda de peso (ii): ocorre exclusivamente no salto com contramovimento. Inicia-se com o salto (a) e continua até que o peso corporal seja “recuperado” no instante de máxima velocidade descendente (c). Durante este período a força de reação do solo medida pela plataforma de forças é inferior ao peso do atleta devido ao movimento descendente do centro de massa, o que justifica a terminologia “perda de peso”.

Travagem (iii): ocorre exclusivamente no salto com contramovimento e caracteriza-se por uma fase em que o movimento descendente do centro de massa é travado. Como tal, tem início no instante de máxima velocidade descendente (c) e termina quando esta se reduz e atinge o valor nulo, o que coincide (aproximadamente) com o instante de força vertical máxima (d).

Impulsão (iv): corresponde ao período em que o centro de massa apresenta uma velocidade ascendente positiva. No salto com contramovimento tem início no instante de força máxima (d), enquanto no salto em agachamento ocorre desde o início do salto (a). A fase de impulsão termina no evento de descolagem (f). Esta fase de impulsão pode ainda ser dividida em sub-fases se consideradas as variações de velocidade e força que nela se verificam.

Voo (v): período em que o sujeito não mantém contacto com o solo e é, portanto, delimitado pelos eventos de descolagem e aterragem.

Aterragem (vi): período após a retomada do contacto com o solo e até à normalização das forças de reação do solo aplicadas sobre o sujeito.

Um sumário destas fases e seus eventos delimitadores pode ser consultado no quadro 4.

QUADRO 4. Definição das fases do salto em agachamento e com contramovimento de acordo com os eventos caraterizadores do salto

FASE DO SALTO	EVENTO INICIAL	EVENTO FINAL
REPOUSO	Entre 1 a 2 s antes do início do salto (a)	a: início do salto
PERDA DE PESO*	a: início do salto	c: máxima velocidade descen-dente
TRAVAGEM*	c: máxima velocidade descen-dente	d: força máxima
IMPULSÃO	d: força máxima* a: início do salto	f: descolagem
VOO	f: descolagem	g: aterragem

Nota: Um asterisco (*) indica uma fase exclusiva do salto com contramovimento

CÁLCULO DA ALTURA DE SALTO

Existem vários métodos para o cálculo da altura de salto, com diferentes graus de complexidade e aplicabilidade e baseando-se em princípios físicos distintos. Neste artigo serão apenas apresentados os dois métodos mais utilizadas e que fazem uso dos dados recolhidos numa plataforma de forças: 1) o tempo de voo e 2) a velocidade de descolagem. Em ambos os métodos, são usadas as equações do movimento, adaptadas para assumir que a velocidade e locais de descolagem e aterragem são iguais em magnitude e posição, respetivamente.

Tempo de voo: o método mais conhecido e de fácil implementação. Baseia-se na utilização do período durante o qual o atleta permanece em voo (t_v) e na aceleração da gravidade $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, para determinar a altura máxima (h) atingida.

$$h = \frac{g \cdot t_v^2}{8}$$

Ainda que largamente utilizada em investigação e controlo de treino, este método pode apresentar vieses que subestimem a altura de salto, particularmente quando se usam outros dispositivos de medição que não as plataformas de força. Como tal, existem equações complementares para a correção da altura estimada a partir de células óticas (Attia et al., 2017) e tapetes de contacto (Dias et al., 2011) para aproximação aos valores obtidos com plataformas de força.

Velocidade de descolagem: este método utiliza a velocidade calculada a partir da força registada pela plataforma (QUADRO 3) no instante de descolagem (v_{to}), e a aceleração da gravidade (g) para determinar a altura do salto (h), mediante a seguinte equação:

$$h = \frac{v_{to}^2}{2 \cdot g}$$

Este método tem a vantagem de não depender da correta identificação de dois eventos (descolagem e aterragem).

Embora o primeiro método não necessite de plataformas para o seu cálculo, o segundo método pode ser aplicado com recurso a transdutores lineares, acelerómetros, câmaras de vídeo e, naturalmente, a plataformas de força. Por outro lado, métodos como o de dupla integração da força (que resulta numa curva de deslocamento do centro de massa), o método de impulso-momento, e o método de trabalho-energia, requerem os sinais obtidos por uma plataforma de força, como descrito por Linthorne (2001).

Assim, o investigador deverá ter em boa conta as vantagens de cada método de cálculo e as possibilidades providenciadas por métodos alternativos no instante de implementar um protocolo de avaliação.

IMPLICAÇÕES PARA O TREINADOR

1. A seleção de um dispositivo de medição é fundamental para a precisa e fiável medição da altura de salto. O treinador poderá implementar testes de campo usando os dispositivos referidos neste artigo, mas deverá estar ciente de que a utilização de plataformas de força é o melhor método para a avaliação.
2. Caso o treinador deseje implementar um programa de monitorização usando dispositivos de avaliação de campo que não a plataforma de forças ou câmaras de vídeo, deverá procurar fazê-lo usando, por ordem de preferência: transdutores lineares, tapetes de salto ou acelerómetros.
3. Qualquer que seja o dispositivo selecionado, este deve ser usado em reavaliações e comparações entre sujeitos, devendo evitar-se o uso de múltiplos e distintos dispositivos devido aos diferentes resultados que estes podem apresentar.
4. Um programa de monitorização em situação de avaliação de campo deverá ser complementado com avaliações em contexto laboratorial de forma periódica, de modo a validar os resultados obtidos na avaliação de campo com dispositivos *gold standard*.
5. A adesão a um protocolo de salto com procedimentos bem estruturados é fundamental para a comparação de resultados entre atletas de uma modalidade ou de várias modalidades e suas particularidades.

REFERÊNCIAS

- Attia, A., Dhahbi, W., Chaouachi, A., Padulo, J., Wong, D. P., & Chamari, K. (2017). Measurement errors when estimating the vertical jump height with flight time using photocell devices: The example of Optojump. *Biology of Sport*, 34(1), 63-70. doi:10.5114/biolsport.2017.63735
- Borges Júnior, N. G., Borges, L., Dias, J. A., Wentz, M. D., Mattos, D. J. d. S., Petry, R., & Domenech, S. C. (2011). Validade de um novo tapete de contato para avaliação do salto vertical. *Matriz: Revista de Educação Física*, 17(1), 26-32. doi:10.5016/1980-6574.2011v17n1p26
- Buckthorpe, M., Morris, J., & Folland, J. P. (2012). Validity of vertical jump measurement devices. *Journal of Sports Sciences*, 30(1), 63-69. doi:10.1080/02640414.2011.624539
- 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(2), 112-120. doi:10.1123/jab.24.2.112
- Dias, J. A., Pupo, J. D., Reis, D. C., Borges, L., Santos, S. G., Moro, A. R. P., & Borges, N. G., Jr. (2011). Validity of Two methods for estimation of vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(7).
- Enoksen, E., Tønnessen, E., & Shalfawi, S. (2009). Validity and reliability of the Newtest Powertimer 300-series testing system. *Journal of Sports Sciences*, 27(1), 77-84. doi:10.1080/02640410802448723
- Fernandes, T. L. B., Assumpção, C. O., Oliveira, S. F. M., Fermino, R. C., & Vilas-Boas, J. P. (2021). Single marker method to estimate center-of-mass velocity during vertical jumps. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(5), 2458-2465. doi:10.7752/jpes.2021.05331
- García-Lopez, J., Peleteiro, J., Rodriguez-Marroyo, J. A., Morante, J. C., Herrero, J. A., & Villa, J. G. (2005). The validation of a new method that measures contact and flight times during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 26(4), 294-302. doi:10.1055/s-2004-820962
- Harry, J. R., Barker, L. A., & Paquette, M. R. (2020). A joint power approach to define countermovement jump phases using force platforms. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(4), 993-1000. doi:10.1249/MSS.0000000000002197
- 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(3), 874-882. doi:10.1519/JSC.0b013e3181a00ca2
- Kennedy, R. A., & Drake, D. (2018). Is a bimodal force-time curve related to countermovement jump performance? *Sports*, 6(2), 36. doi:10.3390/sports6020036
- Kibele, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(1), 105-117. doi:10.1123/jab.14.1.105
- Leard, J. S., Cirillo, M. A., Katsnelson, E., Kimiatek, D. A., Miller, T. W., Trebincevic, K., & Garbalosa, J. C. (2007). Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4).
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204. doi:10.1119/1.1397460
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204. doi:10.1119/1.1397460.
- 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). doi:10.1519/SSC.0000000000000375
- Mizuguchi, S., Sands, W. A., Wassinger, C. A., Lamont, H. S., & Stone, M. H. (2015). A new approach to determining net impulse and identification of its characteristics in countermovement jumping: Reliability and validity. *Sports Biomechanics*, 14(2), 258-272. doi:10.1080/14763141.2015.1053514
- 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. doi:10.1080/10913670802349766
- Owen, N. J., Watkins, J., Kilduff, L. P., Bevan, H. R., & Bennett, M. A. (2014). Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6).
- Peng, H.-T., Song, C.-Y., Chen, Z.-R., Wang, I. L., Gu, C.-Y., & Wang, L.-I. (2019). Differences between bimodal and unimodal force-time curves during countermovement jump. *International Journal of Sports Medicine*, 40(10), 663-669. doi:10.1055/a-0970-9104
- Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Gómez-Martínez, F., & García-Ramos, A. (2019). Vertical jump performance is affected by the velocity and depth of the countermovement. *Sports Biomechanics*, 1-16. doi:10.1080/14763141.2019.1641545
- Petrigna, L., Karsten, B., Marcolin, G., Paoli, A., D'Antona, G., Palma, A., & Bianco, A. (2019). A review of countermovement and squat jump testing methods in the context of public health examination in adolescence: Reliability and feasibility of current testing procedures. *Frontiers in Physiology*, 10, 1384-1384. doi:10.3389/fphys.2019.01384
- Philpott, L. K., Forrester, S. E., van Lopik, K. A. J., Hayward, S., Conway, P. P., & West, A. A. (2020). Countermovement jump performance in elite male and female sprinters and high jumpers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 235(2), 131-138. doi:10.1177/1754337120971436
- 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. doi:10.3390/sports6030091
- Ruben, R. M., Saffel, H., McCrory, J. L., Cormie, P., & Haff, G. G. (2011). Comparison of accelerometer based vertical jump assessments to a linear position transducer plus force plate system. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25. doi:10.1097/01.JSC.0000395636.70853.92
- Sha, Z., Zhou, Z., & Dai, B. (2021). Analyses of countermovement jump performance in time and frequency domains. *Journal of Human Kinetics*, 78(1), 41-48. doi:10.2478/hukin-2021-0028
- 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. doi:10.1519/JSC.0000000000001945.
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 43-54. doi:10.1123/jab.17.1.43
- Talpey, S. W., Young, W. B., & Beseler, B. (2016). Effect of instructions on selected jump squat variables. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(9). doi:10.1519/JSC.0000000000000435
- Vanrenterghem, J., De Clercq, D., & Cleven, P. V. (2001). Necessary precautions in measuring correct vertical jumping height by means of force plate measurements. *Ergonomics*, 44(8), 814-818. doi:10.1080/00140130118100