



UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



O SQUAT JUMP NA AVALIAÇÃO DA FORÇA MUSCULAR

Limitações e Soluções Metodológicas

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em Treino de Alto
Rendimento

Orientador: Professor Doutor Pedro Vítor Mil-Homens Ferreira Santos

Júri:

Presidente

Professor Doutor Pedro Vítor Mil-Homens Ferreira Santos

Vogais

Professora Doutora Filipa Oliveira da Silva João

Professora Doutora Maria João de Oliveira Valamatós

Diogo Antunes Martins

2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradecer ao Professor Pedro Mil-Homens pela sua orientação e dedicação. Foi um prazer conhecê-lo e poder trabalhar consigo durante o meu processo de formação académica.

À Professora Maria João Valamatos por todo o apoio prestado em todo e qualquer assunto a que a esta dissertação diz respeito. É para mim um modelo a seguir.

Ao Professor “Engenheiro Chefe” Jorge Infante por todos os conselhos e trabalhos de engenharia que desenvolveu para esta dissertação.

Ao Professor António Veloso e a todas as pessoas do laboratório de biomecânica. Sempre foram compreensivos e pacientes para comigo, respondendo a diversas dúvidas e apoiando-me tanto na requisição de material necessário como do espaço onde trabalham.

Obrigado a todos os sujeitos que se voluntariaram para participar neste estudo e aos meus ajudantes nas recolhas Ricardo Mesquita, Basílio Gonçalves e Lucas Reis que sempre demonstraram disponibilidade em me ajudar e interesse em aprender e evoluir na área da investigação em ciência do desporto.

Às pessoas que trabalham no laboratório de fisiologia, Joana Reis, Ana Lúcia, Zé Morgado, João Albuquerque, Sandro Freitas e aos meus colegas e amigos, Francisco Tavares e Nuno Almeida, não sei como é que o fazem mas obrigado por me contagiarem com a vossa alegria no trabalho, foram muitas vezes a motivação necessária para seguir em frente.

À minha Família, Rita, Pai e Mãe obrigado por me apoiarem incondicionalmente mesmo quando o silêncio é a resposta às vossas perguntas. Sem o vosso amor e carinho certamente não estaria onde estou. Devo-vos tudo o que sou.

Este trabalho também é vosso. A todos o meu sincero Muito Obrigado.

Abstract

Normally Squat Jump (SJ) is classified as a pure concentric muscle action, however it is known that the majority of the individuals cannot execute the SJ without a small amplitude countermovement (SACM) before the push-off phase. The aims of the present study were the following: 1. Understand which body segments contribute more to the SACM; 2. Determine the validity of a linear position transducer and a barrier of photoelectric cells to the control of the level of SACM.

Fifteen (15) male subjects volunteered to participate in the study. Each subject performed a warm up, followed by the evaluation of 4 SJ on a force platform. 2D kinematic analysis of the jump was performed, to study the angular displacement and the angular velocity of the trunk, knee and ankle joints. A barrier of photoelectric cells and a linear position transducer were used to monitor the movement of the trunk.

The validity of the kinematic analysis was evaluated comparing the maximum speed reached in SJ recorded by the kinematic analysis and the force platform ($ICC=0,93$) with a confidence interval of 95% (0,82 - 0,97). The SACM registered by force platform showed a significant correlation with the variation of the angular velocity of the trunk recorded by the kinematic analysis ($p<0,05$, $r^2=0,669$), but not with the variation of the angular velocity of the knee and ankle. The linear variation of velocity recorded by the linear position transducer showed significant correlations with the SACM registered by the force platform ($p<0,05$, $r^2=0,696$), and with the variation of the angular velocity of the trunk ($p<0,05$, $r^2=0,695$). The number of activated cells showed a significant correlation with the SACM ($p<0,05$, $r^2=0,131$), but not with the variation of the angular velocity of the trunk ($p>0,05$, $r^2=0,058$).

The results show that the linear position transducer is a valid instrument to evaluate the presence of a SACM in SJ, thereby improving the assessment of vertical jump tasks in field evaluations.

Key Words: Squat Jump, Small Amplitude Countermovement, Linear Position Transducer.

Resumo

Devido às suas características o Squat Jump (SJ) é classificado como uma tarefa puramente concêntrica. Contudo sabe-se que a grande maioria dos sujeitos não consegue executar apenas o movimento de extensão do membro inferior, realizando involuntariamente um prévio contramovimento de pequena amplitude (CMPA). O presente estudo teve como objetivos, em primeiro lugar, perceber que segmentos corporais mais contribuem para este CMPA e, posteriormente, determinar a validade da utilização de um sensor de deslocamento e uma barreira de células fotoelétricas no controlo do CMPA no SJ.

Quinze (15) sujeitos do género masculino voluntariaram-se para participar no estudo. Cada sujeito realizou, após um aquecimento, 4 SJ sobre uma plataforma de forças. Os saltos foram registados em vídeo a 2D, a uma frequência de 100Hz, para estudar o deslocamento angular e a velocidade angular das articulações do tronco, joelho e tornozelo. Simultaneamente, o deslocamento do tronco foi monitorizado por uma barreira de células fotoelétricas e por um sensor de deslocamento.

A validade dos dados cinemáticos foi avaliada através da comparação da velocidade máxima atingida no SJ, registada pela análise cinemática e pela plataforma de forças. Foi obtido um ICC=0,93 com um intervalo de confiança a 95% (0,82 – 0,97). O CMPA registado pela plataforma de forças demonstrou uma correlação significativa com a variação da velocidade angular do tronco registada pela cinemática ($p < 0,05$; $r^2 = 0,669$), mas não com a variação da velocidade angular do joelho e do tornozelo. A variação da velocidade linear do sensor de deslocamento demonstrou correlações significativas com o CMPA registado pela plataforma ($p < 0,05$; $r^2 = 0,696$) e a variação da velocidade angular do tronco ($p < 0,05$; $r^2 = 0,695$). O número de células ativadas demonstrou uma correlação significativa com o CMPA registado pela plataforma ($p < 0,05$; $r^2 = 0,131$), mas não com a variação da velocidade angular do tronco ($p > 0,05$; $r^2 = 0,058$).

Os resultados do presente estudo indicam que o sensor de deslocamento é um instrumento válido para medir a existência do CMPA no SJ, melhorando assim o processo de avaliação de tarefas de impulsão vertical no âmbito do treino.

Palavras Chave: Squat Jump, Contra Movimento de Pequena Amplitude, Sensor de Deslocamento.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Apresentação do Problema.....	1
1.2. Objetivo do Estudo	3
1.3. Pressupostos e Limitações.....	4
2. Revisão de Literatura	5
2.1. O Squat-Jump: Um Exercício de Treino ou Um Modelo de Estudo?.....	5
2.1.1. Breve Análise Biomecânica	7
2.1.2. Participação Muscular.....	9
2.2. O Squat-Jump na Avaliação da Força	10
2.2.1. Na Avaliação da Potência Muscular.....	11
2.2.2. Na Avaliação (como referência) da Força Reativa.....	13
2.2.3. Métodos Utilizados para Avaliar o Desempenho no Squat Jump	14
2.2.4. Problemas Metodológicos para a sua Validação	15
3. Metodologia	17
3.1. Sujeitos	17
3.2. Design do Estudo	17
3.3. Recolha de Dados e Análise	19
3.3.1. Células Fotoelétricas.....	19
3.3.2. Dados Cinemáticos	20
3.3.3. Força de Reação do Solo.....	22
3.3.4. Sensor de Deslocamento	23
3.3.5. Sincronização dos Dados Cinemáticos	23
3.3.6. Procedimentos de Análise	24
3.3.7. Análise Estatística	26
4. Resultados.....	27
4.1. Validade dos Dados Cinemáticos.....	27
4.2. Desempenho no Squat Jump	28
4.3. Estudo Correlacional	29
5. Discussão e Conclusões.....	35
6. Bibliografia	41

Índice de Figuras

Figura 1. À esquerda a sequência de ações do Squat Jump (SJ). O centro de massa (CM) do sujeito move-se apenas na vertical (indicado pelo círculo a preto). À direita o comportamento da curva de força de reação do solo quando o Squat Jump (SJ) é realizado de forma puramente concêntrica. Adaptado de Linthorne, N. P. (2001). "Analysis of standing vertical jumps using a force platform." American Journal of Physics 69: 1198.	6
Figura 2. À esquerda em cima: Sequência de ações do salto com contramovimento (CMJ). O centro de massa (CM) do sujeito move-se apenas na vertical (indicado pelo círculo a preto). Em cima à direita: Curva de força de reação do solo do CMJ. Em baixo: Curva de velocidade (esquerda) e de aceleração do centro de massa (CM) (direita).	8
Figura 3. Posição inicial do Squat Jump (SJ). Sujeito em posição de agachamento com a barra sobre os ombros. Corda presa a suportes laterais que indica os 90° de flexão do joelho. Marcas refletoras no acrômio, grande trocânter, côndilo femoral externo, maléolo externo e projeção do 5 metatarso.	18
Figura 4. Barreira de 10 Células Fotoelétricas com altura máxima de 1,22 metros e uma inclinação de 45° com a horizontal.	19
Figura 5. Estrutura de calibração composta por 5 pontos de coordenadas conhecidas utilizada como fator de conversão do valor das coordenadas em valores reais.	20
Figura 6. Referencial utilizado no programa Ariel Performance Analysis System (APAS®) na análise do movimento das marcas refletoras.	21
Figura 7. Segmento pé, perna, coxa e tronco (incluindo a cabeça e os membros superiores) e os ângulos do tornozelo, joelho e tronco considerados no programa Ariel Performance Analysis System (APAS®).	22
Figura 8. (1) Formula utilizada para calcular a velocidade do <i>take-off</i> a partir do tempo de voo registado pela plataforma de forças; (2) Formula utilizada para calcular a altura máxima do salto a partir da formula (1). v_{to} – Velocidade no instante do <i>take-off</i> ; g – Aceleração da gravidade; t_{voo} – Tempo de voo; y_{max} – Altura máxima de salto.	23
Figura 9. (3) Formula utilizada para calcular a curva de aceleração do centro de massa (CM) a partir da força de reação do solo (FRS) registada pela plataforma de forças. FR_y – Força Resultante no eixo dos y; FRS – Força de Reação do Solo; P – Peso do sujeito,	

produto entre a massa do sujeito (m) e a aceleração da gravidade (g); a_y – Aceleração no eixo dos y	24
Figura 10. Método de determinação do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA). A. Calculo do valor médio de F_z durante um período de 150 ms (região sombreada). B. Calculo do valor mínimo de F_z (região sombreada). A diferença entre o valor médio inicial e o valor mínimo é o indicador do grau do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA).	25
Figura 11. Em cima: curva da velocidade (m/s) do centro de massa (CM), obtida a partir da componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) (esquerda); curva da velocidade (m/s) do centro de massa (CM), obtida a partir dos dados cinemáticos (direita). Em baixo: componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) (esquerda) e curva do deslocamento (m) do centro de massa (CM) (direita).	27
Figura 12. À esquerda: Representação gráfica da relação entre a velocidade máxima (m/s) atingida pelo centro de massa (CM), determinada a partir da componente vertical das forças de reação do solo (F_z) e determinada a partir dos dados cinemáticos. À direita: Representação gráfica das diferenças dos dois métodos de cálculo da velocidade máxima.	28
Figura 13. Correlação entre o contramovimento de pequena amplitude (CMPA) obtido a partir da componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($^\circ/s$).	30
Figura 14. Correlação entre o contramovimento de pequena amplitude (CMPA) obtido a partir da componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade do sensor de deslocamento (m/s).	31
Figura 15. Correlação entre a variação (Δ) da velocidade do sensor de deslocamento (m/s) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($^\circ/s$).....	32
Figura 16. Correlação entre o número de células ativadas (número de picos) e o contramovimento de pequena amplitude (CMPA) registado pela plataforma de forças (N).	33
Figura 17. Correlação entre o número de células ativadas (número de picos) e o deslocamento angular do tronco ($^\circ/s$).	34

Índice de Tabelas

Tabela 1. Média \pm desvio padrão da idade, massa e altura dos sujeitos avaliados.....	17
Tabela 2. Média \pm desvio padrão e amplitude de variação da altura de salto	29
Tabela 3. Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o ρ -value das correlações entre o contramovimento de pequena amplitude obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco, joelho e tornozelo ($^\circ$ /s).....	29
Tabela 4. Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o ρ -value das correlações entre a variação (Δ) da velocidade linear da barra (m/s) e o contramovimento de pequena amplitude obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($^\circ$ /s).	31
Tabela 5. Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o ρ -value das correlações entre o número de células fotoelétricas ativadas e o contramovimento de pequena amplitude obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação da velocidade angular do tronco ($^\circ$ /s).....	33

Lista de Abreviaturas

1RM – Uma repetição máxima

APAS – Ariel Performance Analysis System

ay – Aceleração no eixo dos y

CM – Centro de massa

CMAE – Ciclo muscular alongamento-encurtamento

CMJ - Salto com contramovimento; Countermovement Jump

CMPA – Contramovimento de pequena amplitude

CMT - Complexo musculo-tendinoso

DJ – Salto em profundidade; Drop Jump

FR – Força resultante

FRS – Forças de reação do solo

FRy – Força Resultante no eixo dos y

Fz – Componente vertical da força de reação do solo

ICC – Coeficiente de correlação intraclasse

mg - Peso do sujeito, produto entre m a massa do sujeito e g a aceleração da gravidade

SJ - Salto a partir de agachamento; Squat Jump

tvoo – Tempo de voo

vto – Velocidade no instante do *take-off*

y_{max} – Altura máxima de salto

1. Introdução

1.1. Apresentação do Problema

Tarefas de impulsão vertical são características de diversas modalidades desportivas contribuindo direta ou indiretamente para o desempenho desportivo (Samozino, et al., 2013; Van Soest, et al., 1994).

Em diversas modalidades algumas destas tarefas de impulsão vertical como o salto a partir de agachamento (*Squat Jump*; SJ), o salto com contramovimento (*Countermovement Jump*; CMJ) e o salto em profundidade (*Drop Jump*; DJ) são utilizadas quer como exercícios de treino quer para avaliar a capacidade de produção de força dos atletas (Baker, 1996).

O SJ é um salto vertical onde os sujeitos partem de uma posição estática de agachamento, com uma angulação dos joelhos a 90°, realizando seguidamente a extensão do membro inferior (Linthorne, 2001; Van Soest, et al., 1994). Este tipo de salto vertical é, devido às suas características, assumido como uma tarefa puramente concêntrica (Dayne, et al., 2011; Hasson, et al., 2004). Contudo, diversos estudos verificaram que a grande maioria dos sujeitos não consegue executar apenas o movimento de extensão (Hasson, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008), realizando involuntariamente uma prévia flexão dos membros inferiores (Pandy & Zajac, 1991; Voigt, et al., 1995) ou do tronco (Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990). Esta prévia flexão, tem sido designada de Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA) (Hasson, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008).

Os instrumentos mais fiáveis para avaliar o SJ e, simultaneamente, verificar a existência deste contramovimento de pequena amplitude (CMPA), são a plataforma de forças (Cronin, et al., 2004; Klavora, 2000) e a análise cinemática (Bobbert, et al., 2008; Bobbert & van Ingen Schenau, 1988; Marques & Izquierdo, 2014; Pandy & Zajac, 1991; Voigt, et al., 1995).

Contudo, devido ao elevado custo, dificuldade de transporte e utilização, estes não são os instrumentos utilizados para avaliar o SJ no âmbito do treino (Cronin, et al., 2004; Klavora, 2000; Markovic, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008).

Neste âmbito, as tarefas de impulsão vertical são avaliadas recorrendo a testes de saltar e alcançar (i.e. *Sargent Jump*), ou utilizando um tapete de contacto, instrumento que mede o tempo de voo, a partir do qual se pode avaliar a altura de salto atingida pelo sujeito (Klavora, 2000; Markovic, et al., 2004).

A avaliação da impulsão vertical, realizada através de testes de saltar e alcançar, apresenta diversas desvantagens quando comparada com um instrumento simples como o tapete de contacto (Markovic, et al., 2004). Este, por sua vez, apresenta vantagens e desvantagens quando comparado com a plataforma de forças ou a análise vídeo. Quando o objetivo é apenas medir a altura de salto atingida pelo sujeito, os tapetes de contacto são uma alternativa válida, fiável, mais económica e de utilização mais fácil do que os instrumentos utilizados em laboratório, o que faz com que no âmbito do controlo do treino se opte quase exclusivamente por utilizar o tapete de contacto (Klavora, 2000). Sabe-se que comparativamente com os saltos com contramovimento (i.e. CMJ) a altura de salto do SJ é inferior (Bobbert, et al., 1996). Esta diferença na performance tem sido atribuída a uma diversidade de fatores, tais como, o armazenamento e utilização de energia elástica no complexo musculotendinoso (CMT) (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Kopper, et al., 2012a), uma melhor relação força-comprimento-velocidade (Finni, et al., 2000; Voigt, et al., 1995; Zajac, 1993) e um maior estado de ativação (pretensão muscular) no instante em que se inicia a extensão do membro inferior (Bobbert & Casius, 2005; Bobbert, et al., 1996; Kopper, et al., 2012a; Linthorne, 2001; Zajac, 1993).

No entanto, não é ainda claro se a realização de um ligeiro contramovimento (1-3 cm) na execução do SJ aumenta ou não a performance de salto, existindo estudos que referem que não (Hasson, et al., 2004) e outros que apontam uma tendência para um aumento de performance (Sheppard & Doyle, 2008). Adicionalmente, também não é ainda claro se um maior grau de contramovimento, do que o observado nos estudos referidos, aumenta significativamente a performance do salto. Por outro lado, este contramovimento, apesar de maior, continua a não ser detetado através da simples observação visual do salto, sendo necessário recorrer à informação recolhida por instrumentos como a plataforma de forças (Sheppard & Doyle, 2008).

Um observador experiente pode, em condição de terreno e apenas com a utilização do tapete de contacto, detetar os CMA de maior dimensão e, dessa forma, invalidar as execuções que consideram acima de um determinado limiar. Contudo, este limiar será sempre subjetivo e muito difícil de standardizar.

Neste sentido, pareceu-nos pertinente investigar alternativas mais económicas e de fácil utilização, que permitam avaliar com maior exatidão a existência de um contramovimento realizado no SJ de forma a melhorar o processo de avaliação deste salto e, conseqüentemente, tornar mais precisa a interpretação dos resultados obtidos no terreno e a posterior prescrição de treino.

1.2. Objetivo do Estudo

O presente estudo teve por objetivo investigar os métodos de deteção do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA) que ocorre na realização de um *Squat Jump*. De forma mais detalhada, este estudo procurou responder às seguintes perguntas:

- 1 – O Contramovimento de Pequena Amplitude, detetado pela componente vertical das forças de reação do solo (F_z), é influenciado pelo contramovimento de que segmentos corporais? Deslocamento do tronco, do joelho ou do tornozelo?
- 2 – A colocação de uma barreira de células fotelétricas, que detete o prévio contramovimento do tronco, pode ser um preditor do Contramovimento de Pequena Amplitude?
- 3 – A utilização de um sensor de deslocamento que monitorize o deslocamento do tronco, pode ser um preditor do Contramovimento de Pequena Amplitude?

1.3. Pressupostos e Limitações

Foram assumidos os seguintes pressupostos na elaboração do presente estudo:

- Todos os sujeitos realizaram os SJ com a técnica correta.
- A barra do sensor de deslocamento estava em contacto com os ombros dos sujeitos durante todo o movimento.

As principais limitações do presente estudo *à priori* foram:

- Reduzido número de saltos.
- Reduzido número de SJ's com Contramovimento de Pequena Amplitude.
- Utilização de um instrumento que mede o deslocamento linear (sensor de deslocamento) para avaliar o deslocamento angular do tronco.
- O espaçamento entre as células fotoelétricas (4 cm). O diâmetro de uma célula fotoelétrica com a rosca que prende a célula à barreira era de 4 cm, o que implica que mesmo colocando as células lado a lado e em contacto umas com as outras, como foi o caso, o espaçamento mínimo possível entre o centro das células era de 4 cm.

2. Revisão de Literatura

2.1. O Squat-Jump: Um Exercício de Treino ou Um Modelo de Estudo?

O *Squat Jump* (SJ; Figura 1) é um salto vertical onde se parte de uma posição estática de agachamento, com os joelhos a 90° de flexão, e posteriormente se faz a extensão do membro inferior com o objetivo de saltar o mais alto possível na vertical (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974). Foi, pela primeira vez, descrito por Asmussen e Bonde-Pettersson (1974) como um exercício que envolvia uma ação puramente concêntrica dos músculos extensores do membro inferior. Nesta medida foi extensivamente usado para comparação com outros tipos de salto vertical, por exemplo o *Countermovement Jump* (CMJ) ou o *Drop Jump* (DJ), como forma de distinguir a participação muscular puramente concêntrica das que envolvem um prévio alongamento muscular, isto é, uma ação excêntrica (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Komi & Bosco, 1978).

Tarefas de impulsão vertical como o SJ são características de diversas modalidades e situações desportivas (Samozino, et al., 2013; Van Soest, et al., 1994). O SJ é nestas modalidades frequentemente utilizado como exercício de treino para os membros inferiores, tendo como principal objetivo desenvolver a potência (Dayne, et al., 2011).

Para desenvolver a potência muscular deve treinar-se com a carga que maximiza a potência mecânica produzida por um determinado sujeito (Kawamori & Haff, 2004). No SJ vários estudos tentaram perceber qual seria esta carga, no entanto, o diferente nível de treino dos sujeitos avaliados, levou a resultados que variam entre o SJ realizado sem cargas adicionais (Cormie, et al., 2007, 2008; 2010a; 2010b; Driss, et al., 2001) até valores que variam entre os 25 e 100% do peso corporal dos sujeitos (Samozino, et al., 2013).

No âmbito da avaliação da performance desportiva, o SJ é um salto que permite, por um lado, medir a impulsão vertical produzida de forma concêntrica, sendo por outro lado amplamente utilizado como um indicador de referência para o treino e avaliação da força reativa (Baker, 1996).

Ao compararmos a performance entre o SJ e os saltos onde ocorre um prévio alongamento, é possível determinar qual a eficiência do ciclo muscular alongamento-encurtamento (CMAE) e posteriormente prescrever o treino com o objetivo de melhorar a performance de salto. Se por um lado o CMAE estiver a ser utilizado de forma

eficiente é prescrito um treino com vista ao aumento dos níveis de força máxima, no entanto, se o CMAE for ineficiente é prescrito um treino com um maior enfoque em exercícios onde ele ocorre, tais como tarefas de impulsão que podem ser feitas no lugar, em progressão ou em profundidade. Estas tarefas podem ser executadas com ou sem cargas adicionais dependendo do nível de treino dos sujeitos (Baker, 1996).

No treino, quer o SJ quer outros saltos verticais, avaliados com um tapete de contacto, são bastante utilizados para estimar a potência dos membros inferiores devido à facilidade, fiabilidade e validade que apresentam em relação a outros testes de impulsão vertical (Markovic, et al., 2004).

Ao nível da investigação, o SJ é frequentemente utilizado como modelo de estudo (Dayne, et al., 2011; Komi, 2000). Neste âmbito, a investigação desenvolvida até ao momento tentou caracterizar os aspetos de natureza biomecânica mais importantes deste tipo de salto (Bobbert & Van Zandwijk, 1999; Linthorne, 2001), a participação muscular (Bobbert & Van Zandwijk, 1999; Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990; Zajac, 1993), qual a distinção entre a função dos músculos mono e biarticulares (Jacobs, et al., 1996; Pandy & Zajac, 1991; Voigt, et al., 1995; Zajac, 1993) e quais os fatores que permitem que a altura de salto seja superior nos saltos com contramovimento (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Bobbert & Casius, 2005; Bobbert, et al., 1996; Finni, et al., 2000; Kopper, et al., 2012a; Linthorne, 2001; Voigt, et al., 1995; Zajac, 1993).

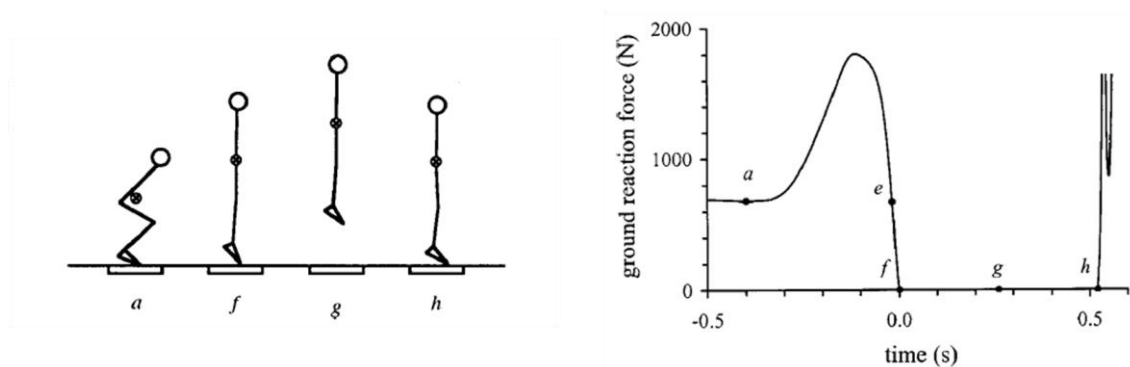


Figura 1. À esquerda a sequência de ações do Squat Jump (SJ). O centro de massa (CM) do sujeito move-se apenas na vertical (indicado pelo círculo a preto). À direita o comportamento da curva de força de reação do solo quando o Squat Jump (SJ) é realizado de forma puramente concêntrica. Adaptado de Linthorne, N. P. (2001). "Analysis of standing vertical jumps using a force platform." *American Journal of Physics* 69: 1198.

2.1.1. Breve Análise Biomecânica

Apesar do SJ ser considerado uma tarefa puramente concêntrica a maioria dos sujeitos apresenta uma curva de força do SJ idêntica à curva de força típica do CMJ, pelo facto de não conseguirem realizar o SJ sem executar um prévio contramovimento (Hasson, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008). Assim para explicar o comportamento da curva de força do SJ é inevitável referir o que acontece no CMJ (Figura 2).

No CMJ o sujeito inicialmente está em posição bípede em cima da plataforma de forças sendo o valor de força registado igual ao peso do corpo do sujeito (Figura 2, ponto a). Para realizar o salto o sujeito inicialmente relaxa os extensores do joelho e da anca permitindo a flexão destas articulações. Sendo a força resultante negativa ($FR = FRS - mg$; FR é a força resultante, FRS é a força de reação do solo e mg é o peso do sujeito, produto entre m a massa do sujeito e g a aceleração da gravidade) e estando o centro de massa (CM) do sujeito a acelerar para baixo. Depois de atingida a aceleração negativa máxima (ponto b) o sujeito começa a ativar os músculos responsáveis pela extensão do membro inferior mas continua a deslocar-se para baixo. Esta ativação muscular faz o valor de força aumentar até o seu valor ser novamente igual ao peso do sujeito o que faz com que a FR e a aceleração sejam nulas (ponto c) (Linthorne, 2001).

A crescente ativação muscular torna seguidamente a FR positiva. O sujeito está nesta fase a acelerar no sentido positivo mas continua a deslocar-se no sentido negativo até se atingir o ponto mais baixo na trajetória do CM (ponto d). Neste ponto, momentaneamente, o sujeito está em repouso mas os extensores do membro inferior estão fortemente ativos e a FR está próxima do seu valor máximo (Linthorne, 2001).

Até aqui, os músculos responsáveis pela execução do salto realizaram uma ação excêntrica começando a partir deste ponto a ação propulsiva (concêntrica) do salto. O CM do sujeito move-se a partir de agora para cima através da extensão dos membros inferiores. A velocidade é agora positiva e aumenta até atingir o valor máximo instantes antes do *take-off* (ponto e). Depois de atingida a velocidade vertical máxima, a força de reação do solo (FRS) torna-se menor que o peso do corpo e a FR e a aceleração são novamente negativas. O CM continua a mover-se para cima, mas cada vez com menor velocidade devido à ação da gravidade (Linthorne, 2001).

Pouco depois dá-se o *take-off*, onde a FRS se torna nula pelo facto do sujeito deixar de estar em contacto com o solo (trajetória aérea), sendo a força da gravidade a única força a atuar sobre o sujeito (ponto f). Nesta fase, o CM sobe até atingir um máximo (ponto g)

e seguidamente desce até o sujeito contactar novamente com o solo (ponto h) (Linthorne, 2001).

No instante da receção ao solo a FRS dispara devido ao impacto e posteriormente torna-se igual ao peso corporal quando o sujeito se encontra estático sobre a plataforma de forças (Linthorne, 2001).

Apesar do SJ ser considerado uma tarefa puramente concêntrica a maioria dos sujeitos apresenta uma curva de força com uma fase excêntrica, fase essa que no entanto apresenta valores menores do que os registados para o CMJ. Contudo, devido ao ligeiro contramovimento executado no SJ, as curvas de ambos os saltos são idênticas e podem ser descritas da mesma forma sendo a principal diferença a posição inicial do salto. No CMJ o sujeito inicia o salto em posição bípede enquanto que no SJ o sujeito inicia o salto em posição de agachamento com uma flexão dos joelhos de 90° (Linthorne, 2001; Sheppard & Doyle, 2008).

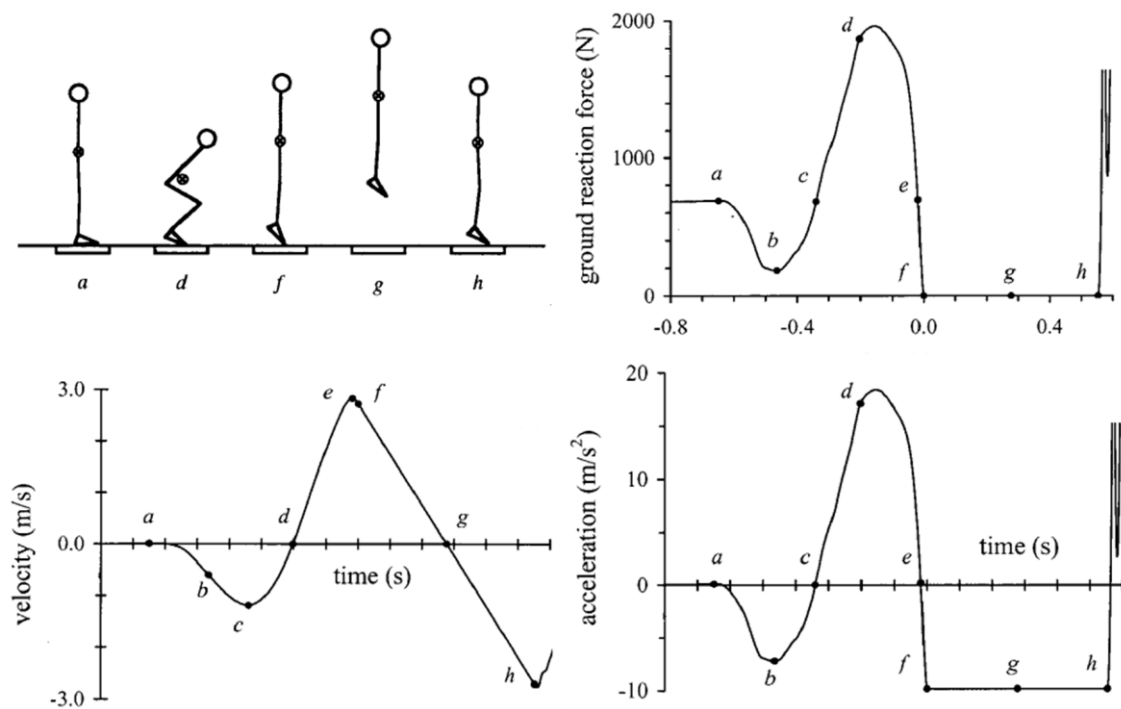


Figura 2. À esquerda em cima: Sequência de ações do salto com contramovimento (CMJ). O centro de massa (CM) do sujeito move-se apenas na vertical (indicado pelo círculo a preto). Em cima à direita: Curva de força de reação do solo do CMJ. Em baixo: Curva de velocidade (esquerda) e de aceleração do centro de massa (CM) (direita).

Adaptado de Linthorne, N. P. (2001). "Analysis of standing vertical jumps using a force platform." American Journal of Physics 69: 1198.

2.1.2. Participação Muscular

Diversos estudos analisaram a participação muscular durante o SJ (Bobbert & Van Zandwijk, 1999; Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990; Zajac, 1993). Os principais resultados mostram que o primeiro grupo muscular a ser ativado são os posteriores da coxa, seguidos dos glúteos, sendo numa fase posterior do salto ativados os extensores do joelho e, muito perto do *take-off*, os flexores plantares. Esta ordem de ativação, que promove inicialmente movimento ao nível da articulação coxofemoral, seguida do joelho e finalmente do tornozelo, foi definida como sequência de ativação próximo-distal (Bobbert & van Soest, 2001; Bobbert & Van Zandwijk, 1999; Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990; Zajac, 1993).

Para que esta ativação próximo-distal seja gerada é necessário que os músculos mono e biarticulares do membro inferior funcionem de forma distinta. Enquanto os músculos monoarticulares contraem com o objetivo de produzir força (Pandy & Zajac, 1991; Zajac, 1993), os músculos biarticulares funcionam como tendões (“ação tendinosa do músculos biarticulares”) e têm a função de transmitir a força produzida pelos músculos monoarticulares (Jacobs, et al., 1996; Voigt, et al., 1995) afinando a coordenação do movimento (Zajac, 1993).

Esta ação dos músculos biarticulares promove uma transmissão da potência. Esta transmissão de potência apresenta contudo resultados controversos, existindo estudos que afirmam uma transmissão de potência muscular desde articulação coxofemoral até ao pé (Jacobs, et al., 1996; Voigt, et al., 1995) e outros uma transmissão de potência que tem como objetivo acelerar os segmentos mais proximais como o tronco e a coxa (Pandy & Zajac, 1991; Zajac, 1993).

Dos resultados destes estudos resulta muito claro o papel dos extensores da bacia e dos posteriores da coxa. Esta participação muscular tenderá a ser aumentada se o SJ for executado com algum nível de contramovimento, isto é, se antes da ação puramente concêntrica dos extensores eles forem objeto de algum nível de pré-estiramento.

2.2. O Squat-Jump na Avaliação da Força

O SJ é assumido como um indicador da potência total dos membros inferiores e, através da sua avaliação, é possível identificar qual o nível de força rápida dos sujeitos (Dayne, et al., 2011; Hasson, et al., 2004). Muitos procedimentos de avaliação podem ser utilizados para determinar este nível de força rápida denominado também de potência. No entanto, a forma mais comum é a utilizada em diversos estudos de Cormie et al. (2007, 2008; 2010a; 2010b). Estes autores avaliam a força e velocidade produzidas durante a execução do SJ com cargas que variam entre os 0% da repetição máxima do agachamento (1RM) e os 90% do 1RM. Através desta avaliação e utilizando uma plataforma de forças para medir a força produzida durante cada execução e um sensor de deslocamento preso à barra que os sujeitos deslocam e que mede a velocidade, é possível traçar a curva de força-velocidade de cada sujeito e, seguidamente, prescrever um processo de treino tendo em vista a melhoria destes perfis de força-velocidade.

Este tipo de avaliação permite também saber em que carga se produz o maior pico de potência, sendo este um aspeto fundamental ao nível do treino da força rápida (Kawamori & Haff, 2004). No SJ, e tendo em conta os resultados daqueles estudos (Cormie, et al., 2007, 2008; 2010a; 2010b), este pico de potência acontece normalmente quando o SJ é realizado sem cargas adicionais (0% do 1 RM). Contudo, no seu estudo de 2007, os autores referem que os vários instrumentos utilizados para calcular o pico de potência (um ou dois sensores de deslocamento, em conjunto ou não com uma plataforma de forças) podem registar valores díspares, sendo aconselhada a utilização de dois sensores de deslocamento em conjunto com uma plataforma de forças como a metodologia mais correta na medição do pico de potência no SJ (Cormie, et al., 2007). Na avaliação da força reativa, muitos autores utilizam a diferença entre a performance do SJ e do CMJ como indicador do nível de treinabilidade do ciclo muscular de alongamento-encurtamento (CMAE) (Baker, 1996). Este procedimento consiste em avaliar a performance de ambos os saltos e através da diferença de resultados perceber qual o tipo de treino mais apropriado para melhorar o CMAE, e consequentemente a força reativa do sujeito. Caso a diferença entre a performance dos dois saltos seja pequena (<10%), o sujeito deve integrar um programa de treino de força reativa visto que não consegue ter uma maior performance em tarefas de CMAE quando comparadas com uma tarefa puramente concêntrica. Se, por outro lado, a diferença entre a performance dos saltos for grande (>20%), o sujeito deve integrar um programa de

treino de força máxima visto que consegue utilizar o CMAE de forma eficiente tendo uma performance bastante melhor neste tipo de tarefas do que no SJ (Baker, 1996).

Em termos de instrumento de medida, a avaliação do SJ pode ser realizada facilmente, recorrendo, por exemplo, a um tapete de contacto. Para que a avaliação seja fiável e válida, é fundamental que os sujeitos estejam habituados a realizar este tipo de tarefa de forma correta, ou seja, sem fazer prévios contramovimentos (Hasson, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008), tanto ao nível do tronco (Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990), como ao nível dos membros inferiores (Pandy & Zajac, 1991; Voigt, et al., 1995). Para além disso, é essencial que os sujeitos tenham uma técnica de receção ao solo do salto, igualmente, correta (Klavora, 2000), caso contrário a performance do salto pode ser sobrestimada, quando se utiliza apenas o tempo de voo como método de cálculo da altura de salto (Linthorne, 2001).

2.2.1. Na Avaliação da Potência Muscular

Sendo o SJ um salto, o seu principal indicador da performance é a altura de salto atingida pelo sujeito (Van Soest, et al., 1994). Assim, e de forma a perceber quais os estímulos de treino que produzem aumentos da performance a este nível, foram desenvolvidos vários estudos, tanto em atletas (Chelly, et al., 2009; Gorostiaga, et al., 1999; Kotzamanidis, et al., 2005; Maio Alves, et al., 2010; Rønnestad, et al., 2012; 2008), como em sujeitos destreinados (Häkkinen & Komi, 1983; Hartmann, et al., 2012; Kubo, et al., 2006; Toumi, et al., 2001).

Nos estudos realizados com atletas encontram-se resultados contraditórios. Estudos onde existem melhorias na performance do SJ após o processo de treino (Chelly, et al., 2009; Maio Alves, et al., 2010; Rønnestad, et al., 2012) e estudos onde não se verificaram diferenças significativas no pré e pós treino (Gorostiaga, et al., 1999; Kotzamanidis, et al., 2005; Rønnestad, et al., 2008). Contudo, nos estudos realizados em sujeitos destreinados foram sempre verificados aumentos de performance (Häkkinen & Komi, 1983; Hartmann, et al., 2012; Kubo, et al., 2006; Toumi, et al., 2001).

Após a análise dos diversos estudos é de notar que as diferenças existentes nos métodos de treino, na duração (estudos a variar entre as 8 e as 13 semanas), e nos exercícios de treino (Agachamento a 90°, Agachamento completo, *Leg Press* Isométrico, *Smith Machine*), dificultam a comparação de resultados (Hartmann, et al., 2012).

Por outro lado e devido à existência de resultados contraditórios, Baker (1996) sugeriu que, comparativamente a indivíduos ou atletas com menores níveis de força, os atletas treinados nesta qualidade física (atletas de elite) parecem não demonstrar aumentos na performance de saltos verticais mesmo quando são verificados grandes aumentos ao nível da força máxima de agachamento, sendo estes níveis alcançados com um programa de treino de força geral (i.e. Agachamento, *Front Squats*, *Split Squats*). Assim sendo, parece que o treino de força com cargas elevadas e/ou exercícios como agachamento, implementados isoladamente, são insuficientes para aumentar a performance de salto em atletas de elite. Nestes atletas parece existir um limite em relação à eficácia do treino de força geral em produzir aumentos na performance de salto, sendo necessário implementar um plano de exercícios especiais (i.e. exercícios de impulsão vertical tais como o SJ e o CMJ) e específicos (i.e. SJ e CMJ realizados com cargas adicionais) para que surjam aumentos significativos ao nível da performance do SJ.

Em indivíduos destreinados (Häkkinen & Komi, 1983; Hartmann, et al., 2012; Kubo, et al., 2006; Toumi, et al., 2001) ou treinados mas com pouca experiência em treino de força (Chelly, et al., 2009; Maio Alves, et al., 2010; Rønnestad, et al., 2012) os exercícios de força gerais promovem um aumento da performance de salto. Segundo Baker (1996) e tendo em conta os estudos feitos com atletas, este aumento pode dever-se ao treino de força *per se* e não devido ao grau de alterações que ocorreram na força máxima. O aumento observado na performance do SJ foi conseguido através de diferentes formas de treino, tendo a performance de salto aumentado através de diversos mecanismos. Segundo este autor pode ser teorizado que o treino de força geral cria condições neuromusculares para que elevados níveis de força sejam produzidos pelo sujeito (i.e. 3 a 5 vezes a massa corporal total), tal como acontece na execução do SJ. Devem também ocorrer alterações morfológicas a nível muscular que contribuem para a melhoria da performance do SJ devido a um aumento do tecido contráctil que permite, efetivamente, a produção de maiores níveis de força durante o salto.

Em sujeitos destreinados a performance do SJ aumenta independentemente do processo de treino de força implementado (Häkkinen & Komi, 1983; Hartmann, et al., 2012; Kubo, et al., 2006; Toumi, et al., 2001), podendo o aumento da performance ser atribuído a diversos fatores, como aumentos de força *per se*, ganhos neurais ao nível da coordenação intra e inter-muscular, e aumentos na taxa de produção de força e no *stiffness* muscular (Kotzamanidis, et al., 2005).

2.2.2. Na Avaliação (como referência) da Força Reativa

Sendo, teoricamente, uma tarefa puramente concêntrica, o SJ tem sido utilizado ao longo do tempo como instrumento de comparação entre o trabalho concêntrico realizado no mesmo e, o trabalho excêntrico-concêntrico realizado noutros tipos de salto com contramovimento, como o CMJ (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Bobbert & Casius, 2005; Bobbert, et al., 1996; Finni, et al., 2000) ou o DJ (Kopper, et al., 2012a; Voigt, et al., 1995).

O primeiro estudo a utilizar esta metodologia foi o de Asmussen & Bonde-Petersen (1974). Com ela, é possível comparar diversos parâmetros de performance do SJ com os obtidos em saltos com contramovimento, procurando perceber quais os fatores que influenciam a maior altura de salto conseguida nos saltos com contramovimento (Bobbert, et al., 1996; Bobbert & Casius, 2005; Kopper, et al., 2012a).

Tendo em conta a literatura, é possível afirmar que a maior altura de salto verificada num salto com contramovimento relativamente ao SJ, é atribuída a uma diversidade de fatores tais como, o armazenamento e utilização de energia elástica no CMT (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Kopper, et al., 2012a), uma melhor relação força-comprimento-velocidade (Finni, et al., 2000; Voigt, et al., 1995; Zajac, 1993) e/ou um maior estado de pretensão muscular no instante em que se inicia a extensão do membro inferior (Bobbert, et al., 1996; Bobbert & Casius, 2005; Kopper, et al., 2012a; Linthorne, 2001; Zajac, 1993).

Ao nível do treino, esta diferença na performance entre o SJ e os saltos com contramovimento evidencia quais os aspetos que devem ser melhorados para que o atleta aumente a sua performance de salto, daí a vantagem da comparação da performance dos mesmos (Baker, 1996).

Baker (1996), refere que se a diferença entre o SJ e o CMJ for reduzida (<10%) este é um indicador de que o ciclo muscular alongamento-encurtamento (CMAE) está a ser utilizado de forma ineficiente. Logo é necessário que se desenvolva um programa de treino com exercícios especiais e específicos com o objetivo de melhorar a eficácia deste CMAE. No entanto, se a diferença entre os dois saltos for grande (>20%) a performance de salto pode ser aumentada com um treino constituído por exercícios gerais onde existe um maior ênfase no desenvolvimento dos elementos contráteis do músculo.

2.2.3. Métodos Utilizados para Avaliar o Desempenho no Squat Jump

De todos os métodos possíveis para avaliar diferentes variáveis do desempenho em tarefas de saltos verticais, existe uma clara distinção entre os métodos utilizados no terreno e os métodos utilizados em laboratório.

Em estudos com um carácter laboratorial, em que se tenta perceber qual a influência ou relação de determinadas variáveis no resultado final, os saltos são normalmente executados sobre plataformas de forças, cujos dados são assumidos como critério de referência para os restantes instrumentos de avaliação e variáveis de estudo (Cronin, et al., 2004; Klavora, 2000).

Para além da plataforma de forças, também a análise cinemática é bastante utilizada no contexto da investigação, no sentido de perceber as relações estabelecidas entre as variáveis cinéticas e cinemáticas e que determinam um melhor desempenho de salto (Cronin, et al., 2004). Contudo, estes equipamentos (plataformas de força e câmaras de vídeo de alta velocidade) têm um custo elevado, são difíceis de transportar e de operar, dificultando assim a sua utilização no terreno, em avaliações em contexto de treino desportivo (Cronin, et al., 2004; Klavora, 2000; Sheppard & Doyle, 2008).

Em contexto laboratorial é, ainda, comum utilizar-se, em conjunto com os métodos referidos, goniómetros normalmente colocados na articulação do joelho, que permitem um controlo das posições angulares iniciais de salto e a deteção imediata de um eventual CMPA nesta articulação durante a fase de impulsão (Kopper, et al., 2012a; Kopper, et al., 2012b; Kubo, et al., 2006). Contudo, se existir um contramovimento ao nível do tronco, sem flexão da articulação do joelho, o goniómetro não consegue detetar o contramovimento realizado. Uma forma de resolver este problema pode consistir em colocar um sensor de deslocamento preso a uma barra que os sujeitos colocam sobre os ombros. O sensor de deslocamento monitorizará o deslocamento da barra, a qual, ao estar junta aos ombros, poderá ser um importante indicador dos movimentos do tronco e, em última análise, do corpo como um todo. Assim, pode ser possível avaliar a existência de contramovimento durante a execução do SJ, seja ele realizado pela flexão do tronco ou do joelho (Sheppard & Doyle, 2008).

No entanto, o sensor de deslocamento é normalmente utilizado com o objetivo de avaliar o deslocamento vertical do salto (Hasson, et al., 2004; Requena, et al., 2012), podendo ser também utilizado para determinar a velocidade de *take-off* (Requena, et al., 2012), ou obter parâmetros indicadores das características de produção de força (Cormie,

et al., 2007; 2004; Marques & Izquierdo, 2014) e/ou de potência (Cormie, et al., 2007; Marques & Izquierdo, 2014; Turner, et al., 2012).

Em estudos com um caráter mais prático em que se pretende apenas verificar se existem ou não melhorias no desempenho, como por exemplo em estudos onde é implementado um processo de treino, o desempenho é avaliado apenas por uma plataforma de forças (Häkkinen & Komi, 1983; Hartmann, et al., 2012; Rønnestad, et al., 2012) ou por um tapete de contacto (Chelly, et al., 2009; Maio Alves, et al., 2010; Markovic, et al., 2004).

Embora os dados obtidos em laboratório sejam mais precisos, os testes realizados no terreno, com aparelhos como o tapete de contacto, são geralmente mais fáceis de aplicar e bastante mais económicos (Klavora, 2000). Sendo uma alternativa válida para avaliar a potência dos membros inferiores (Markovic, et al., 2004), este método é quase sempre o privilegiado em contexto de avaliação no terreno.

2.2.4. Problemas Metodológicos para a sua Validação

Como referido anteriormente, as principais limitações dos SJ são a dificuldade sentida pelos sujeitos em realizar a tarefa sem efetuar um contramovimento (Hasson, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008), seja através da flexão dos membros inferiores (Pandy & Zajac, 1991; Voigt, et al., 1995) ou do tronco (Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990).

Na avaliação de saltos verticais em contexto de treino são normalmente utilizados tapetes de contacto ou métodos de saltar e alcançar (i.e. *Sargent Jump*), não sendo possível detetar através destes instrumentos, a existência de um CMPA durante a execução do teste. Nestes casos, esta análise é realizada por observação visual dos saltos sendo possível, por vezes, detetar a existência do contramovimento. No entanto, este método não é eficaz, sendo considerados válidos saltos que, caso fossem executados sobre uma plataforma de forças, revelariam um claro CMPA (Sheppard & Doyle, 2008). Hasson et al. (2004) num estudo realizado com atletas e não atletas, verificaram que na grande maioria dos SJ efetuados, existia a ocorrência de um CMPA. No entanto, quando o deslocamento vertical do CM, medido através de um sensor de deslocamento era de 1 a 3 cm não se verificavam aumentos significativos na altura de salto. Contudo, não se

percebe-se um maior contramovimento, executado pelos sujeitos de forma involuntária, contribui ou não para uma melhoria da performance do salto.

Num outro estudo Sheppard & Doyle (2008) obtiveram resultados diferentes do estudo anterior. Ao avaliarem a presença de um CMPA no SJ verificaram, na população de atletas estudados, que este contramovimento na ordem de 1-3 cm influenciava a performance do salto. São resultados contraditórios a justificar uma reanálise do problema.

Assim, não é ainda claro se um CMPA pode ou não influenciar a altura de salto do SJ, ou qual o limite de contramovimento aceitável que não faz com que a altura de salto se altere em comparação com um SJ executado de forma puramente concêntrica.

Apesar da plataforma de forças ser considerada o critério de referência para avaliar diversas tarefas de impulsão vertical, continua a ser irrealista a utilização deste instrumento no contexto de terreno, sendo necessário recorrer a outro equipamento de avaliação (Cronin, et al., 2004; Klavara, 2000; Sheppard & Doyle, 2008).

3. Metodologia

3.1. Sujeitos

A amostra foi constituída por 15 voluntários do género masculino, cujas características se apresentam na Tabela 1. Os sujeitos eram fisicamente ativos mas não treinados especificamente em qualquer tipo de salto vertical. Foram excluídos do estudo, todos os voluntários que mencionaram historial de dor ou lesão a nível do membro inferior.

Todos os sujeitos foram informados dos potenciais riscos do estudo antes de assinarem um consentimento informado para participar no mesmo. Todos os procedimentos foram avaliados e aprovados pelo Conselho de Ética da Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa.

Tabela 1. Média \pm desvio padrão da idade, massa e altura dos sujeitos avaliados

Idade (anos)	Massa (Kg)	Altura (m)
24,20 \pm 5,12	74,40 \pm 7,70	1,76 \pm 0,04

3.2. Design do Estudo

Os sujeitos foram avaliados apenas numa única sessão, na qual realizaram 4 SJ com um intervalo de 1 minuto entre execuções. Os saltos foram realizados sobre uma plataforma de forças e filmados no plano sagital por uma câmara de vídeo que registou o movimento a 100 imagens por segundo. Previamente à avaliação, os sujeitos realizaram um aquecimento de 5 minutos de corrida numa passadeira (velocidade entre 8 a 10 Km/h) e vários CMJ.

Após o aquecimento e antes do primeiro salto, foram definidos os 90° de flexão do joelho, e marcado o limite de flexão com uma pequena corda presa a dois suportes laterais (Figura 3). Os sujeitos foram, então, instruídos para, na execução de cada SJ, realizarem, à voz de “Prepara”, um agachamento até tocarem com as coxas na corda e, cerca de 1 segundo depois, à voz de “Salta”, uma extensão rápida e potente dos membros inferiores.

Durante a execução dos saltos foi pedido aos sujeitos que mantivessem as mãos em contacto com uma barra de madeira instrumentada com um sensor de deslocamento, que colocaram sobre os ombros e que mantinham durante todo o movimento. Desta forma os membros superiores dos sujeitos não participaram na dinâmica do salto.

Foi também pedido aos sujeitos que saltassem o mais alto possível, que o fizessem apenas na vertical e que a receção ao solo ocorresse com todo o membro inferior em extensão.

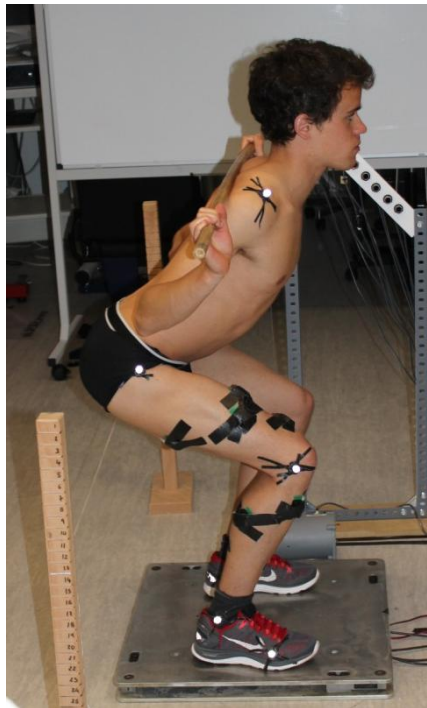


Figura 3. Posição inicial do Squat Jump (SJ). Sujeito em posição de agachamento com a barra sobre os ombros. Corda presa a suportes laterais que indica os 90° de flexão do joelho. Marcas refletoras no acrómio, grande trocânter, côndilo femoral externo, maléolo externo e projeção do 5 metatarso.

3.3. Recolha de Dados e Análise

3.3.1. Células Fotoelétricas

De forma a controlar o grau de contramovimento efetuado pelo tronco durante a execução dos SJ foram colocadas, de forma sequencial, 10 células fotoelétricas num suporte com 45° de inclinação em relação à horizontal, a uma altura máxima de 1,22 m e com uma distância entre células de 4 cm (Figura 4). Sempre que o movimento do sujeito interrompia a comunicação entre o emissor e respetivo refletor, as células emitiam um sinal analógico que era captado pela placa analógico-digital. Cada célula emitia um sinal de 0,5 Volts superior à anterior, com exceção da última que emitia um sinal 0,2 Volts superior à anterior, de forma a perceber-se quais as células interrompidas durante o movimento do tronco do sujeito. Em resumo, a primeira célula emitia um sinal de 0,5 V enquanto a última emitia uma sinal de 4,8 V. Estes sinais foram adquiridos pelo sistema de conversão analógico-digital, de forma sincronizada com os restantes sinais (força e deslocamento).

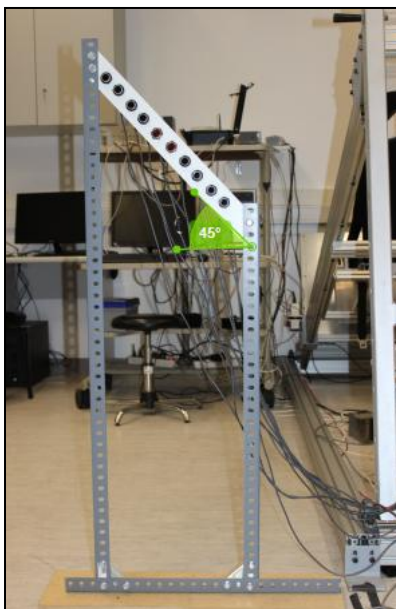


Figura 4. Barreira de 10 Células Fotoelétricas com altura máxima de 1,22 metros e uma inclinação de 45° com a horizontal.

3.3.2. Dados Cinemáticos

Todos os saltos foram filmados no plano sagital a uma frequência de 100 imagens por segundo, por uma câmara digital (JVC, GR-DVL9800U), colocada a uma altura de 2.30 m perpendicularmente ao plano sagital dos sujeitos avaliados. Foi utilizado um referencial de calibração composto por 5 pontos ocupando uma área de 0,4x1,57 m, que foi gravado antes das avaliações, para posterior utilização como fator de conversão do valor das coordenadas em valores reais (Figura 5). As coordenadas dos 5 pontos de calibração eram conhecidas tendo em conta o zero do referencial utilizado. A estrutura foi colocada no centro da plataforma durante a calibração e após a mesma foi retirada. O zero do referencial foi definido à esquerda da estrutura e no plano horizontal da base da plataforma (plano definido pelos eixos dos x e z na Figura 6). Os sujeitos foram instrumentados com 5 marcas refletoras de 1,5 cm de diâmetro, colocadas sobre proeminências ósseas previamente definidas: acrómio, grande trocânter, côndilo femoral externo, maléolo externo e na projeção do 5 metatarso do lado direito dos sujeitos (Figura 3).

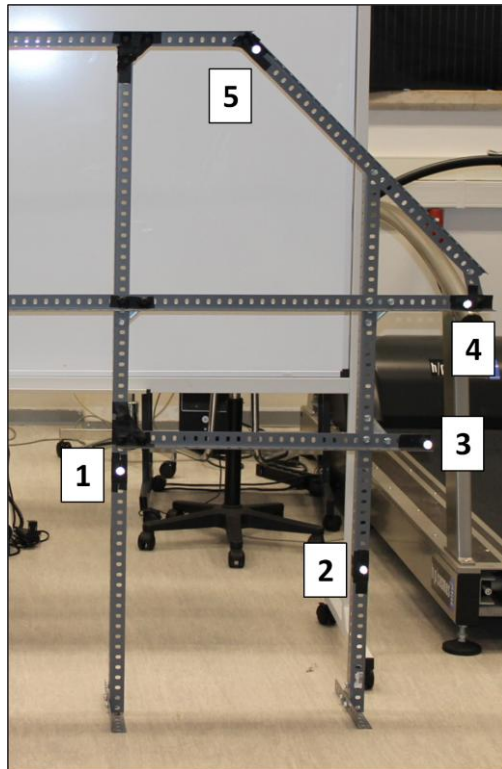


Figura 5. Estrutura de calibração composta por 5 pontos de coordenadas conhecidas utilizada como fator de conversão do valor das coordenadas em valores reais.

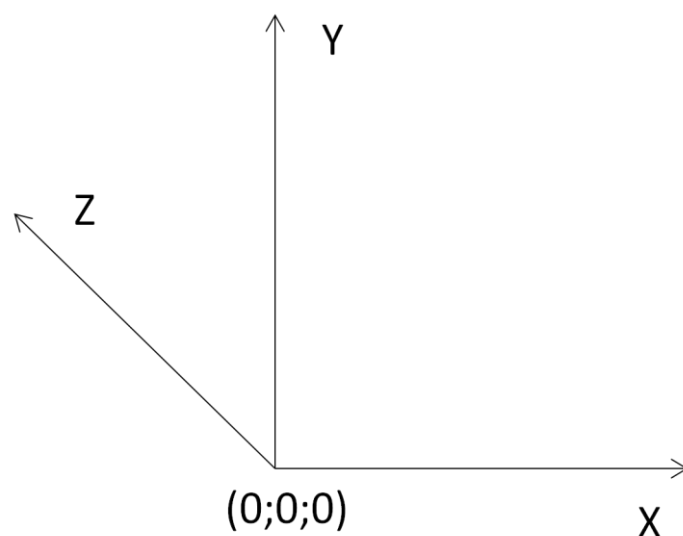


Figura 6. Referencial utilizado no programa Ariel Performance Analysis System (APAS[®]) na análise do movimento das marcas refletoras.

O sistema de análise de movimento Ariel Performance Analysis System (APAS[®]) foi utilizado para digitalizar o deslocamento das marcas refletoras, permitindo a construção de um modelo biomecânico composto por 4 segmentos corporais: pé, perna, coxa e tronco, incluindo este último os membros superiores e a cabeça dos sujeitos (Figura 7).

No APAS foram feitos os seguintes passos na análise dos saltos:

- 1- No módulo *Trimmer* foi encontrada a primeira imagem onde o trigger aparece e esta foi considerada a primeira imagem do salto.
- 2- No módulo *Digitize* foram identificadas as marcas refletoras e definidos os 4 segmentos (pé, perna, coxa e tronco).
- 3- Após digitalizadas as marcas refletoras o ficheiro de análise foi transformado em 2D-DLT no módulo *Transform*.
- 4- Os dados foram exportados para o Excel para posterior tratamento.

Por último foram importados para a aplicação Acqknowledge versão 4.1. os dados cinemáticos do deslocamento e velocidade do centro de massa (CM), o deslocamento angular do tronco (ângulo segmentar da articulação coxofemoral), joelho e tornozelo (ângulos considerados representados na Figura 7).

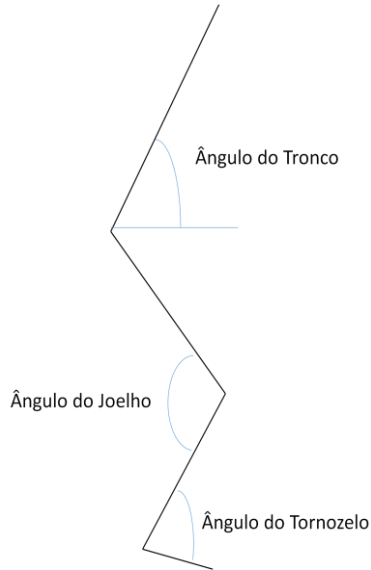


Figura 7. Segmento pé, perna, coxa e tronco (incluindo a cabeça e os membros superiores) e os ângulos do tornozelo, joelho e tronco considerados no programa Ariel Performance Analysis System (APAS[®]).

3.3.3. Força de Reação do Solo

Todos os saltos foram executados sobre uma plataforma de forças unidimensional (F_z). A componente vertical da FRS foi digitalizada, a uma frequência de 1000 Hz, de forma sincronizada com os restantes sinais (células fotoelétricas e sensor de deslocamento). O sistema de conversão analógico-digital foi a placa Biopac-150 (16 bits) e o software AcqKnowledge versão 4.1.

Através da curva de força foi calculado o tempo de voo do salto, para tal foi considerado que o sujeito estava em trajetória aérea quando os valores registados pela plataforma de forças eram iguais ou inferiores a zero. Através do tempo de voo foi calculada a velocidade do sujeito no instante do *take-off*. A partir da velocidade do *take-off* foi calculada a altura máxima de salto (Figura 8).

$$(1) v_{to} = \frac{g \times t_{voo}}{2}$$

$$(2) y_{max} = \frac{v_{to}^2}{2g}$$

Figura 8. (1) Formula utilizada para calcular a velocidade do *take-off* a partir do tempo de voo registado pela plataforma de forças; (2) Formula utilizada para calcular a altura máxima do salto a partir da fórmula (1). v_{to} – Velocidade no instante do *take-off*; g – Aceleração da gravidade; t_{voo} – Tempo de voo; y_{max} – Altura máxima de salto.

3.3.4. Sensor de Deslocamento

Para procurar monitorizar o deslocamento do tronco, a barra que os sujeitos tinham colocado sobre os ombros estava ligada numa das extremidades a um sensor de deslocamento utilizado para medir o deslocamento vertical da barra (Sheppard & Doyle, 2008). Quando os sujeitos se encontravam na posição de flexão de joelhos a 90°, e com a barra sobre os ombros o sensor de deslocamento foi calibrado para a um valor zero. O sinal do deslocamento foi digitalizado a 1000Hz de forma sincronizada com os sinais de força e das células.

3.3.5. Sincronização dos Dados Cinemáticos

Para sincronizar os sinais analógicos e cinemáticos foi utilizado um trigger. O trigger, consistiu num sinal luminoso, que estava ligado ao conversor analógico-digital e quando acionado enviava simultaneamente um sinal de 5 V acionando um led que era captado na imagem vídeo. A primeira imagem em que era visível o led aceso foi definida como o instante zero, que correspondia também ao primeiro instante em que eram registados dados de interesse ao nível dos sinais analógicos.

Como a frequência de amostragem dos dados cinemáticos foi de 100 Hz foi necessário fazer uma redigitalização para 1000 Hz, de forma a sincronizá-las com o sinal de força, das células fotoelétricas e do sensor de deslocamento.

3.3.6. Procedimentos de Análise

Todos os sinais foram processados com o software AcqKnowledge versão 4.1. Todos os sinais foram filtrados com um filtro passa baixo (8 Hz) antes de qualquer processamento.

Para verificar a validade dos dados cinemáticos, comparámos a velocidade máxima do deslocamento do centro de massa (CM), calculada a partir dos dados cinemáticos e a partir da curva de força (Fz).

A partir da curva de força foi calculada a curva de aceleração do CM, para isso, foi subtraída à curva de força o peso do sujeito e depois feita a divisão pela massa do mesmo (Figura 9). Seguidamente foi calculado o integral da curva de aceleração obtendo-se assim a curva de velocidade do CM. O valor de velocidade máxima registado nesta curva foi comparado com esse mesmo parâmetro da curva da velocidade do CM obtida através da análise cinemática (Figura 11).

Para a determinação do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA) foi utilizado o sinal de força (Fz). Durante a fase preparatória do movimento em que os sujeitos se encontram em posição de agachamento antes de saltar e em que o valor de força é constante e igual ao peso do corpo do sujeito, foi calculado o valor médio de Fz durante um período de 150ms. Seguidamente, foi verificado se existia uma depressão no valor de Fz antes da fase propulsiva e registado o seu valor. A diferença entre o valor inicial e o valor mínimo do contramovimento foi utilizado como indicador do grau de contramovimento (CMPA) efetuado no SJ (Figura 10).

$$(3.1) FR_y = FRS - P$$

$$(3.2) ma_y = FRS - mg$$

$$(3.3) a_y = \frac{FRS - mg}{m}$$

Figura 9. (3) Formula utilizada para calcular a curva de aceleração do centro de massa (CM) a partir da força de reação do solo (FRS) registada pela plataforma de forças. FR_y – Força Resultante no eixo dos y; FRS – Força de Reação do Solo; P – Peso do sujeito, produto entre a massa do sujeito (*m*) e a aceleração da gravidade (*g*); a_y – Aceleração no eixo dos y.

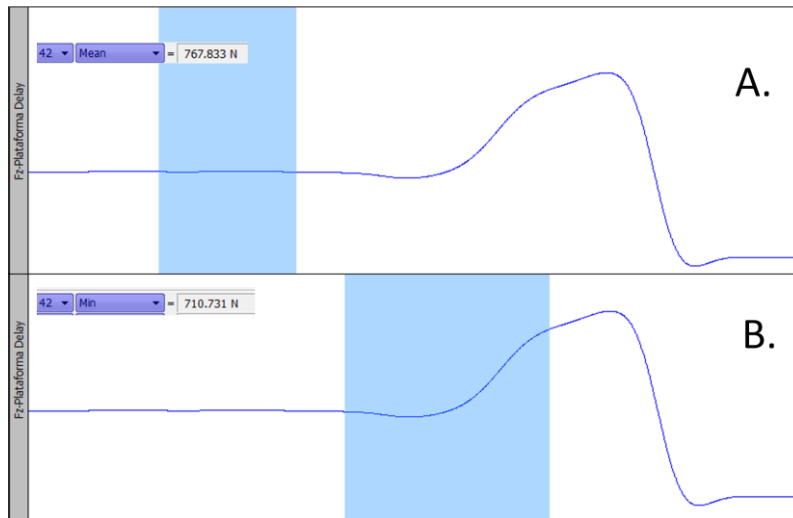


Figura 10. Método de determinação do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA). A. Cálculo do valor médio de F_z durante um período de 150 ms (região sombreada). B. Cálculo do valor mínimo de F_z (região sombreada). A diferença entre o valor médio inicial e o valor mínimo é o indicador do grau do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA).

Os dados do deslocamento angular do tronco, do joelho e do tornozelo, foram derivados, com uma janela temporal de 10 ms, para determinação das respectivas velocidades angulares. Depois de calculada a velocidade angular de cada um destes segmentos corporais, foi utilizado um procedimento similar ao descrito anteriormente, para a determinação do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA).

Desta forma, para cada salto foram obtidas as diferenças entre o valor médio obtido na fase inicial do movimento e o valor mínimo encontrado antes do início da fase propulsiva.

Relativamente às células fotoelétricas foi contado qual o número de picos existentes entre a fase estática do SJ e o valor de velocidade de CM igual a 0 que indica o final da fase excêntrica do salto, caso ela exista.

Do total de 60 saltos recolhidos foram considerados 55 para posterior análise estatística.

3.3.7. Análise Estatística

Os dados recolhidos foram analisados no programa estatístico SPSS Statistics para o Windows versão 20.0, 2011 (SPSS Inc., IBM Company, Chicago). Em todos os testes, o nível de significância considerado foi de $\rho < 0,05$.

Em primeiro lugar foi calculado o coeficiente de correlação intraclassa (ICC) entre os valores de velocidade máxima obtidos pela plataforma de forças e pela análise cinemática com o objetivo de perceber a validade da cinemática do nosso estudo.

Posteriormente foram analisados os coeficientes de correlação de Pearson (r) e os coeficientes de determinação (r^2) com o objetivo de perceber a existência ou não de uma associação entre as diferentes variáveis de interesse.

4. Resultados

4.1. Validade dos Dados Cinemáticos

Do total de 55 saltos analisados foram escolhidos aleatoriamente 20 saltos para analisar a validade dos dados cinemáticos através da comparação destes com os dados obtidos a partir da curva de força (F_z). Assim, foi comparado o valor de velocidade máxima, obtido durante a fase propulsiva do CM, calculada através da análise cinemática e a velocidade máxima do CM determinada através do integral da aceleração da curva de força (Figura 11).

A partir da curva de força foi calculada a curva de aceleração do CM subtraindo à primeira o peso do sujeito e feita a divisão pela massa do mesmo, obtendo-se a curva de aceleração. Por fim, através do integral da curva de aceleração obtida resulta a curva de velocidade do CM. O valor de velocidade máxima desta curva foi comparado com o valor de velocidade máxima da curva de velocidade do CM obtida pela análise cinemática (Figura 11).

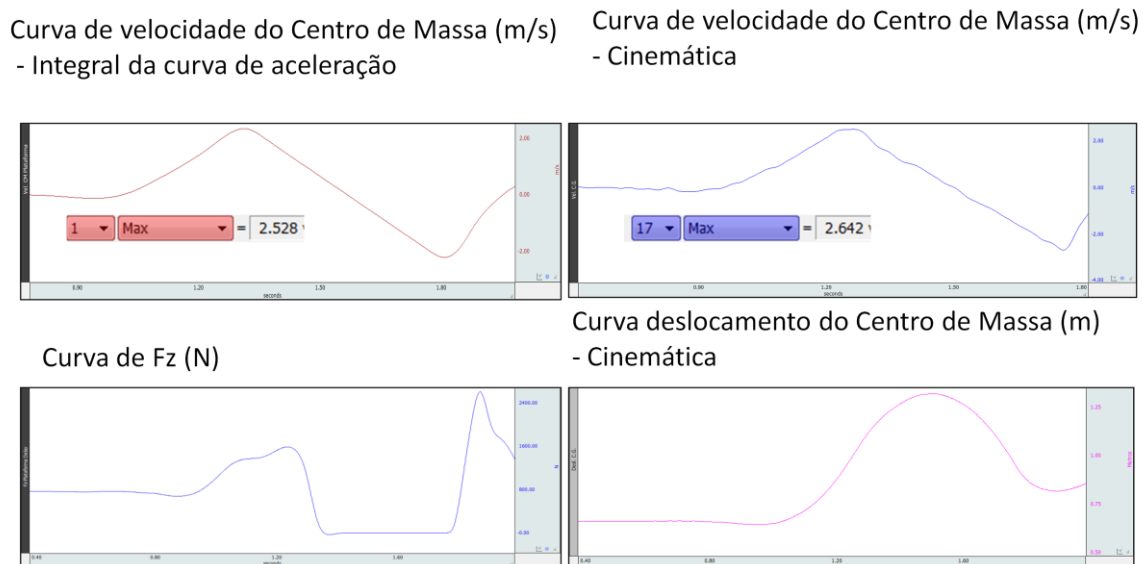


Figura 11. Em cima: curva da velocidade (m/s) do centro de massa (CM), obtida a partir da componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) (esquerda); curva da velocidade (m/s) do centro de massa (CM), obtida a partir dos dados cinemáticos (direita). Em baixo: componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) (esquerda) e curva do deslocamento (m) do centro de massa (CM) (direita).

Para avaliar a validade dos dados cinemáticos foi calculado o coeficiente de correlação intra-classe (ICC) entre os resultados obtidos entre a velocidade máxima obtida pela curva de força (Fz) e pela análise cinemática.

Os resultados demonstram um ICC de 0,93 para um intervalo de confiança a 95% (0,82 a 0,97). A figura 12 demonstra a correlação entre a velocidade máxima do CM calculada pela plataforma de força e pela análise cinemática. Através da figura 12 é possível verificar que a análise cinemática sobrestima ligeiramente a velocidade do CM, sendo a maior variação registada entre os dois instrumentos de análise de 0,3 m/s, resultado que para os objetivos do nosso estudo é aceitável, estando assim comprovada a validade dos nossos dados cinemáticos.

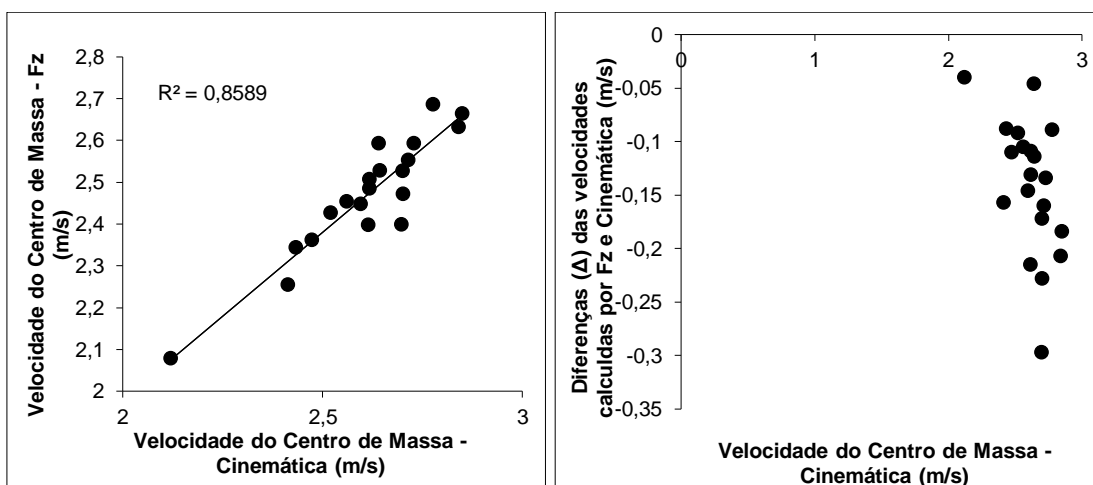


Figura 12. À esquerda: Representação gráfica da relação entre a velocidade máxima (m/s) atingida pelo centro de massa (CM), determinada a partir da componente vertical das forças de reação do solo (Fz) e determinada a partir dos dados cinemáticos. À direita: Representação gráfica das diferenças dos dois métodos de cálculo da velocidade máxima.

4.2. Desempenho no Squat Jump

No SJ, assim como noutras tarefas de impulsão vertical o indicador de desempenho mais comum é a altura de salto. Ao analisarmos a altura de salto dos sujeitos do nosso estudo verificamos uma média de $22,9 \pm 3,5$ cm. O melhor salto situou-se a 29,6 cm e o pior registo em 14,0 cm (Tabela 2). Estes resultados são valores baixos, podendo ser explicados pelo facto de a amostra do estudo ser constituída por sujeitos ativos com boa técnica de execução neste tipo de tarefa, mas que não são atletas de modalidades onde o SJ é utilizado como método de treino ou avaliação.

Tabela 2. Média \pm desvio padrão e amplitude de variação da altura de salto

Altura de Salto (cm)	Amplitude de Variação (cm)
22,9 \pm 3,5	29,6 - 14,0

4.3. Estudo Correlacional

O estudo correlacional foi efetuado para verificar quais os segmentos corporais que mais contribuem, com o seu movimento, para a existência e para a dimensão do Contramovimento de Pequena Amplitude (CMPA). Com este objetivo foi calculado o CMPA através da determinação da diferença entre a média do valor de força da fase estática do salto e o valor mínimo registado na curva de força antes do início da fase propulsiva (Figura 10).

Utilizando este mesmo procedimento, foi determinada a diferença entre a velocidade angular inicial (fase estática) e a velocidade mínima registada antes do início da fase propulsiva, para as três articulações. A tabela 3 apresenta os valores do estudo correlacional entre o CMPA e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco, joelho e tornozelo.

Tabela 3. Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o p -value das correlações entre o contramovimento de pequena amplitude obtido a partir da componente vertical (F_z) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco, joelho e tornozelo ($^\circ/s$).

	Contramovimento de pequena amplitude (CMPA) da plataforma de forças		
	r	r^2	p -value
Varição (Δ) da velocidade angular do tronco	0,818	0,669	0,000*
Varição (Δ) da velocidade angular do joelho	0,092	0,008	0,504
Varição (Δ) da velocidade angular do tornozelo	0,241	0,058	0,076

* Correlações significativas ($p < 0,05$).

O ângulo do tronco foi o único dos ângulos considerados a evidenciar uma elevada correlação com o CMPA. Os valores do coeficiente de correlação registados para as articulações do joelho e do tornozelo, não mostraram qualquer associação, pelo que parecem ser menos determinantes para o CMPA. Ao invés e como se pode observar na figura 13, a articulação do tronco parece explicar em cerca de 67% a dimensão do CMPA.

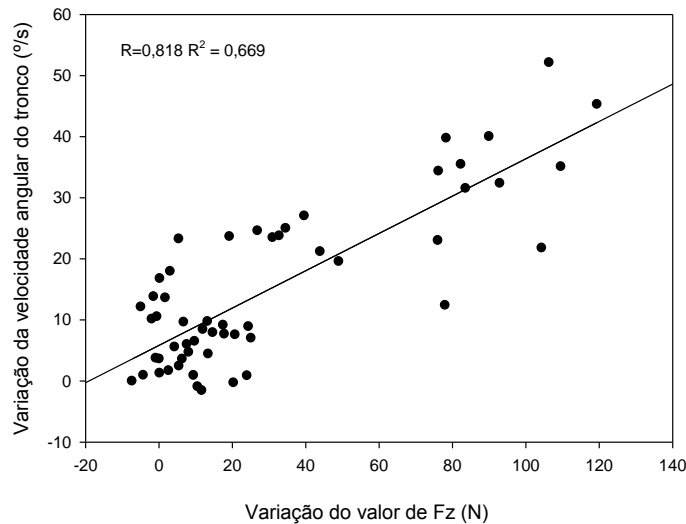


Figura 13. Correlação entre o contramovimento de pequena amplitude (CMPA) obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($^{\circ}/s$).

Existindo uma correlação entre o CMPA e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco, foi explorada a correlação entre estas duas variáveis e os instrumentos de avaliação que pretendemos validar para a deteção do CMPA.

A tabela 4 apresenta os resultados das correlações do CMPA com variação (Δ) da velocidade linear da barra que estava ligada ao sensor de deslocamento, bem como entre a variação (Δ) da velocidade do tronco e a variação (Δ) da velocidade linear da barra.

Tabela 4. Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o ρ -value das correlações entre a variação (Δ) da velocidade linear da barra (m/s) e o contramovimento de pequena amplitude obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($^\circ/s$).

	Variação (Δ) da velocidade linear da barra		
	r	r^2	ρ -value
Contramovimento de pequena amplitude (CMPA) da plataforma de forças	0,844	0,696	0,000*
Variação (Δ) da velocidade angular do tronco	0,833	0,695	0,000*

* Correlações significativas ($\rho < 0,05$).

As figuras 14 e 15 ilustram a relação existente entre o CMPA e a variação (Δ) da velocidade do tronco com a variação (Δ) da velocidade linear da barra do sensor de deslocamento.

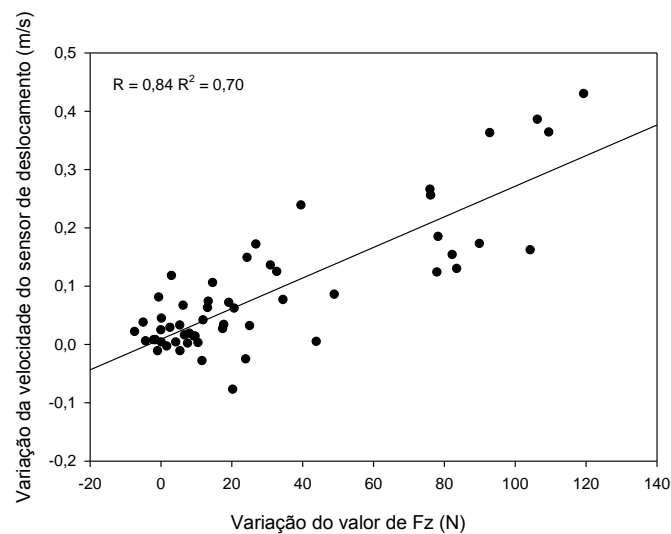


Figura 14. Correlação entre o contramovimento de pequena amplitude (CMPA) obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação (Δ) da velocidade do sensor de deslocamento (m/s).

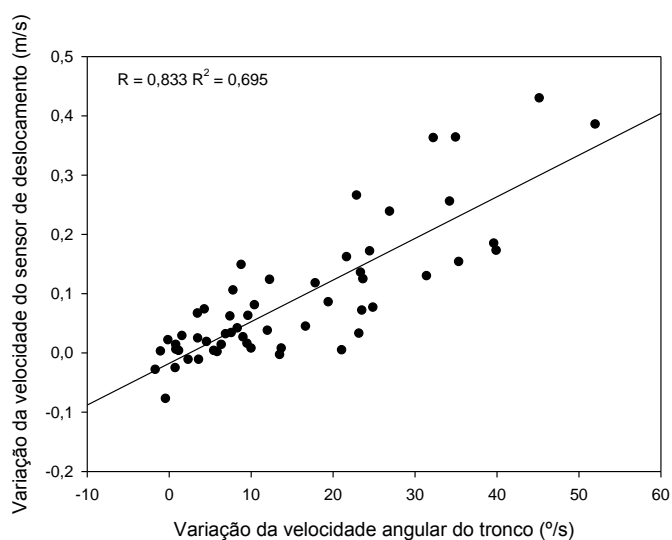


Figura 15. Correlação entre a variação (Δ) da velocidade do sensor de deslocamento (m/s) e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($^{\circ}$ /s).

O valor de r^2 de ambas as correlações é de cerca de 0,70, o que nos permite dizer que a capacidade explicativa da variação (Δ) da velocidade linear da barra do sensor relativamente ao CMPA e à variação (Δ) da velocidade do tronco é de 70%.

Por último, foi feita a análise entre o CMPA e o número de células fotelétricas ativadas pelo movimento do tronco. Foi também comparado o número de células ativadas e a variação da velocidade angular do tronco.

O número de células ativadas durante o CMPA demonstrou uma correlação significativa com o CMPA ($p < 0,05$; Tabela 5), contudo o valor do coeficiente de determinação é muito baixo ($r^2 = 0,131$) não tendo assim uma capacidade explicativa sobre o CMPA. Relativamente à sua correlação com a variação da velocidade angular do tronco não foram encontradas correlações significativas entre as duas variáveis ($p > 0,05$; Tabela 5).

Tabela 5. Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o ρ -value das correlações entre o número de células fotoelétricas ativadas e o contramovimento de pequena amplitude obtido a partir da componente vertical (Fz) das forças de reação do solo (N) e a variação da velocidade angular do tronco ($^{\circ}/s$).

	Número de células fotoelétricas ativadas		
	r	r^2	ρ -value
Contramovimento de pequena amplitude (CMPA) da plataforma de forças	0,362	0,131	0,007*
Variação (Δ) da velocidade angular do tronco	0,241	0,058	0,077

* Correlações significativas ($\rho < 0,05$).

As figuras 16 e 17 ilustram os resultados das correlações entre as células fotoelétricas e, respetivamente, o CMPA e a velocidade angular do tronco.

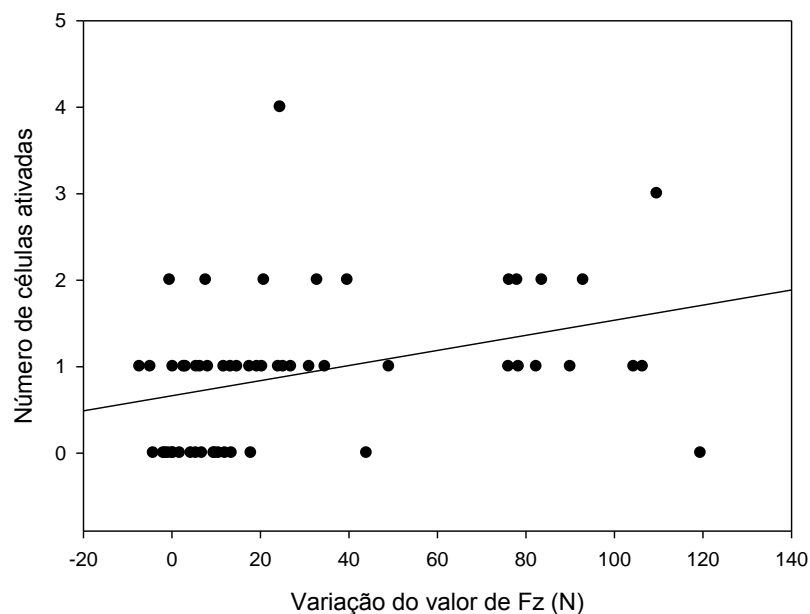


Figura 16. Correlação entre o número de células ativadas (número de picos) e o contramovimento de pequena amplitude (CMPA) registado pela plataforma de forças (N).

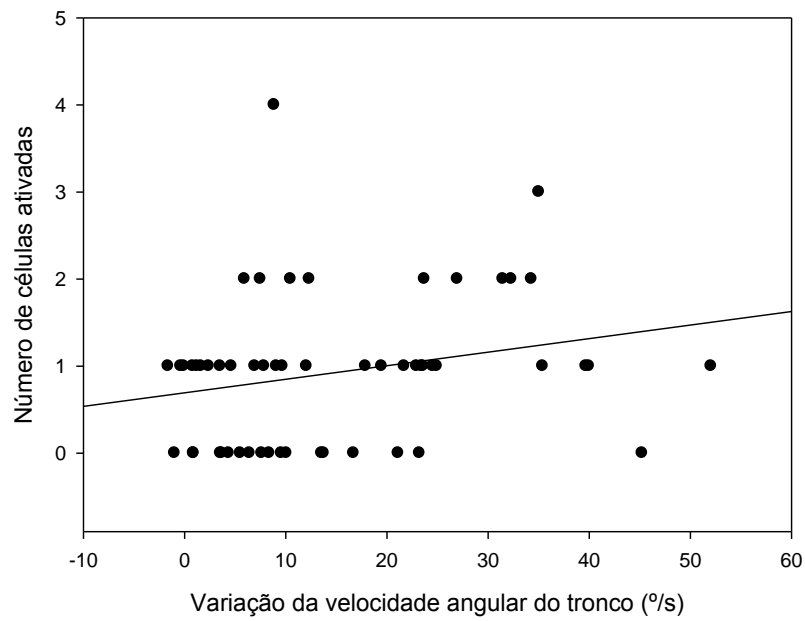


Figura 17. Correlação entre o número de células ativadas (número de picos) e o deslocamento angular do tronco (°/s).

Uma simples observação destas duas figuras permite verificar que as células não tiveram capacidade de discriminar entre saltos com e sem CMPA. O fato de a mesma célula ter “disparado” para SJ com níveis de CMPA muito diferentes, permite admitir essa falta de capacidade de distinção.

5. Discussão e Conclusões

O presente estudo teve como objetivo avaliar a validade da utilização de um sensor de deslocamento ou uma barreira de células fotelétricas no controlo do CMPA que ocorre na execução do SJ. A importância deste estudo deve-se, em primeiro lugar, ao facto de em situação de terreno/treino o SJ ser normalmente avaliado sem a presença de um instrumento que detete o CMPA. Em segundo lugar, mencionando a literatura (Sheppard & Doyle, 2008), porque a presença deste contramovimento pode contribuir para um aumento da performance de salto, pareceu-nos fundamental procurar um método de terreno que permitisse a distinção entre SJ com e sem CMPA, o qual fosse de fácil utilização e de aplicação no terreno (Cronin, et al., 2004; Klavora, 2000; Sheppard & Doyle, 2008).

No presente estudo o nosso primeiro passo foi a validação da qualidade dos nossos dados cinemáticos. Sabemos que a cinemática pode ter sempre um erro associado, o qual pode advir de erros na colocação das marcas devido à diversidade morfológica dos sujeitos, ou a possíveis movimentos artefacto das marcas cinemáticas na pele ou até devido à qualidade da imagem que pode levar a erros no processo de digitalização. Assim, e de forma a avaliar qual o erro associado à cinemática foi determinado o ICC entre o valor de velocidade máxima obtido a partir da curva de força e esse mesmo valor obtido pelos dados cinemáticos. Os resultados revelaram que a cinemática sobrestima a velocidade no máximo em 0,3 m/s. O valor de ICC foi de 0,93 com um limite mínimo no intervalo de confiança a 95% de 0,82 e um limite máximo de 0,97. Assim e tendo em conta o objetivo do nosso estudo, o erro verificado na análise cinemática é aceitável, sendo possível a utilização tanto dos dados da plataforma de força como dos dados cinemáticos para comparação com as restantes variáveis de interesse.

Após confirmada a validade dos dados cinemáticos foi feita a análise da curva de força (Fz) onde foi possível determinar se existiu um prévio CMPA antes da fase propulsiva do salto, o qual promove uma diminuição dos valores de força abaixo do valor de peso corporal (Hasson, et al., 2004; Sheppard & Doyle, 2008). Analisando as curvas de força e tentado analisar quais as variáveis que poderiam explicar esta diminuição, verificou-se que a variável que melhor a explica é a variação (Δ) de velocidade angular do tronco que ocorre na fase do CMPA ($p < 0.05$; $r^2 = 0.669$), não sendo a variação (Δ) da

velocidade angular do joelho ou do tornozelo significativas na explicação deste fenómeno.

Também noutros estudos (Pandy & Zajac, 1991; Pandy, et al., 1990) foi encontrado um maior grau de flexão no tronco (10°) do que nas articulações do joelho e tornozelo na fase de CMPA. A explicação para este fenómeno talvez possa estar relacionada com os resultados obtidos por Vanrenterghem, et al., (2008) para o CMJ. Neste estudo foram também encontradas correlações significativas entre o pico de potência da articulação coxofemoral e a performance em dois tipos de CMJ (com e sem flexão do tronco), não se verificando o mesmo para as articulações do joelho e tornozelo. No CMJ em que era permitida a flexão do tronco foi registada uma maior altura de salto assim como um maior pico de potência na articulação coxofemoral (Vanrenterghem, et al., 2008). No SJ esta prévia flexão do tronco talvez possa indicar uma tentativa dos sujeitos em aumentar o pico de potência gerado pela articulação coxofemoral e assim aumentar a performance do salto do SJ.

Sendo o contramovimento efetuado pelo segmento do tronco a variável que melhor explica o CMPA avaliado pela curva de força é fundamental encontrar meios que na ausência da plataforma de forças, como se verificam em situação de terreno/treino, consigam determinar essa prévia flexão do tronco. Com este objetivo foram testadas as correlações entre o CMPA e a variação (Δ) da velocidade angular do tronco, (1) com a variação (Δ) da velocidade linear registada por um sensor de deslocamento e (2) com o número de células ativadas numa barreira de células fotolétricas durante a execução do SJ.

Tal como no presente estudo, também no de Sheppard & Doyle, (2008) foi utilizado um sensor de deslocamento, preso a uma barra que os sujeitos colocaram aos ombros, para controlar o contramovimento efetuado pelo tronco. Os autores (Sheppard & Doyle, 2008) avaliaram se o sensor de deslocamento poderia ser utilizado na deteção do CMPA quando comparado com a informação registada por uma plataforma de forças, não sendo comparado qual o grau de contramovimento detetado por cada instrumento. No seu estudo, em 119 SJ com CMPA avaliados o sensor de deslocamento registou a presença desse contramovimento em 118 saltos (99,2%) (Sheppard & Doyle, 2008).

No presente estudo o parâmetro avaliado com o sensor de deslocamento foi a variação (Δ) da velocidade entre a fase estática do SJ e a posição de maior flexão caso existisse um CMPA. Esta variável demonstrou correlações significativas tanto com o CMPA

registado pela curva de força ($p < 0,05$; $r^2 = 0,696$) como com a variação (Δ) da velocidade angular do tronco ($p < 0,05$; $r^2 = 0,695$).

Os resultados do nosso estudo e do estudo de (Sheppard & Doyle, 2008) indicam que o sensor de deslocamento é um método válido para averiguar a presença de um CMPA no SJ. Apesar deste estudo (Sheppard & Doyle, 2008) demonstrar a validade do sensor de deslocamento, não refere até que ponto as alterações registadas pelo sensor de deslocamento explicam as alterações registadas pela curva de força. Os nossos resultados demonstraram que uma barra colocada aos ombros do executante e instrumentada com um sensor de deslocamento, parece ter capacidade de explicar em 69% o CMPA registado pela análise da curva de força (Fz).

Para além do sensor de deslocamento foi também utilizada uma barreira de células fotoelétricas no controlo do contramovimento efetuado pelo tronco. Do nosso conhecimento da literatura, foi a primeira vez que se utilizou um instrumento deste género com este objetivo. Apesar de verificada uma correlação significativa entre o número de células ativadas durante o salto e o CMPA registado pela curva de força (Fz) ($p < 0,05$), o valor de r^2 é muito baixo ($r^2 = 0,131$), não tendo assim o número de células ativadas um poder explicativo sobre o CMPA. Quando comparado o número de células ativadas com a variação (Δ) da velocidade angular do tronco, não foi encontrada qualquer correlação das duas variáveis, o que nos impede de admitir a possibilidade de usar este método para avaliar a existência de CMPA.

A distância entre as células fotoelétricas utilizada (4 cm) não será adequada para registar a presença do CMPA no SJ, pois não consegue diferenciar o contramovimento do tronco de um sujeito que “ativa ligeiramente” uma célula ou um sujeito que ativa essa mesma célula e por pouco não ativa a célula seguinte, tendo este último um deslocamento angular do tronco maior que o primeiro sujeito, contudo ambos ativaram apenas uma célula. Em futuras abordagens a distância entre células deve ser a menor possível de forma a que a sensibilidade do instrumento seja superior.

Apesar dos resultados obtidos pelo sensor de deslocamento a utilização deste aparelho permite detetar apenas movimentos verticais do CM dos sujeitos, não sendo registados quaisquer movimentos horizontais. Para além disso pelo facto do sensor de deslocamento estar preso a uma barra que os sujeitos têm aos ombros não são detetados movimentos que os sujeitos possam realizar sem que ocorra uma mudança na posição da barra (Cormie, et al., 2007).

Este aspeto pode ter influenciado negativamente os resultados obtidos pelo sensor de deslocamento. A solução para este problema, em laboratório, é utilizar dois sensores de deslocamento, tal como realizado no estudo de Cormie, et al., (2007), de forma a que os deslocamentos horizontais possam ser registados. Contudo, este aumento de precisão irá impossibilitar a utilização deste instrumento no terreno. Caberá ao profissional decidir que método usar, valorizando para a sua escolha o contexto e os objetivos em vista. Provavelmente, num contexto de treino e de terreno poderemos negligenciar o erro associado ao movimento antero-posterior que o tronco do sujeito possa realizar, em favor da utilização de apenas um sensor de deslocamento.

Relativamente às correlações encontradas, era expectável que em primeiro lugar a variação da FRS estivesse fortemente relacionada com a variação de velocidade registada no tronco na fase de CMPA. A principal razão fica a dever-se ao facto de este ser o segmento de maior massa que os sujeitos têm de deslocar durante a execução do salto, mesmo tendo em conta o erro associado a considerar o tronco em conjunto com os membros superiores e a cabeça como um só segmento. Depois e, para além disso, era também expectável uma correlação muito elevada entre esta variação de velocidade do tronco e os dados registados pelo sensor de deslocamento, apesar das limitações por nós já apontadas para este instrumento. Contudo, um aspeto merece o nosso reparo. Relativamente ao número de saltos analisados (55) a distribuição de saltos com vários níveis de CMPA e sem CMPA é pouco equilibrada. Gostaríamos de poder ter analisado um espectro bem mais alargado de saltos sem CMPA e com vários níveis de contramovimento. Porventura, poderíamos ter solicitado aos sujeitos que realizassem o SJ com a técnica correta, isto é, sem CMPA e, de seguida, ter-lhes solicitado que procurassem realizar o mesmo salto mas com vários níveis de contramovimento. Este procedimento ter-nos-ia permitido responder, simultaneamente a duas perguntas. Por um lado teria permitido aferir melhor a sensibilidade do método de deteção do CMPA e, por outro, teria permitido encontrar o limiar a partir do qual a existência de CMPA influencia de forma significativa o desempenho do SJ. É uma sugestão que fica para um trabalho futuro.

Em conclusão, o CMPA pode ser detetado, num contexto de apoio à avaliação em treino desportivo, com uma margem de segurança aceitável, através da monitorização da velocidade angular do tronco do executante. Esta monitorização pode ser efetuada com o recurso a um sensor de deslocamento, o qual esteja ligado a uma pequena barra que o executante possa manter nos ombros durante o salto.

O recurso a uma barreira de células fotoelétricas revelou-se insuficiente para detetar a existência de movimento do tronco, de forma a associá-lo ao seu contributo para o CMPA.

O facto dos sensores de deslocamento serem já um equipamento relativamente acessível e generalizado em contextos de avaliação no treino desportivo, recomenda-se a sua utilização também na avaliação do SJ, pela possibilidade extra que permite aceder à deteção da existência de CMPA, ou seja, para permitir distinguir entre SJ's válidos e não válidos. Em última análise, para controlar a execução técnica deste tipo de saltos.

6. Bibliografia

- Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta physiologica Scandinavica*, 91(3), 385.
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: A brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(2), 131.
- Bobbert, M., & Casius, L. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc*, 37(3), 440.
- Bobbert, M., Casius, L., Sijpkens, I., & Jaspers, R. (2008). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, 105(5), 1428-1440.
- Bobbert, M., Gerritsen, K., Litjens, M., & Van Soest, A. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? [Clinical Trial Randomized Controlled Trial]. *Med Sci Sports Exerc*, 28(11), 1402-1412.
- Bobbert, M., & van Ingen Schenau, G. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249-262.
- 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.
- Bobbert, M. F., & Van Zandwijk, J. (1999). Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 303-310.
- Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Amar, M. B., Tabka, Z., & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(8), 2241.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of applied biomechanics*, 23(2).
- 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.

- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1582-1598.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1566-1581.
- Cronin, J., Hing, R., & McNair, P. (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 18(3), 590.
- 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.
- Driss, T., Vandewalle, H., Quièvre, J., Miller, C., & Monod, H. (2001). Effects of external loading on power output in a squat jump on a force platform: a comparison between strength and power athletes and sedentary individuals. *Journal of sports sciences*, 19(2), 99-105.
- Finni, T., Komi, P. V., & Lepola, V. (2000). In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and counter movement jump. *European journal of applied physiology*, 83(4), 416-426.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Iturralde, P., Ruesta, M., & Ibanez, J. (1999). Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(5), 485-493.
- Häkkinen, K., & Komi, P. (1983). Alterations of mechanical characteristics of human skeletal muscle during strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 161.
- Hartmann, H., Wirth, K., Klusemann, M., Dalic, J., Matuschek, C., & Schmidtbleicher, D. (2012). Influence of squatting depth on jumping performance. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*.
- Hasson, C. J., Dugan, E. L., Doyle, T. L., Humphries, B., & Newton, R. U. (2004). Neuromechanical strategies employed to increase jump height during the

- initiation of the squat jump. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(4), 515-521.
- Jacobs, R., Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1996). Mechanical output from individual muscles during explosive leg extensions: the role of biarticular muscles. *Journal of Biomechanics*, 29(4), 513-523.
- Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 675-684.
- Klavora, P. (2000). Vertical-jump tests: A critical review. *Strength & Conditioning Journal*, 22(5), 70.
- Komi, P., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and science in sports*, 10(4), 261.
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197-1206.
- Kopper, B., Csende, Z., Sáfár, S., Hortobágyi, T., & Tihanyi, J. (2012). Muscle activation history at different vertical jumps and its influence on vertical velocity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
- Kopper, B., Ureczky, D., & Tihanyi, J. (2012). Trunk position influences joint activation pattern and physical performance during vertical jumping. *Acta Physiologica Hungarica*, 99(2), 194-205.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakovou, G., & Patikas, D. (2005). The Effect of a Combined High-Intensity Strength and Speed Training Program on the Running and Jumping Ability of Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA*, 19(2), 369-375.
- Kubo, K., Yata, H., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2006). Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *European journal of applied physiology*, 96(3), 305-314.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198.
- Maio Alves, J. M. V., Rebelo, A. N., Abrantes, C., & Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 936.

- Markovic, G., Dizdár, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551-555.
- Marques, M. C., & Izquierdo, M. (2014). Kinetic and Kinematic associations between vertical jump performance and 10 meters sprint time. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*.
- Pandy, M. G., & Zajac, F. E. (1991). Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of Biomechanics*, 24(1), 1-10.
- Pandy, M. G., Zajac, F. E., Sim, E., & Levine, W. S. (1990). An optimal control model for maximum-height human jumping. *Journal of Biomechanics*, 23(12), 1185-1198.
- Requena, B., García, I., Requena, F., de Villarreal, E. S.-S., & Pääsuke, M. (2012). Reliability and validity of a wireless microelectromechanicals based system (Keimove™) for measuring vertical jumping performance. *Journal of sports science & medicine*, 11(1), 115.
- Rønnestad, B. R., Kojedal, Ø., Losnegard, T., Kvamme, B., & Raastad, T. (2012). Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *European journal of applied physiology*, 1-12.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 773-780.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J.-B. (2013). Force-Velocity Profile: Imbalance Determination and Effect on Lower Limb Ballistic Performance. *International journal of sports medicine*(EFirst).
- Sheppard, J. M., & Doyle, T. L. (2008). Increasing compliance to instructions in the squat jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 648-651.
- Toumi, H., Thiery, C., Maitre, S., Martin, A., Vanneuvillle, G., & Poumarat, G. (2001). Training effects of amortization phase with eccentric/concentric variations-the vertical jump. *International journal of sports medicine*, 22(8), 605-610.
- Turner, A. P., Unholz, C. N., Potts, N., & Coleman, S. G. (2012). Peak power, force, and velocity during jump squats in professional rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1594-1600.

- Van Soest, A. J., Bobbert, M. F., & Schenau, G. V. I. (1994). A control strategy for the execution of explosive movements from varying starting positions. *Journal of Neurophysiology*, 71(4), 1390-1402.
- Vanrenterghem, J., Lees, A., & De Clercq, D. (2008). Effect of forward trunk inclination on joint power output in vertical jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 708-714.
- Voigt, M., Simonsen, E. B., Dyhre-Poulsen, P., & Klausen, K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *Journal of Biomechanics*, 28(3), 293-307.
- Zajac, F. E. (1993). Muscle coordination of movement: a perspective. *Journal of Biomechanics*, 26, 109-124.

