

# 3º Congresso Nacional de Biomecânica

Sociedade Portuguesa de Biomecânica



Instituto Politécnico de Bragança  
11-12 Fevereiro de 2009

**Editores**  
Mário A. P. Vaz  
Paulo A. G. Piloto  
José C. Reis Campos

Uma produção

do **impensável**

PROJECTO DE ATITUDES CULTURAIS, LDA

e-mail [geral@doimpensavel.pt](mailto:geral@doimpensavel.pt)

web [www.doimpensavel.pt](http://www.doimpensavel.pt)

Av. Carlos Bacelar, 968

salas 3A e 4A

apartado 562

4764-901 V. N. de Famalicão

tel 252371724

fax 252375164

Título: *Actas do 3º Congresso Nacional de Biomecânica 2009*

Organização: *Mário A. P. Vaz, Paulo A. G. Piloto, J.C. Reis Campos*

Design: *Feup GAUTI*

Paginação: *Nuno Viriato Ramos, Jaime M. Monteiro*

Copyright © FEUP Press, 2009

Do Impensável - Projecto de Atitudes Culturais, Lda, 2009

Produção Gráfica: *Papelmunde, SMG, Lda - V. N. de Famalicão*

Depósito Legal: *288523/09*

ISBN: *978-989-96100-0-2*

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, seja electrónico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou outros, sem prévia autorização por escrito da editora.

ACTAS DO

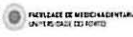
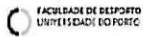
# 3º CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA 2009

## ORGANIZAÇÃO

Sociedade Portuguesa de Biomecânica  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP  
Instituto Politécnico de Bragança, IPB  
Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, FCDEF  
Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, FMDUP  
Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, INEGI  
Fundação para a Ciência e a Tecnologia, FCT

## COMISSÃO ORGANIZADORA

Mário Augusto P. Vaz, DEMEGI, Universidade do Porto  
Paulo A. G. Piloto, ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança  
  
João P. Vilas-Boas, FADE, Universidade do Porto  
José C. Reis Campos, FMD, Universidade do Porto  
Elza M. M. Fonseca, ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança  
Tiago M. Barbosa, ESSE, Instituto Politécnico de Bragança  
António P. Veloso, FMH, Universidade Técnica de Lisboa  
Paulo R. Fernandes, DEM - IST, Universidade Técnica de Lisboa  
José A. O. Simões, DEM, Universidade de Aveiro



QUALISYS

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DO MOVIMENTO PREPARATÓRIO DE SALTO EM ALTURA

Cátia Fidalgo \*, Célio Cerqueira \*, Diana Cidre \*, Diana Barros \*, Hélder Silva \* e Paulo A. G. Piloto +

\*- Engenharia Biomédica, Instituto Politécnico de Bragança; [caty\\_f7@hotmail.com](mailto:caty_f7@hotmail.com), [celiocerqueira999@hotmail.com](mailto:celiocerqueira999@hotmail.com), [diana\\_filipa\\_barros@hotmail.com](mailto:diana_filipa_barros@hotmail.com), [dianacidre@hotmail.com](mailto:dianacidre@hotmail.com), [helder\\_ffs@sapo.pt](mailto:helder_ffs@sapo.pt)

+ - Departamento de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança, [ppiloto@ipb.pt](mailto:ppiloto@ipb.pt)

**PALAVRAS CHAVE:** Salto em altura - SJ, agachamento, cinemática, dinâmica.

**RESUMO:** São apresentados resultados experimentais de medições efectuadas na análise do salto em altura com agachamento, na amostra de um conjunto de indivíduos do sexo masculino e feminino. Foram realizados cinco ensaios para três níveis de agachamento inicial, com monitorização de um acelerómetro colocado na zona pélvica e com um sistema de análise de movimento assistido por vídeo e computador. Os resultados permitiram efectuar a comparação, entre o conjunto de indivíduos, dos parâmetros cinemáticos mais importantes, tendo em consideração os dois métodos experimentais. O estudo da fase impulsiva permitiu concluir que a massa de cada indivíduo tem influência na taxa de variação da força propulsiva e pouca influência no tempo utilizado para preparação da descolagem.

### 1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho são apresentados resultados experimentais para estudo dinâmico do movimento preparatório do salto em altura, designado por SJ. Este movimento resulta de um protocolo para análise de salto com inércia inicial. Cada indivíduo deve ser colocado com a planta dos pés em contacto com o chão, deve posicionar as mãos na cintura (sem auxílio dos braços) e partir de uma posição com um agachamento inicial. Os ensaios foram realizados por dois grupos de indivíduos, amadores e sem preparação inicial. Foram realizados 5 ensaios para cada indivíduo, utilizando um acelerómetro colocado na zona pélvica, com frequência de aquisição de sinal igual a 200 [Hz], marca Myotest, [1]. Estes ensaios foram gravados com uma câmara de vídeo Sony, com frequência de amostragem igual a 25 [Hz]. O tratamento de imagem foi utilizado para comparar alguns parâmetros cinemáticos. O modelo bidimensional foi construído a partir da digitalização de 5 pontos anatómicos (pé, tornozelo, joelho, anca e ombro).

O salto em altura com agachamento foi realizado de acordo com a sequência representada na figura 1. A posição de partida é representada pela referência a), o agachamento inicial é representado pela referência b), sendo que as restantes referências, c) a g), são representativas da fase propulsiva, voo, contacto e amortecimento.

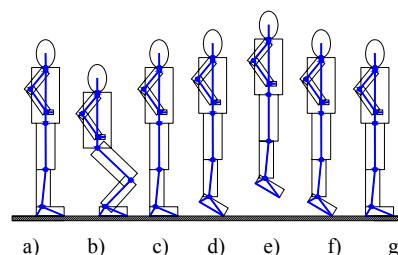


Fig. 1 - Representação do modelo utilizado para análise do movimento.

Neste trabalho é apresentado o estudo pormenorizado da fase propulsiva, nomeadamente a determinação do tempo utilizado para preparar a descolagem (TTT), a determinação da taxa de variação da força (RFD), para além de outros parâmetros.

## 2 PROTOCOLO DE SALTO - SJ

O protocolo de salto SJ foi preparado de acordo com as posições definidas na figura 1.

Os ensaios foram preparados para dois grupos de indivíduos (feminino e masculino), de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos indivíduos.

Sexo [M/F]	Ident. [Nº]	Massa [kg]	Comprimento [m]	Idade [anos]
M	1	62,0	1,66	19
M	2	76,6	1,86	21
F	3	48,6	1,56	19
F	4	64,3	1,63	19
F	5	48,0	1,70	19

Os ensaios foram efectuados em função do parâmetro de agachamento inicial ( $A_i$ ,  $i=1,2,3$ ), de acordo com a tabela 2. Para cada ensaio foi definido um valor fixo de deslocamento vertical descendente da zona pélvica, agachamentos de 0,15, 0,22 e 0,32 [m]. Os ensaios foram realizados de forma que todas as fases do salto fossem desenvolvidas num alvo representado no solo.

Tabela 2 – Caracterização do parâmetro agachamento.

Agach.	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
A1 [m]			0,15		
AR1 [%]	9,4	8,1	9,6	9,2	8,8
A2 [m]			0,22		
AR2 [%]	13,2	11,8	14,1	13,5	12,9
A3 [m]			0,32		
AR3 [%]	19,3	17,2	20,5	19,6	18,8

Para cada valor de agachamento inicial foram repetidos 5 ensaios, para avaliação da grandeza determinada por medições sucessivas.

### 2.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CINEMÁTICOS E DINÂMICOS

Para cada ensaio foi possível determinar o valor da aceleração da zona pélvica. Por integração foram determinados os parâmetros velocidade e posição.

O equilíbrio dinâmico na direcção vertical permite determinar a força reactiva do solo ( $F_r$ ), ver equação (1) e figura 2.

$$F_r - mg = ma_{Gy} \quad (1)$$

Nesta equação “m” representa a massa de cada indivíduo, “ $a_{Gy}$ ” representa a aceleração

vertical do centro de massa e “g” o valor da aceleração da gravidade.

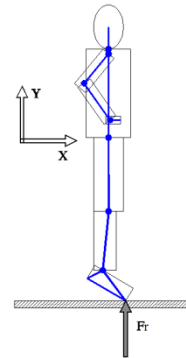


Fig. 2 - Representação da reacção vertical.

### 4.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SALTO

Para aferir a eficiência deste tipo de salto, foram determinados os valores da taxa de variação da força propulsiva (RFD) e o tempo necessário para atingir a fase de início de voo (TTT). Foi ainda verificada a correlação destes valores com o género e massa de cada indivíduo.

Na figura 3 está representado o resultado de um salto típico, sendo possível identificar os parâmetros de eficiência mencionados. O tempo necessário para a fase propulsiva (TTT), definido desde o instante (b) até ao instante (d), correspondente a uma força reactiva nula.

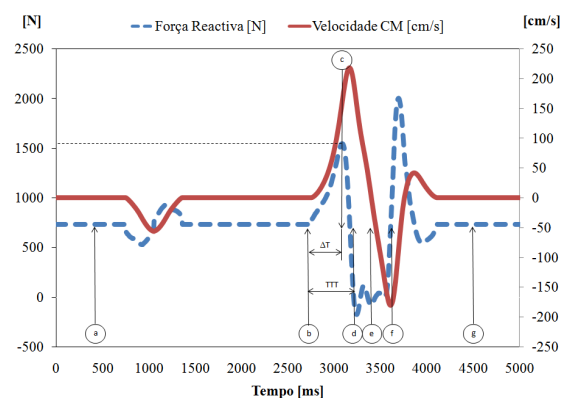


Fig. 3 - Representação da reacção vertical.

A taxa de variação da força (RFD) da fase propulsiva foi determinada pelo quociente entre a variação da força propulsiva e o intervalo de tempo correspondente aos instantes (b) e (c). Este parâmetro foi descrito

por Schmidbelicher e definido como a taxa de aumento da força de contracção muscular, [2].

### 3 RESULTADOS COM ACELERÓMETRO

Nas tabelas 3,4,5 estão representados os valores RFD, para cada valor de agachamento, expressos em unidades SI.

Tabela 3 – Valores de RFD para agachamento 1.

Agach. 1	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
Ensaio 1	7580	7981	4381	3979	2395
Ensaio 2	7452	9076	4986	3879	2257
Ensaio 3	6840	7539	4316	3477	2432
Ensaio 4	6479	8387	3469	2481	2662
Ensaio 5	6022	5794	3659	2592	2888
<b>Média</b>	<b>6875</b>	<b>7755</b>	<b>4162</b>	<b>3282</b>	<b>2527</b>
D. Padrão.	655	1234	609	707	249

Tabela 4 – Valores de RFD para agachamento 2.

Agach. 2	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
Ensaio 1	4674	7120	3500	3467	2000
Ensaio 2	5806	6750	3422	3181	1554
Ensaio 3	2719	7588	2565	2475	1839
Ensaio 4	4460	6400	3606	2735	1851
Ensaio 5	4595	5924	3149	3443	2065
<b>Média</b>	<b>4451</b>	<b>6756</b>	<b>3248</b>	<b>3060</b>	<b>1862</b>
D. Padrão.	1108	641	418	440	197

Tabela 5 – Valores de RFD para agachamento 3.

Agach. 3	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
Ensaio 1	3163	5535	2307	2591	1022
Ensaio 2	2593	5346	2064	2274	867
Ensaio 3	2630	4349	2170	1985	906
Ensaio 4	2351	4000	1711	2556	945
Ensaio 5	3211	4142	1902	2331	800
<b>Média</b>	<b>2790</b>	<b>4674</b>	<b>2031</b>	<b>2347</b>	<b>908</b>
D. Padrão.	379	713	232	245	83

Os valores TTT, foram determinados para todos os ensaios. Nas tabelas 6,7,8 estão representados os valores para cada ensaio.

Tabela 6 – Valores de TTT para agachamento 1.

Agach. 1	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
Ensaio 1	240	295	305	335	360
Ensaio 2	280	275	285	325	345
Ensaio 3	270	285	305	355	315
Ensaio 4	285	280	325	395	345
Ensaio 5	300	395	325	400	315
<b>Média</b>	<b>275</b>	<b>306</b>	<b>309</b>	<b>362</b>	<b>336</b>
D. Padrão.	22	50	17	34	20

Tabela 7 – Valores de TTT para agachamento 2.

Agach. 1	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
Ensaio 1	340	300	315	365	380
Ensaio 2	295	310	325	355	395
Ensaio 3	380	305	365	415	365
Ensaio 4	325	305	330	395	370
Ensaio 5	320	310	330	345	340
<b>Média</b>	<b>332</b>	<b>306</b>	<b>333</b>	<b>375</b>	<b>370</b>
D. Padrão.	31	4	19	29	20

Tabela 8 – Valores de TTT para agachamento 3.

Agach. 1	Ident. [Nº=1]	Ident. [Nº=2]	Ident. [Nº=3]	Ident. [Nº=4]	Ident. [Nº=5]
Ensaio 1	395	330	375	440	490
Ensaio 2	425	330	385	440	485
Ensaio 3	410	370	380	390	515
Ensaio 4	450	360	430	380	495
Ensaio 5	375	355	415	395	515
<b>Média</b>	<b>411</b>	<b>349</b>	<b>397</b>	<b>409</b>	<b>500</b>
D. Padrão.	29	18	24	29	14

Os valores da duração do tempo de preparação do voo, TTT, são apresentados em unidades de milissegundo.

Para avaliar a dependência do parâmetro (RFD) com a massa de cada indivíduo, foi efectuada a representação da variação da taxa de variação da força propulsiva. A figura 4 permite concluir que quanto maior for a massa do indivíduo, maior será este parâmetro, independentemente do nível de agachamento. Também se pode concluir que a taxa de variação da força propulsiva será tanto maior, quanto menor for o valor do agachamento.

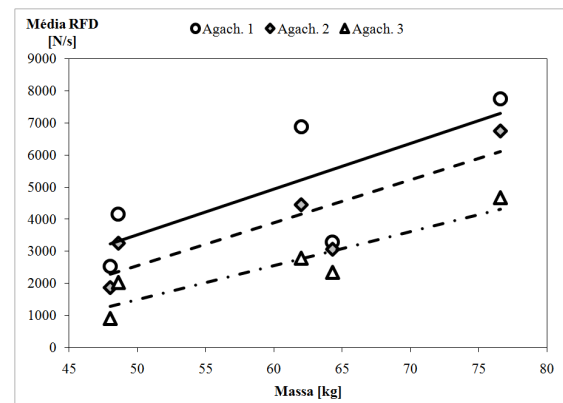


Fig. 4 – Variação da RFD com a massa corporal.

Foi ainda avaliada a dependência do parâmetro TTT com a massa corporal de cada indivíduo. A figura 5 permite concluir que este parâmetro é pouco sensível em relação ao valor da massa de cada indivíduo. Também se pode concluir que o valor do tempo necessário para a fase propulsiva será tanto maior, quanto maior for o valor do agachamento inicial.

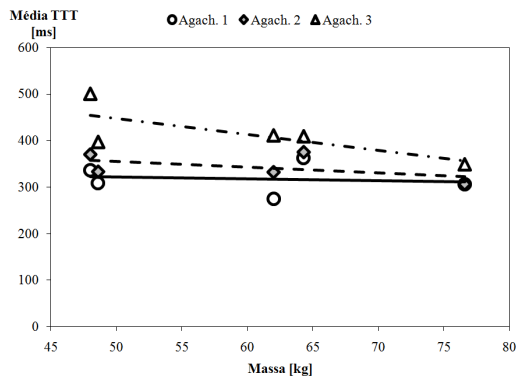


Fig. 5 – Variação do TTT com a massa corporal.

Foi ainda possível avaliar a dependência destes valores em função do sexo dos indivíduos. O grupo do sexo masculino (M) apresenta um valor médio do parâmetro RFD superior em relação ao grupo do sexo feminino (F), independentemente do valor do agachamento inicial, ver figura 6.

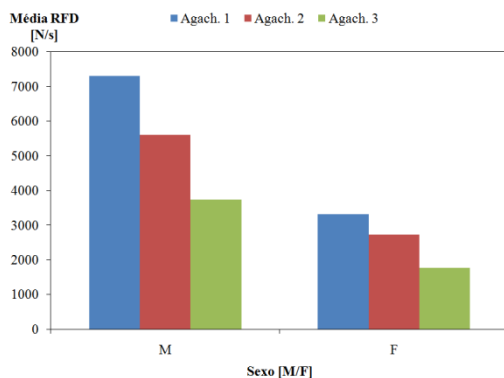


Fig. 6 – Variação da RFD com o sexo dos indivíduos.

A variação do parâmetro TTT para o grupo do sexo feminino é superior ao do grupo masculino, independentemente do nível de agachamento inicial, ver figura 7.

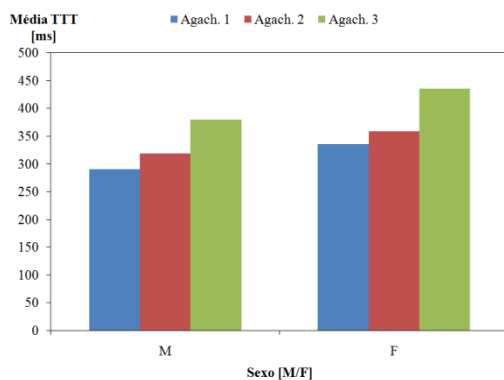


Fig. 7 – Variação do TTT com o sexo dos indivíduos.

Os resultados parecem demonstrar que o grupo de indivíduos do sexo masculino (M) apresenta uma variação de força propulsiva superior ao grupo do sexo feminino (F). Estes resultados são semelhantes aos apresentados por Karlsson and Belt, [3], onde se demonstra que o valor de RFD para indivíduos do sexo masculino é aproximadamente o dobro do valor determinado para o grupo do sexo feminino. Esta tendência de resultados também foi corroborada pelos investigadores Bell and Jacobs, [4].

Os resultados do tempo necessário para atingir a fase de início de voo, determinados para os dois grupos de indivíduos, não são, estatisticamente, muito diferentes entre si, pelo que se pode concluir que o salto do grupo do sexo masculino é tão rápido como o salto do grupo do sexo feminino.

#### 4 PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Os resultados da cinemática foram confirmados pelo tratamento de imagem recolhida durante os ensaios realizados.

O processamento de transformação deve ser efectuado depois dos fotogramas terem sido digitalizados. As coordenadas relativas de cada ponto são transformadas em coordenadas absolutas da imagem. Para cada salto foram digitalizados cerca de uma centena de fotogramas.

A digitalização da imagem está dependente da frequência de gravação dos fotogramas. Como a recolha de dados foi efectuada com uma câmara de velocidade normal, a diferença de entre os resultados, que se apresenta, pode ser explicada pela diferença da frequência de recolha de dados. Para além desta diferença, convém referir que este métodos apresenta erros relacionados com a metodologia inerente.

Nas figuras 8 e 9 estão representados dois instantes de tempo, correspondentes ao modelo antropométrico de 4 elementos e 5 pontos utilizados para digitalização dos fotogramas.

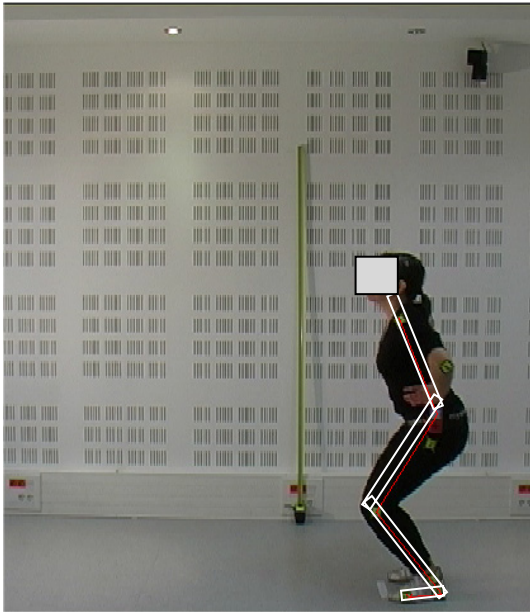


Fig. 8 – Digitalização com modelo de 4 segmentos, para indivíduo com Ident. Nº1, Agach. 1, fotograma 1.

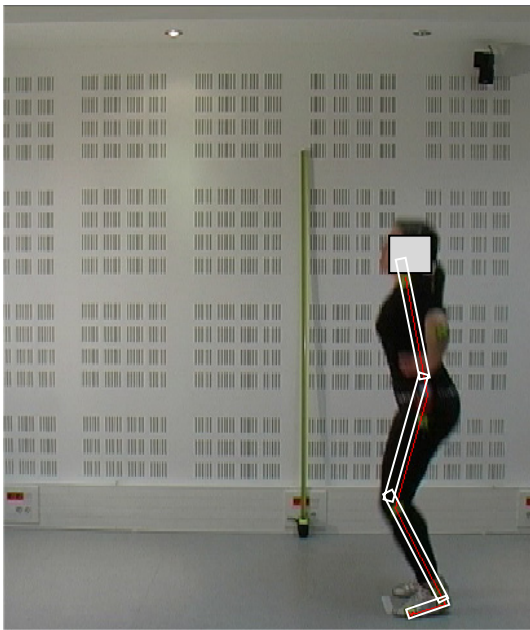


Fig. 9 – Digitalização com modelo de 4 segmentos, para indivíduo com Ident. Nº1, Agach. 1, fotograma 25.

Os resultados determinados por processamento de imagem confirmam as conclusões obtidas para os parâmetros de eficiência (RFD, TTT), uma vez que as curvas dos parâmetros cinemáticos, velocidade e aceleração, estão muito próximas umas das outras, com variações também semelhantes, ver figura 10.

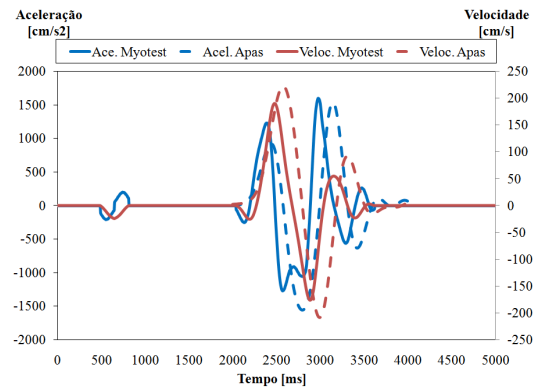


Fig. 10 – Comparação dos parâmetros cinemáticos, indivíduo com Ident. Nº1, Agach. 1.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou duas metodologias de análise para determinação dos parâmetros cinemáticos e dinâmicos do salto com agachamento inicial, protocolo SJ. A primeira foi baseada na informação recolhida de um acelerómetro, enquanto que a segunda foi baseada na informação recolhida pela gravação de imagem dos ensaios efectuados. Foram efectuados cinco ensaios para cada valor de agachamento inicial, para cada indivíduo. A análise dos resultados permite concluir que ambos os métodos apresentam resultados semelhantes, sendo o tratamento de resultados do segundo método mais demorado.

O estudo da fase propulsiva permitiu concluir que a taxa de variação da força será tanto maior quanto maior for a massa do indivíduo, sendo inversamente proporcional ao valor do agachamento inicial. O tempo necessário para atingir a fase de voo é pouco dependente da massa do indivíduo, contudo será tanto maior quanto maior for o valor do agachamento inicial.

A eficiência dos saltos foi comparada entre o grupo de indivíduos do sexo masculino e feminino. A taxa de variação da força propulsiva do grupo masculino é duas vezes superior ao valor do grupo feminino. O tempo necessário para atingir a fase de voo parece ser independente do género.

## REFERENCIAS

- [1] B. Jidovtseff , J.-M. Crielaard, S. Cauchy, J.-L. Croisier; “Validité et reproductibilité d’un dynamomètre inertiel basé sur l’accélérométrie”; Science and Sports, vol. 23, pp 94–97, 2008.
- [2] William Ebben, Eamonn Flanagan, Randall Jensen; “Gender similarities in rate of force development and time to takeoff during the countermovement jump”; Journal of Exercise Physiology online (JEPonline) (Official Research Journal of The American Society of Exercise Physiologists (ASEP) ISSN 1097-9751), Volume 10 Number 6 December 2007.
- [3] Karlsson,J and Jacobs I. In: Karger S (ed) Women and sport: Is the significance of muscle fibre types to muscle metabolism different in females than in males. A historical, biological, physiological, and sports medicine approach. Basel, pp 97-101. 1981.
- [4] Bell DG and Jacobs I. Electromechanical response times and rate of force development in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:31-36.
- [5] – Tözeren, Aydin, “Human Body Dynamics – Classical Mechanics and Human Movement”, Springer, 2000.
- [6] – Vladimir M. Zatsiorsky, “Kinetics of Human Motion”; Human kinetics edition, 2002.
- [7] - Vladimir M. Zatsiorsky; “Kinematics of Human Motion”; Human kinetics edition, 1998.