

# LIVRO DE RESUMOS - BOOK OF ABSTRACTS

## 5º Congresso Nacional de **Biomecânica** • 5th Portuguese Congress on **Biomechanics**

Fórum de Arte e Cultura de Espinho, Portugal 8 e 9 de Fevereiro | 8th-9th, February | 2013

Comissão Organizadora | Organizing Committee

Renato Natal Jorge

João Manuel R.S. Tavares

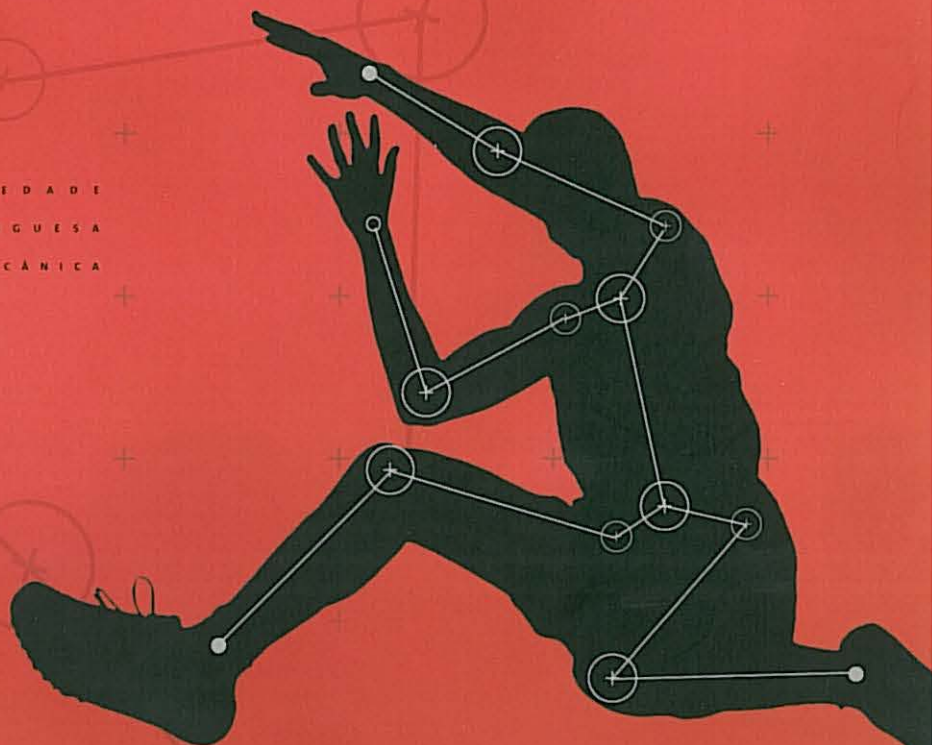
Jorge Belinha

Marco Parente

Pedro Martins



SOCIEDADE  
PORTUGUESA  
BIOMECÂNICA



ATAS DO  
5º CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA  
*PROCEEDINGS OF THE  
5TH PORTUGUESE CONGRESS ON BIOMECHANICS*



COMISSÃO ORGANIZADORA / ORGANIZING COMMITTEE

Renato M. Natal Jorge, FEUP  
João Manuel R.S. Tavares, FEUP  
Jorge Américo de Oliveira Pinto Belinha, IDMEC-FEUP  
Marco Paulo Lages Parente, IDMEC-FEUP  
Pedro Alexandre Lopes de Sousa Martins, IDMEC-FEUP

*Título* 5º Congresso Nacional de Biomecânica

*Organização* Renato M. Natal Jorge  
João Manuel R.S. Tavares  
Jorge Américo de Oliveira Pinto Belinha  
Marco Paulo Lages Parente  
Pedro Alexandre Lopes de Sousa Martins

*Editor* IDMEC

*Produção Gráfica* Sersilito-Empresa Gráfica, Lda.  
www.sersilito.pt

*Depósito legal* 354921/13

*ISBN* 978-989-96276-3-5

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

PATROCÍNIOS E APOIOS INSTITUCIONAIS / SPONSORSHIP AND INSTITUTIONAL SUPPORT



## COMISSÃO CIENTÍFICA / SCIENTIFIC COMMITTEE

Adélia Sequeira, IST-UTL  
António Completo, Univ de Aveiro  
António Silva, UTAD  
António Torres Marques, FEUP  
António Veloso, FMH-UTL  
Arcelina Marques, ISEP-IPP  
Aurélio Faria, UBI  
Cristina Mateo Martínez, IDMEC  
Eduardo Borges Pires, IST-UTL  
Elza Fonseca, IPB  
Fernanda Gentil, IDMEC, ESTSP-IPP  
Fernando Simões, IST-UTL  
Filipa Manuel Machado Sousa, FADEUP-UP  
Gilberto Costa, FMUP-UP  
Helena Moreira, UTAD  
João Folgado, IST-UTL  
João Levy Melancia, FML-Univ Lisboa  
João MCS Abrantes, Univ Lusófona  
João Paço, Hospital CUF, FML-Univ Lisboa  
João Paulo Flores Fernandes, Univ Minho  
João Paulo Vilas-Boas, FADEUP-UP  
João Santos Baptista, FEUP-UP  
Joaquim Silva Gomes, FEUP-UP  
Jorge Ambrósio, IST-UTL  
José Alberto Ramos Duarte, FADEUP-UP  
José Carlos Reis Campos, FMDUP-UP  
José Manuel Casanova, FM-Univ Coimbra  
José Oliveira Simões, Univ de Aveiro  
Kostas Gianikellis, Univ de Extremadura, Espanha  
Leandro Machado, FADEUP-UP  
Lídia Carvalho, Univ de Aveiro  
Luís Roseiro, ISEC-IPC  
Luisa Sousa, FEUP-UP  
Manuel Gutierrez, FMUP-UP  
Mário Augusto Vaz, FEUP-UP  
Mario Forjaz Secca, FCI, Univ Nova de Lisboa  
Miguel Tavares da Silva, IST-UTL  
Miguel Velhote Correia, FEUP-UP  
Paulo Piloto, IPB  
Paulo Rui Fernandes, IST-UTL  
Ronaldo Calçada Dias Gabriel, UTAD  
Rui Barreiros Ruben, IPL  
Rui Lima, IPB  
Rui Miranda Guedes, FEUP-UP  
Santos Rubim, ESTSP-IPP

## PREFÁCIO

Este livro contém os resumos dos artigos apresentados no 5º Congresso Nacional de Biomecânica (CNB2013) que decorreu no "Fórum de Arte e Cultura de Espinho" na cidade de Espinho (Portugal), entre os dias 8 e 9 de Fevereiro de 2013.

No campo da Biomecânica, o Congresso Nacional de Biomecânica é o mais prestigiado encontro científico periódico organizado em Portugal. Investigadores, alunos e clínicos apresentam e discutem o que de mais proeminente e significativo tem vindo a ser desenvolvido neste campo da ciência. Desde 2005 que o evento é bianualmente realizado, tendo sido denominado por "Encontro 1 Biomecânica" o primeiro congresso organizado em Marínel na cidade de Abrantes no ano de 2005. O segundo congresso, o "2º Encontro Nacional de Biomecânica 2007" decorreu em Évora em 2007. A terceira edição do evento decorreu na cidade de Bragança em 2009, tendo nessa altura recebido a denominação de "3º Congresso Nacional de Biomecânica 2009". Em 2011 a cidade de Coimbra acolheu o evento, com o título "4º Congresso Nacional de Biomecânica 2011".

Na presente edição do Congresso Nacional de Biomecânica foram submetidos um total de 179 trabalhos, dos quais 153 foram aceites para apresentações orais, distribuídas por um total de 24 sessões temáticas. Os trabalhos submetidos envolveram autores de 8 países, o que representa um passo importante para a internacionalização do Congresso Nacional de Biomecânica. De salientar também a diversidade dos temas abordados nas contribuições submetidas no âmbito da Biomecânica, incluindo biomecânica dos tecidos, biomecânica ortopédica, biomecânica de reabilitação, biomecânica orofacial, biomecânica do crânio e coluna, biomecânica cardiovascular, biofluidos e hemodinâmica, biomecânica respiratória, biomecânica do sistema músculo-esquelético, biomecânica da lesão/impacto, biomecânica ocupacional, biomecânica desportiva, cirurgia assistida por computador, engenharia dos tecidos, mecanobiologia, biomateriais, biomecânica experimental e biomecânica computacional, o que salienta a multidisciplinaridade desta área do conhecimento.

Os organizadores do CNB2013 gostariam de aproveitar esta oportunidade para agradecer a todos os Patrocinadores pelo suporte recebido, a todos os membros do Comité Científico pela cooperação e a todos os autores e participantes por terem submetido e partilhado o seu trabalho. Por último, os organizadores agradecem à Sociedade Portuguesa de Biomecânica pelo privilégio de organizar a presente edição do Congresso Nacional de Biomecânica e por todo o apoio prestado.

Espinho, 8 de fevereiro de 2013

O Comité Organizador

*Renato M. Natal Jorge  
João Manuel R.S. Tavares  
Jorge Américo de Oliveira Pinto Belinha  
Marco Paulo Lopes Parente  
Pedro Alexandre Lopes de Sousa Martins*

## PREFACE

This book contains the abstracts of the papers presented at the 5th Portuguese Congress on Biomechanics (CNB2013) that was held in "Fórum de Arte e Cultura de Espinho", in Espinho city (Portugal), between 8th and 9th, February of 2013.

The Portuguese Congress on Biomechanics is the leading meeting organized in Portugal related with the Biomechanics field and where researchers, students and clinicians present and discuss the preeminent work developed in Portugal in this area. The event has been organized every two years since 2005: the first event, called "Encontro 1 biomecânica", was held in Martimel, Abrantes, in 2005; the second, called "2º Encontro Nacional de Biomecânica 2007", was organized in Évora, in 2007; the third, with the designation of "3º Congresso Nacional de Biomecânica 2009", occurred in Bragança, in 2009; the fourth was organized in Coimbra in 2011, with the title "4º Congresso Nacional de Biomecânica 2011".

CNB2013 had 179 works submitted, from which 153 were accepted for oral presentations distributed by 24 sessions. The submissions involved authors from 8 countries, which represents an important step for the internationalization of The Portuguese Congress on Biomechanics. On the other hand, the received contributions address several topics related to Biomechanics, including tissue biomechanics, orthopedic biomechanics, rehabilitation biomechanics, oral-facial biomechanics, biomechanics of the spine and skull, cardiovascular and hemodynamic bio-fluids, respiratory biomechanics, biomechanics of the musculoskeletal system, biomechanics of injury/impact, occupational biomechanics, sports biomechanics, computer assisted surgery, tissue engineering, mechanobiology, biomaterials, experimental biomechanics and computational biomechanics, which emphasize the multidisciplinary nature of this area.

The organizers of CNB2013 would like to take this opportunity to thank to all the Sponsors, to all members of the Scientific Committee, to all Authors and Participants for submitting and sharing their work. Finally, the organizers acknowledge the Portuguese Association of Biomechanics for the privilege to organize this edition of The Portuguese Congress on Biomechanics and for all the support received.

Espinho, February 8th, 2013

The Organizing Committee

*Renato M. Natal Jorge*  
*João Manuel R.S. Tavares*  
*Jorge Américo de Oliveira Pinto Belinha*  
*Marco Paulo Lages Parente*  
*Pedro Alexandre Lopes de Sousa Martins*

## NOTA DO PRESIDENTE DA SPB

Os principais objetivos da Sociedade Portuguesa de Biomecânica (SPB) são: estimular, apoiar e divulgar a investigação realizada em Portugal na área da Biomecânica. Para esse efeito organiza regularmente congressos nacionais, estabelece protocolos com organizações que partilham interesses na Biomecânica como; a Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões (APAET) e a Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação (SPMFR), e promove prémios de incentivo aos novos investigadores. Estes prémios são designados pelos nomes de colegas que já desapareceram, João Arménio Correia Martins e Nuno Riço, e assim permitem homenageá-los e divulgar as suas contribuições junto dos mais novos. Tudo isto e o número e a qualidade dos trabalhos apresentados ao 5º Congresso da SPB revelam que a investigação em Biomecânica é realizada por uma comunidade científica já bem consolidada.

A nossa Sociedade também representa Portugal nos fóruns internacionais organizados pelas suas congéneres e foi aceite na *International Society of Biomechanics* em Julho 2009. Algumas organizações internacionais relacionadas com a Biomecânica procuraram o nosso país para organizar os seus congressos e o sucesso do trabalho realizado pelos nossos colegas envolvidos enche-nos de satisfação além de muito dignificar a SPB.

A crescente colaboração dos investigadores da comunidade hispano-americana permite antever que os próximos tempos deverão ser destinados a consolidar internacionalmente a SPB procurando alcançar no estrangeiro o prestígio e visibilidade já alcançadas a nível nacional. Finalmente, gostaria de manifestar o meu desejo de que todos os investigadores na Biomecânica possam encontrar na SPB um espaço de colaboração participativa para realizarem as suas contribuições para o crescimento da Biomecânica.

*Mário A P Vaz*  
 Presidente da SPB

## INTRODUCTION OF THE PRESIDENT OF SPB

The main objectives of the Portuguese Society of Biomechanics (SPB) are to encourage, support and disseminate the research conducted in Portugal in the area of biomechanics. For this purpose regularly organizes national conferences, establishing protocols with organizations having applications in biomechanics as is the case of, the Portuguese Association of Experimental Stress Analysis (APAET) and the Portuguese Society of Physical Medicine and Rehabilitation (SPMFR), and promotes incentive awards to the new researchers. These awards are designated by the names of our colleagues who have passed away, João Arménio Martins Correia and Nuno Rilo, and thus allow honoring them and disseminate their contributions to the younger members. The number and quality of the papers presented to the 5th Congress of SPB reveal that research in Biomechanics is performed by a scientific community already well consolidated.

Our Society also represents Portugal in international forums organized by their counterparts and was accepted at the International Society of Biomechanics in July 2009. Some international organizations related to Biomechanics recently sought our country to hold their congresses and the success of the work done by our colleagues involved fills us with satisfaction and greatly dignifies the SPB.

The increasing participation of researchers from the Ibero-American community allows foreseeing that the near future will be to consolidate the SPB internationally looking abroad for the prestige and visibility already achieved at national level. Finally, I would like to express my desire that all researchers in biomechanics can find in the SPB the space to conduct their contributions to the growth of Biomechanics.

Mário A P Vaz  
President of SPB

## ÍNDICE / INDEX

PREFÁCIO.....	V
PREFACE.....	VI
NOTA DO PRESIDENTE DA SPB.....	VII
INTRODUCTION OF THE PRESIDENT OF SPB.....	VIII

### Biomateriais | Biomaterials

CIMENTO ÓSSEO ACRÍLICO CONTENDO ANTIBIÓTICOS: AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	3
<i>Matos A., Vaz M., Almeida A. J., Bettenwart A.</i>	
EFFECT OF THE SINTERING CYCLE ON THE PROPERTIES OF ALUMINA/LAS DENTAL CERAMIC.....	5
<i>M. Garcia, D. Artorn, M. I. Delgado and A. C. Ferro</i>	
X-RAY SCATTERING STUDIES ON BIODEGRADABLE SCAFFOLDS FOR BONE TISSUE ENGINEERING: EFFECT OF NANOPARTICLES IN THE MICROSCOPIC PROPERTIES.....	7
<i>Ana Teixeira, Tânia Viana, Sara Bizaia, Paulo J. Bártolo e Geoffrey Mitchell</i>	
PRODUÇÃO DE MATRIZES DE SUPORTE EM HIDROGEL ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE ESTEREO-TERMO-LITOGRAFIA.....	9
<i>Ekelle Pinto, Luís Oliveira e Paulo Bártolo</i>	
HIDROGÉIS BASEADOS EM ALGINATO PARA A REGENERAÇÃO DE PELE.....	11
<i>Rafael Pereira, Anabela Mendes e Paulo Bártolo</i>	
PRODUÇÃO DE MEMBRANAS DE ALGINATO DE SÓDIO CONTENDO LEVODOPA E SUA LIBERTAÇÃO CONTROLADA.....	13
<i>Margarida Franco, Tânia Viana, Sara Bizaia e Paulo Bártolo</i>	
COMPARISON OF FLEXURAL RESISTANCE OF THREE TYPES OF COMMERCIAL ZIRCONIA.....	15
<i>Gençalo Silva, Lúcia Carvalho</i>	
ESTUDO MECÂNICO DE COMPÓSITOS PLA/GNP E PLA/BIOVIDRO PARA DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO LIGAMENTAR.....	17
<i>Viriana Correia Pinto, José Xavier, Arthur Pinto, Fernando D. Magalhães, Rui Miranda Guedes</i>	
EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COLAGÉNIO DE ESCAMAS DE SARDINHA.....	19
<i>Ernestada Alves Almeida, Anabela L. A. Mendes Damásio M. B. M. C. Vaz</i>	
CIMENTO ÓSSEO ACRÍLICO CONTENDO ANTIBIÓTICOS: AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	21
<i>Matos A., Vaz M., Almeida A. J., Bettenwart A.</i>	
MECHANICAL BEHAVIOUR OF THE PIP BREAST IMPLANTS UNDER COMPRESSION.....	23
<i>Rita Kykeris, Pedro Martins, Marco Parente, Maria Barros, Diana Santos, Renato Natal</i>	

### Biomecânica Cardiovascular, Biofluidos e Hemodinâmica *Cardiovascular Biomechanics, Hemodynamics and Bio-fluids*

A INFLUÊNCIA DE UM CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO NO ESCOAMENTO SANGUÍNEO COM NANOPÁRTICULAS MAGNÉTICAS.....	27
<i>N. Pereira, M. Miyake, S. Arana, T. Correia, A. M. T. Silva, H. T. Gomez, P. J. Rodrigues, R. Lima</i>	

CONTRIBUIÇÃO DOS MOMENTOS DE FORÇA DOS MEMBROS INFERIORES PARA A ACELERAÇÃO DO CENTRO DE MASSA NA PARTIDA DE BLOCOS.....	109
<i>Sílvia Cabral, Vera Meniz Pereira, Filipa João e António P. Vêlo</i>	
ESTUDO CASO DA EFICIÊNCIA MECÂNICA NA EXECUÇÃO DO TOQUE AO LADO, DA GINÁSTICA AERÓBICA, NUM PRATICANTE INEXPERIENTE.....	111
<i>Cristiana Meniz, Andreia Raposo, Carolyne Silva, Liliana Pinhal, Ana Conceição, Hugo Leiros, Vítor Milheiro e Marco Branco</i>	
ANÁLISE CINEMÁTICA 3D DA TÉCNICA FOSSBURY FLOP.....	113
<i>Paulo Oliveira, Rui B. Raben e Pedro Moreira</i>	
ANÁLISE AO DESEMPENHO DE ATLETAS NO LANÇAMENTO DO DARDO.....	115
<i>Diogo Correia, João Matias, Nuno André, Paulo A. P. Garrido e Rui B. Raben</i>	
DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMAS DE FORÇAS EXTENSOMÉTRICAS SUBAQUÁTICAS PARA APLICAÇÃO EM NATAÇÃO DESPORTIVA.....	117
<i>Karla de Jesus, Hélio Resendiz, Kelly de Jesus, Luis Mourão, Ricardo Fernandes, Mário Vaz, João Paulo Vilas-Boas</i>	
COMPARAÇÃO DE CRIANÇAS COM E SEM JOELHOS VALGOS, PRATICANTES DE HÓQUEI EM PATINS, UTILIZANDO SISTEMAS DE ANÁLISE DE MOVIMENTO.....	119
<i>Nuno M. J. Oliveira, Rubim Santos, M. A. P. Vaz e M. A. Marques</i>	
ANÁLISE CINEMÁTICA DA TÉCNICA DE CRAWL EM DIFERENTES VARIANTES DE UM PROTOCOLO INCREMENTAL E INTERMITENTE PARA OBTENÇÃO DO VOZMÁX.....	121
<i>Kelly de Jesus, Karla de Jesus, João Paulo Vilas-Boas e Ricardo J. Fernandes</i>	
PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM PEDAL INSTRUMENTADO PARA BICICLETA.....	123
<i>Vitor Lopes, Luís Bastos, Pedro Ferreira, Inácio Costa e José Almeida</i>	
ANÁLISE CINEMÁTICA DO PUTTING EM JOGADORES PERITOS: ESTUDO DO EFEITO DO AFASTAMENTO DA BOLA AO BURACO.....	125
<i>Gonçalo Dias, Rui Mendes, Maria Antónia Castro, Miguel Coimbra, Orlando Fernandes, João Paulo Vilas-Boas</i>	
INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DO ATLETA NA BICICLETA NA DISTRIBUIÇÃO DO PESO CORPORAL PELO SELM E PELO GUIADOR EM CICLISTAS NÃO COMPETITIVOS.....	127
<i>Vitor Milheiro, Hugo Leiros, Marco Branco, Ana Conceição</i>	
FEMORAL NECK BONE ADAPTATION TO HABITUAL WEIGHT-BEARING PHYSICAL ACTIVITY BY COMPUTATIONAL ANALYSIS.....	129
<i>M. M. Machado, P. R. Fernandes, G. Caridadeiro and F. Raposo</i>	
DISPOSITIVO MECÂNICO PARA A PRÁTICA DE CICLISMO ADAPTADO COM COMPETIÇÃO EM CLASSE C2.....	131
<i>Luís Bastos, Pedro Ferreira, Vitor Lopes, Inácio Costa, José Almeida e Telmo Pinão</i>	
ANÁLISE BIOMECÂNICA DO PROTOCOLO – SALTO COM CONTRA MOVIMENTO.....	133
<i>Paulo A. G. Piloto, Luísa M. S. Barrera</i>	
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO POSICIONAMENTO DA BICICLETA NAS VIBRAÇÕES INDUZIDAS AO CORPO HUMANO EM PRÁTICA DE CICLISMO INDOOR.....	135
<i>Paulo Dichiello, Leonildo Furtado, Carlos Alvim, Luís Bastos e Ana Amaro</i>	
DISCRETE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF DYNAMIC VARIABLES FOR DIFFERENT LOWER LIMB STRETCH-SHORTENING CYCLE.....	137
<i>Rodrigues, C., Correia, M.V., Alvarado, J.M.C.S. and Naldu, J.</i>	
ANÁLISE ELETROMIOGRÁFICA TEMPORAL DOS MÚSCULOS DO TRONCO DURANTE O SWING COM DIFERENTES TACOS DE GOLFE.....	139
<i>Luís Silva, Sérgio Martins, João Vaz, Orlando Fernandes, Maria Antónia Castro, Andreia De Paula, Pedro Pegarar-Correia</i>	
ANKLE SPRAINS ON SOCCERS AND BIOMECHANICAL REPERCUSSIONS.....	141
<i>Janete Leiras, João Paulo Vilas-Boas, Filipa Sousa</i>	
ANALYSIS OF THE PLANTAR PRESSURE ON SOCCER PLAYERS AFTER THE USE OF CUSTOMIZED PLANTAR ORTHOSES.....	143
<i>Janete Leiras, João Paulo Vilas-Boas, Filipa Sousa</i>	

“DINAMSOFT 1.0”: A SOFTWARE FOR 3D BIOMECHANICAL ANALYSIS OF STANDARD FORCE TRAINING EXERCISES AND WEIGHT LIFTING.....	145
<i>Kostas Giannakidis, Andreas Skalkotiakos, Jorge Barrios Martel and Igeacio Dominguez</i>	
VALIDAÇÃO COM DGPS DE UM NOVO SISTEMA VÍDEO (FACTO) DE ANÁLISE DA PERFORMANCE PARA QUANTIFICAR OS PADRÕES DE MOVIMENTO NO FUTEBOL.....	147
<i>Orlando Fernandes e João Serrano</i>	
COMO ADEQUAR O STIQUÉ DE HÓQUEI EM PATINS ÀS CARACTERÍSTICAS DO ATLETA.....	149
<i>Nuno V. Ramos, Filipe Conceição, José Luis, David Monteiro e Mário Vaz</i>	
ANALYSIS OF THE PLANTAR PRESSURE ON SOCCER PLAYERS AFTER THE USE OF CUSTOMIZED PLANTAR ORTHOSES.....	151
<i>Janete Leiras, João Paulo Vilas-Boas, Filipa Sousa</i>	
ANKLE SPRAINS ON SOCCERS AND BIOMECHANICAL REPERCUSSIONS.....	153
<i>Janete Leiras, João Paulo Vilas-Boas, Filipa Sousa</i>	

### Biomecânica do Crânio e Coluna | *Biomechanics of the Spine and Skull*

THE ROLE OF POROELASTICITY ON THE BIOMECHANICS OF THE INTERVERTEBRAL DISC: A FINITE ELEMENT STUDY.....	157
<i>André Castro, Paulo Flores, António Completo e J. L. Alves</i>	
METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA COLUNA VERTEBRAL PRÉ E PÓS VERTEBROPLASTIA.....	159
<i>Gabriela Guimaraes, Eliza M. M. Fonseca e Luísa M. S. Barrera</i>	
FROM MEDICAL IMAGE TO 3D ENTITIES CREATION.....	161
<i>Diogo S.; Clares, J. C. P.</i>	
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ÓSSEA DA VÉRTEBRA L3 EM DIFERENTES PACIENTES DO GÉNERO FEMININO.....	163
<i>Sónia P. D. Silva, Eliza M. M. Fonseca e Luísa M. S. Barrera</i>	
FINITE ELEMENT SIMULATION OF DAILY ACTIVITIES HELD BY THE INTERVERTEBRAL DISC.....	165
<i>Hilário Correia, J. C. Pinanta Clares e J. L. Alves</i>	
UNDERSTANDING THE ROLE OF THE ANNULUS FIBROSUS IN THE BIOMECHANICS OF THE INTERVERTEBRAL DISC.....	167
<i>Clara Cavallanti, J. L. Alves</i>	
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS DISCOS INTERVERTEBRAIS DA REGIÃO LOMBAR QUANDO SUJEITOS A CARGAS VERTICAIS.....	169
<i>Beliana Mendonça, João Ribeiro, Mário Vaz e H. Lopes</i>	
BIOMECÂNICA DA COLUNA CERVICAL: INFLUÊNCIA DOS LIGAMENTOS.....	171
<i>P. C. Fernandes, P. R. Fernandes e J. Folgado</i>	

### Biomecânica do Sistema Musculoesquelético

#### *Biomechanics of the Musculoskeletal System*

RELAÇÃO DAS FORÇAS REATIVAS DO APOIO DURANTE O CAMINHAR E A ATIVIDADE FÍSICA EM MULHERES PÓS-MENOPÁUSICAS.....	175
<i>João P.C. Fonseca, Ronaldo E.C.D. Gabriel, João Manuel R. S. Tavares, Flávia R. Araújo, Adriana S. Leite, José António M. Faria e Maria Helena R. Moreira</i>	
FORÇAS REATIVAS DO APOIO DURANTE O CAMINHAR E DENSIDADE MINERAL ÓSSEA DO CALCÂNIO EM MULHERES PÓS-MENOPÁUSICAS.....	177
<i>Mariana Pereira, Ronaldo Gabriel, Flávia Araújo, João Fonseca, Adriana Leite, António Faria e Helena Moreira</i>	
CONTRIBUIÇÃO DOS MOMENTOS DE FORÇA DO MEMBRO INFERIOR NO SALTO UNILATERAL (HOPPING).....	179
<i>Filipa João, António Vilas, Sílvia Cabral, Vera Meniz Pereira e Thomas Koppé</i>	

the experimental data, and then used to enhance the constitutive model of both NP and AF, by the assumption that both viscoelastic behaviors may be similar.

This enhanced hyperviscoelastic constitutive model are then used to carry out a qualitative analysis on the role of both the NP and AF in the biomechanics of the IVD, both in case of static and dynamic loadings. With this sensitivity study it will be shown numerically that the NP has a solid like behavior under dynamic fast compressive loads over the motion segment (Iatridis et al., 1996).

The isotropic behavior of both NP and AF's ground substance was modeled with a Mooney-Rivlin law and the additional energy density coupled with the AF anisotropic behavior was modeled by a Holzapfel law.

The FE implementation and numerical simulations are being carried out on a home-developed FE solver called V-Biomech.

#### 4 Results and Discussion

As can be seen in the figure 1, the fibers are represented in each element by vectors, varying their angle from ventral to dorsal and from outer to inner positions.

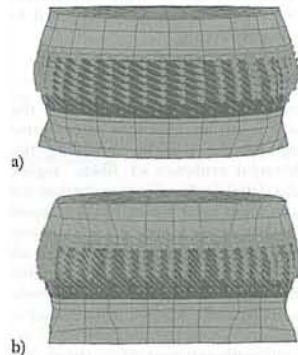


Fig. 1 a) AF fiber's angles in the ventral position; AF fiber's angles in the dorsal position.

The results were validated by experimental studies in vivo both in terms of compressive force and intradiscal pressure and by applying

natural rotational movements to the motion segment (inclination, rotation, flexion and extension).

Additionally, several numerical results showing the influence of constitutive parameters of both NP and AF will be presented in order to emphasize the importance of the AF in the biomechanics of the IVD.

#### Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the support of the European Project: NP Mimetic – Biomimetic Nano-Fiber Based Nucleus Pulposus Regeneration for the Treatment of Degenerative Disc Disease, funded by the European Commission under FP7 (grant NMP3-SL-2010-246351).

#### References

- [1] R. Eberlein, G.A. Holzapfel, C.A.J. Schulze-Bauer, *An Anisotropic Model for Annulus Tissue and Enhanced Finite Element Analyses of Intact Lumbar Disc Bodies*, Comp. Meth. Biomech. Biomed. Eng., 4, 209-229, 2001.
- [2] F. Marchand, A.M. Ahmed, *Investigation of the Laminate Structure of the Lumbar Disc Annulus Fibrosus*, Spine 15:402-410, 1990.
- [3] G.A. Holzapfel, C.A.J. Schulze-Bauer, G. Feigl, P. Regitnig, *Single lamellar mechanics of the human lumbar annulus fibrosus*, Biomech Model Mechanobiol 3:125-140, 2005.
- [4] J. C. Iatridis, M.M.D. Weidenbaum, L.A. Setton, V.C. Mow, *Is the Nucleus Pulposus a Solid or a Fluid? Mechanical Behaviors of the Nucleus Pulposus of the Human Intervertebral Disc*, Spine 21:1174-1184, 1996.

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS DISCOS INTERVERTEBRAIS DA REGIÃO LOMBAR QUANDO SUJEITOS A CARGAS VERTICAIS

Bebiana Mendonça<sup>1</sup>, João Ribeiro<sup>1</sup>, Mário Vaz<sup>2</sup> e H. Lopes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal; bhemendonca@ipb.pt

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal; jribeiro@ipb.pt

<sup>3</sup> Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal; gmanuz@fe.up.pt

<sup>4</sup> Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal; hlopes@ipb.pt

**Palavras Chave:** Coluna vertebral, Disco Intervertebral, Correlação Digital de Imagem.

**Resumo:** Neste trabalho pretende-se caracterizar o campo de deslocamentos e deformações de um disco intervertebral, assim como avaliar a aplicação da técnica de Correlação Digital de Imagem (CDI) neste tipo de material. Para a realização deste trabalho, foi montado um ensaio de compressão de uma coluna vertebral e através do equipamento de CDI foi possível a realização de uma análise global do campo de deslocamentos ocorrido na superfície da coluna vertebral, mais concretamente, no disco intervertebral entre as vértebras L3 e L4.

#### 1 Introdução

Um dos movimentos mais frequentes realizados durante o dia consiste no levantamento e transporte de objetos. Estes mecanismos são realizados de forma automática, sem que tenhamos consciência das exigências sobre o organismo para que estas cargas possam ser elevadas ou sustentadas. O estudo do comportamento mecânico da coluna durante o ato do levantamento e transporte de cargas tem vindo a ser estudado nos últimos anos [1], recorrendo a técnicas experimentais e numéricas. Neste trabalho recorreu-se à utilização da técnica ótica de Correlação Digital de Imagem (CDI). As técnicas óticas permitem uma análise do campo de deslocamentos e de deformações, bem como, a medição, sem contacto, oferecendo, também, uma informação de caráter global com resoluções submicrométricas.

A técnica experimental de CDI, esta é uma técnica que utiliza um método de correlação matemática para calcular o deslocamento no plano em superfícies de componentes ou estruturas sujeitas a tensões térmicas ou mecânicas. Na CDI, são comparadas duas imagens adquiridas em diferentes estados, uma antes de ocorrer deformação e uma outra imagem após a deformação [2].

O objecto é iluminado por uma fonte luminosa, sendo os padrões de intensidade resultantes da

textura da superfície. Os padrões de intensidade, deverão ter uma distribuição aleatória, e serão subdivididos em áreas de menores dimensões. Cada subdivisão será comparada por correlação com as imagens obtidas nos estados diferentes da deformação do objecto.

O campo de deslocamentos é obtido pela correlação entre o padrão aleatório da imagem inicial e a sua deformada.

#### 1.1 Descrição do ensaio

Para o estudo descrito, foi especialmente desenvolvida uma montagem para a realização do ensaio, como é possível observar na Fig. 1.



Fig. 1 Representação da montagem realizada neste ensaio.

O estudo foi realizado num modelo médico de uma coluna vertebral (ref. 5120) da empresa Sawbone®. Para realizar a medição com a técnica CDI, foi necessário criar um padrão aleatório sobre a superfície a medir, que correspondeu ao disco intervertebral entre as vértebras L3 e L4. Para isso, foi utilizado um *spray* de tinta preta para criar o padrão pretendido.

De seguida, a coluna foi fixada sobre uma mesa ótica, de forma a evitar movimentos de corpo rígido, e foram aplicadas várias cargas verticais. A face com o padrão aleatório ficou virada para o sistema de Correlação Digital de Imagem. A calibração do sistema foi realizada recorrendo à utilização de uma tira de papel milimétrico.

## 1.2 Resultados obtidos

Na coluna vertebral em estudo foram utilizadas várias cargas distintas durante os ensaios experimentais. Na Tab. 1 estão indicados as várias cargas utilizadas.

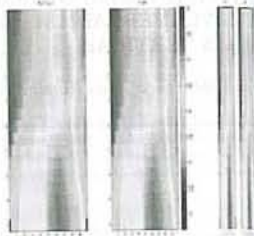
Tabela 1 Diferentes cargas aplicadas.

	Carregamento [N]
1	16,72
2	19,56
3	39,16

A Correlação Digital de Imagem é uma das poucas técnicas óticas que permite a medição do campo de deslocamentos e deformações tão elevados como os que ocorreram durante o ensaio. Na Fig. 2 está representado um exemplo do campo de deslocamentos obtido para uma carga de 39,16 N.



(a)



(b)

Fig. 2 Medição do campo de deslocamentos: (a) Zona da coluna vertebral a ensaiar e (b) campo de deslocamentos medidos na direção vertical.

Com os resultados obtidos pode-se verificar o campo de deslocamentos ocorridos na superfície da coluna vertebral.

## Conclusões

A Correlação Digital de Imagem mostrou estar bem adaptada à medição de campos de deslocamentos em discos intervertebrais. Tendo em conta a amplitude dos deslocamentos obtidos, esta técnica correlaciona o deslocamento de pequenas subdivisões da imagem, permitindo a medição de deslocamentos de grande amplitude. Verificou-se uma notória diferença no comportamento mecânico entre as vértebras e o disco intervertebral.

## Agradecimentos

Agradecemos à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pela cedência do equipamento utilizado neste trabalho.

## Referências

- [1] Cappelzozzo, A., "Compressive loads in the lumbar vertebral column during normal level walking", *Journal of Orthopaedic Research*, 3(1), pág.292-301, 1983.
- [2] Hu, T., Ranson, W., Sutton, M., Peters, W., "Application of Digital Image Correlation Techniques", *Experimental Mechanics*, nº3, Vol.25, pág.232-244, 1985.

## BIOMECÂNICA DA COLUNA CERVICAL: INFLUÊNCIA DOS LIGAMENTOS

P. C. Fernandes<sup>1</sup>, P. R. Fernandes<sup>2</sup> e J. Folgado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IDMEC – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal; pfernandes@dem.is.utl.pt

<sup>2</sup>IDMEC – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal; pfernandes@dem.is.utl.pt

<sup>3</sup>IDMEC – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal; jfolgado@dem.is.utl.pt

**Palavras Chave:** Coluna Cervical, Elementos Finitos, Ligamentos.

**Resumo:** Pretende-se com este trabalho estudar a influência da inserção de ligamentos num modelo computacional da coluna cervical.

## 1 Introdução

A coluna cervical é uma das estruturas mais complexas do esqueleto humano. Dada a elevada incidência de lesão nesta região, resultante de trauma ou doenças degenerativas, por vezes, é necessário recorrer-se a uma abordagem cirúrgica para a manutenção da qualidade de vida do doente. O recurso a modelos computacionais no estudo das alterações biomecânicas destes processos é uma ferramenta útil na compreensão dos mecanismos de lesão permitindo um melhoramento da prevenção, diagnóstico e tratamento de problemas clínicos [1].

## 2 Material e Métodos

Foi desenvolvido um modelo de elementos finitos tridimensional da coluna cervical – vértebras C2 a T1 e discos intervertebrais, para a simulação do comportamento biomecânico da coluna. Ao modelo, cujas propriedades e interações são semelhantes a Fernandes et al [2], adicionaram-se os ligamentos vertebral comum anterior e posterior, ligamento amarelo, ligamento interespinhoso e cápsula articular. Estes foram modelados através de elementos barra com funcionamento apenas em tração e os seus locais de inserção definidos de acordo com a descrição anatómica da região [3,4]. Para a realização das análises computacionais, considerou-se que todos os materiais apresentavam um comportamento linear elástico e as forças aplicadas basearam-se no trabalho de

Panjabi et al. [5], as quais simulam os movimentos base da coluna. Testou-se a influência de alguns parâmetros, tais como as propriedades materiais dos ligamentos e a alteração da área de secção da cápsula articular, nos resultados. Comparou-se a amplitude do movimento (ADM) com o modelo inicial e com dados *in vitro* e computacionais apresentados por outros autores [5-8].

## 3 Resultados e Discussão

Comparando o modelo da coluna cervical com e sem ligamentos, verificou-se um aumento da rigidez do mesmo quando os ligamentos estão presentes, tal como esperado (Tab. 1). Esta mesma rigidez apresenta alterações, com a variação das propriedades materiais dos ligamentos (Tab. 2), e da sua área de secção no caso da cápsula articular (Tab. 3). Verifica-se que a variação da ADM com as alterações de propriedades propostas é menos acentuada para o movimento de extensão, dado este ser um movimento que provoca a deformação de apenas um dos ligamentos modelados, o ligamento vertebral comum anterior [7]. Por fim, compararam-se os resultados de ADM do modelo computacional apresentado com dados *in vitro* e computacionais apresentados por outros autores [5-8]. Verifica-se uma concordância da gama de valores apresentada no nosso modelo com a destes autores.

ISBN 978-989-96276-3-5



**U. PORTO**  
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

**FCT**  
Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA



**inegi** driving innovation

**U. PORTO**