

# 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

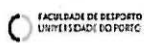
Elza M. M. Fonseca, ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança

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

## **COMISSÃO CIENTÍFICA**

António Silva, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

António Torres Marques, DEMEGI, Universidade do Porto

Eduardo Borges Pires, DECivil, Instituto Superior Técnico

Fernando Fonseca, FM, Universidade de Coimbra

Fernando Simões, DECivil, Instituto Superior Técnico

Filomena Carnide, FMH, Universidade Técnica de Lisboa

Hélder Rodrigues, DEM, Instituto Superior Técnico

Jacinto Monteiro, FML, Universidade de Lisboa

Jan Cabri, FMH, Universidade Técnica de Lisboa

João Abrantes, Universidade Técnica de Lisboa

João Folgado, DEM, Instituto Superior Técnico

João Levy Melancia, FML, Universidade de Lisboa

João Martins, DECivil, Instituto Superior Técnico

João Paulo Vilas-Boas, FCDEF, Universidade do Porto

Jorge Ambrósio, DEM, Instituto Superior Técnico

José Caeiro Potes, DSAV, Universidade de Évora

José Carlos Pereira, DEM, Instituto Superior Técnico

José Reis Campos, FMD, Universidade do Porto

José Dias Rodrigues, DEMEGI, Universidade do Porto

Luís Trabucho de Campos, FC, Universidade de Lisboa

Mário Secca, FCT, Universidade Nova de Lisboa

Miguel Tavares Silva, DEM, Instituto Superior Técnico

Nuno Rilo, DEM, Universidade de Coimbra

Renato Natal Jorge, DEMEGI, Universidade do Porto

Rui Miranda Guedes, DEMEGI, Universidade do Porto

## **COMISSÃO DE HONRA**

Presidente do IPB

Presidente da ESE

Presidente da ESTIG

Presidente da Câmara Municipal de Bragança

Governador Civil de Bragança

<i>PREFÁCIO</i> .....	XIII
<b>1 BIOMECÂNICA ORTOPÉDICA E DE REABILITAÇÃO</b> .....	<b>1</b>
ESTUDO DO EFEITO DE STRAIN SHIELDING NA ARTICULAÇÃO PATELOFEMORAL SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ACTIVIDADE.....	3
ANÁLISE DA MARCHA BASEADA NUMA CORRELAÇÃO MULTIFACTORIAL .....	11
ESTUDO DA GEOMETRIA DA PRÓTESE DA ANCA PARA OPTIMIZAR A ESTABILIDADE INICIAL E O DESEMPENHO A LONGO PRAZO .....	17
PRÓTESES GLENO-UMERAIS – ESTADO DA ARTE.....	23
INFLUÊNCIA DA MODELAÇÃO DO OSSO PÉLVICO NAS PRESSÕES DE CONTACTO E DESGASTE DO COMPONENTE ACETABULAR DE UMA PRÓTESE DA ANCA .....	25
ANÁLISE DO DESGASTE EM PRÓTESES DO OMBRO ANATÓMICAS E INVERSAS .....	31
ANÁLISE DAS FORÇAS DE REACÇÃO DO SOLO E ACTIVIDADE ELECTROMIOGRÁFICA DO MEMBRO CONTRA-LATERAL DURANTE A FASE DE TRANSIÇÃO ENTRE PASSOS .....	37
DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS DE CONTACTO E ATRITO NA INTERFACE ENTRE O MEMBRO INFERIOR E UMA ORTÓTESE AFO UTILIZANDO METODOLOGIAS DE DINÂMICA MULTICORPO .....	43
ANÁLISE BIOMECÂNICA DA INFLUÊNCIA DA DISPLASIA DA ANCA NA LOCOMOÇÃO DO CÃO DA SERRA DA ESTRELA – UM PROJECTO DE INVESTIGAÇÃO .....	49
ESTADO DA ARTE NA BIOMECÂNICA DA COLUNA VERTEBRAL.....	53
BIOMECÂNICA DO JOELHO – PASSADO, PRESENTE E FUTURO .....	57
MODELAÇÃO BIOMECÂNICA DO CONFLITO FÊMURO-ACETABULAR DO TIPO CAM.....	63
PROPAGAÇÃO E ACUMULAÇÃO DE DANO EM PRÓTESES DE ANCA CIMENTADAS – ELEMENT FAILURE METHOD.....	69
PROXIMAL FEMUR PARAMETERIZATION AND CONTACT MODELING FOR TOTAL HIP RESURFING SURGERY .....	71
SIMULADOR DE DESGASTE DA COMPONENTE ACETABULAR DA PRÓTESE DA ANCA.....	77
INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO E DO MATERIAL NAS PRESSÕES DE CONTACTO NA COMPONENTE ACETABULAR DE UMA PRÓTESE TOTAL DA ANCA .....	85
VARIABLE IMPEDANCE CONTROL OF MANIPULATOR ROBOTS APPLIED TO ORTHOPEDIC SURGERY .....	91
ESTUDO DOS PARÂMETROS BIOMECÂNICOS NA INTERFACE IMPLANTE-OSSO NA ARTROPLASTIA PATELO-FEMORAL.....	97
ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD PRIMARIA, INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE VÁSTAGOS DE PRÓTESIS FEMORALES PERSONALIZADAS: APLICACIÓN A PACIENTE ESPECÍFICO .....	101

RIGIDEZ NO TORNOZELO E PRESSÃO PLANTAR AUMENTADA EM DIABÉTICOS NEUROPATAS: IMPLICAÇÕES PARA A PRESCRIÇÃO DE ACTIVIDADE FÍSICA .....	111
DETERMINAÇÃO DA ACTIVIDADE MIOELÉCTRICA DOS MÚSCULOS AGONISTAS E ANTAGONISTAS ENVOLVIDOS NA VIRAGEM DE ROLAMENTO VENTRAL EM NATAÇÃO. 117	
A IMPORTÂNCIA DA BIOMECÂNICA ARTICULAR NA REABILITAÇÃO ORAL COM PRÓTESE TOTAL.....	121
ANÁLISE BIOMECÂNICA DA RECUPERAÇÃO FUNCIONAL NA REPARAÇÃO DE LESÕES DO NERVO PERIFÉRICO NUM MODELO ANIMAL.....	123
PREVALÊNCIA DAS ALTERAÇÕES DA PERCEPÇÃO À PRESSÃO NO PACIENTE DIABÉTICO TIPO 2 QUE RECORRE AO SERVIÇO DE PODOLOGIA DO HOSPITAL N.º S.º DA CONCEIÇÃO DE VALONGO .....	131
PREVALÊNCIA DO PÉ PLANO INFANTIL DOS 4 AOS 13 ANOS EM DOIS COLÉGIOS DA ZONA METROPOLITANA DO PORTO.....	139
AVALIAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS TRANSMITIDOS PELOS APARELHOS ORTODÔNTICOS E ORTOPÉDICOS, UTILIZADOS NO TRATAMENTO DA MORDIDA CRUZADA POSTERIOR ORIGINADA POR UMA ATRESIA MAXILAR.....	145
ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DE UMA PRÓTESE TRANSTIBIAL.....	151
A INFLUÊNCIA DA DENSIDADE ÓSSEA NA SIMULAÇÃO DE UM FÉMUR HUMANO .....	155
ANÁLISE DE MARCHA DE INDIVÍDUOS AMPUTADOS COMPARATIVAMENTE À MARCHA NORMAL UTILIZANDO DINÂMICA INVERSA TRIDIMENSIONAL.....	161
<b>2 BIOMECÂNICA DO SISTEMA MÚSCULO-ESQUELÉTICO.....</b>	<b>163</b>
MODELAGEM DO CONTROLE POSTURAL HUMANO DURANTE POSTURA ERETA.....	165
MÉTODOS BIOMECÂNICOS DE ANÁLISE DA ESTABILIDADE ARTICULAR.....	173
RIGIDEZ MUSCULAR ACTIVA EM MULHERES PÓS-MENOPAUSICAS .....	177
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO 3D DA MÃO HUMANA .....	183
ARTICULATED AND DEFORMABLE MOTION ANALYSIS FROM MOTION CAPTURE DATA	189
ALTERAÇÕES DINÂMICAS DO SISTEMA MUSCULO-ESQUELÉTICO ASSOCIADAS À FADIGA (ESTUDO PRELIMINAR).....	195
<b>3 BIOMECÂNICA DOS TECIDOS .....</b>	<b>201</b>
ESTUDO BIOMECÂNICO SOBRE O EFEITO DAS PROPRIEDADES ORTOTRÓPICAS NA ANÁLISE DINÂMICA DO OUVIDO MÉDIO .....	203
ESTUDO COMPUTACIONAL DA MIRINGOSCLEROSE .....	209
INFLUÊNCIA DE UMA APRESENTAÇÃO OCCIPITO-POSTERIOR NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DO PAVIMENTO PÉLVICO .....	213
IMAGENS MÉDICAS DE FÉMUR UTILIZADAS NO ESTUDO DO TECIDO ÓSSEO SOB INFLUÊNCIA DA ACTIVIDADE MUSCULAR E QUOTIDIANA.....	217
CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS EM TECIDOS HIPER-ELÁSTICOS ...	223
INFLUÊNCIA DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS NO PROCESSO DE REMODELAÇÃO ÓSSEA .....	227

	CARACTERIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO/ALÍVIO DE PRESSÃO MEDIANTE A TEMPERATURA E A RESPOSTA GALVÂNICA DA PELE .....	233
	DETERMINAÇÃO DAS DIRECÇÕES DAS FIBRAS MUSCULARES DO PAVIMENTO PÉLVICO .....	239
<b>4</b>	<b>BIOMECÂNICA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>245</b>
	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SEM FIOS PARA MONITORIZAÇÃO DO ÂNGULO DO JOELHO .....	247
	DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE ENSAIO PARA A PRÓTESE PATELO-FEMURAL COM 6 GRAUS DE LIBERDADE .....	251
	PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ERGÔMETRO PARA AVALIAR O CONDICIONAMENTO FÍSICO DE CADEIRANTES.....	257
	ANÁLISE EXPERIMENTAL DO MOVIMENTO PREPARATÓRIO DE SALTO EM ALTURA .....	265
	PROTÓTIPO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SINAL EMG.....	271
	DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO MEDICO-HOSPITALAR DE LIMPEZA DE FERIDAS .....	281
	POSITION AND FORCE CONTROL OF A FLEXIBLE ROBOT MANIPULATOR FOR TOTAL HIP RESURFACING SURGERY .....	287
	DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES MUSCULARES INDIVIDUALIZADAS DO MÚSCULO <i>GASTROCNEMIUS</i> A PARTIR DE FLEXÕES PLANTARES ISOMÉTRICAS EFECTUADAS NUM DINAMÓMETRO.....	293
	DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR PARA MEDIÇÃO EM TEMPO-REAL DE FORÇAS PLANTARES.....	299
	RECONSTRUÇÃO SEGMENTAR DO CORPO HUMANO: COMPARAÇÃO DE DOIS MÉTODOS DE MARCAÇÃO ANATÓMICA (ESTUDO PRELIMINAR) .....	303
	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE FORMA COM APLICAÇÃO À BIOMECÂNICA.....	309
	INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA PACIENTES ASMÁTICOS .....	313
	ANÁLISE CINÉTICA E CINEMÁTICA DA MARCHA DA GRÁVIDA NO TERCEIRO TRIMESTRE DE GRAVIDEZ (ESTUDO PRELIMINAR) .....	319
	INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO DE SUAVIZAÇÃO NO SINAL EMG .....	325
<b>5</b>	<b>BIOMECÂNICA CARDIOVASCULAR, BIOFLUIDOS E HEMODINÂMICA .....</b>	<b>327</b>
	EFEITOS PSEUDOPLÁSTICOS NA MODELAÇÃO DO SANGUE .....	329
	ESTUDO NUMÉRICO DO ESCOAMENTO DE UM FLUIDO VISCOSO ATRAVÉS DE UM IMPLANTE ORTOPÉDICO .....	335
	FACTORES BIOQUÍMICOS E MECÂNICOS NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DO SANGUE... ..	341
	MODELAÇÃO DA INTERACÇÃO FLUIDO-ESTRUTURA ENTRE OS VASOS SANGUÍNEOS E A PULSAÇÃO CARDÍACA USANDO UM ELEMENTO DE ANEL AXISSIMÉTRICO TIPO MEMBRANA .....	347
	RESISTÊNCIA À FADIGA DE UM CAGE <i>MESH</i> FABRICADO EM TITÂNIO COMERCIALMENTE PURO.....	355
	ESTUDO BILATERAL NA AVALIAÇÃO MULTIPARAMÉTRICA DA RIGIDEZ ARTERIAL .....	363

<b>6</b>	<b>BIOMECÂNICA OCUPACIONAL, CRÂNIO E COLUNA .....</b>	<b>365</b>
	SIMULAÇÃO DO MOVIMENTO PREPARATÓRIO DO SALTO UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS ANTROPOMÉTRICOS .....	367
	PRESSÃO PLANTAR EM MULHERES POS-MENOPÁUSICAS OBESAS, TERAPIA HORMONAL DE SUBSTITUIÇÃO E TIPO DE MENOPAUSA .....	373
	PARÂMETROS BIOMECÂNICOS DE PRESSÃO PLANTAR, IDADE E VARIÁVEIS DA COMPOSIÇÃO CORPORAL EM MULHERES POS-MENOPÁUSICAS OBESAS .....	375
	DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE CONTACTO ENTRE O PÉ E O PAVIMENTO PARA SIMULAÇÃO DA MARCHA HUMANA .....	377
	MODELAÇÃO E ANÁLISE DA FUSÃO INTER-SOMÁTICA CERVICAL .....	381
	MODELO MULTICORPO DA COLUNA CERVICAL E CABEÇA PARA SIMULAÇÃO DE LESÕES DE ORIGEM TRAUMÁTICA E DEGENERATIVA .....	387
	ANÁLISE DO MOVIMENTO CÍCLICO DE UMA PASSADA ASSIMÉTRICA .....	393
	CO-SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MULTICORPO COM MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS: APLICAÇÃO À ANÁLISE DE TENSÕES NOS DISCOS INTERVERTEBRAIS .....	399
	MÉTRICA VERTEBRAL: INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA COLUNA VERTEBRAL .....	405
	VALIDAÇÃO DO “MÉTRICA VERTEBRAL” ATRAVÉS DE UM SISTEMA OPTOELÉCTRICO DE ESTEREOFOTOGRAMETRIA .....	409
	CONSEQUENCES OF THE USE OF A GLOBAL OPTIMIZATION APPROACH ON THE MUSCLE FORCE SHARING FOR GAIT .....	413
	UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ADAMS LIFEMODELER PARA DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMECÂNICOS .....	421
<b>7</b>	<b>BIOMECÂNICA DESPORTIVA .....</b>	<b>427</b>
	A ANÁLISE DO ARRASTO DE FORMA E DO ARRASTO DE FRICÇÃO DURANTE O DESLIZE EM NATAÇÃO .....	429
	A CASE STUDY TO INVESTIGATE THE SWIMMING PROPULSIVE EFFICIENCY .....	435
	A IMPORTÂNCIA DOS CAPACETES NOS ACIDENTES COM VEÍCULOS DE DUAS RODAS E MODELOS COMPUTACIONAIS PARA A MELHORIA DAS SUAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA .....	439
	ALTERAÇÕES CINEMÁTICAS NO REMATE DE FUTEBOL INDUZIDAS PELA FADIGA .....	445
	ANÁLISE CINEMÁTICA DA TÉCNICA DE JUDO: YOKO-TOMOE-NAGE .....	451
	ANÁLISE CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL DO SWING UTILIZANDO TRÊS TACOS DIFERENTES .....	455
	ANÁLISE DINÂMICA COMPARATIVA DE SALTOS DE IMPULSÃO VERTICAL .....	461
	CARACTERIZAÇÃO CINEMÁTICA DO SERVIÇO NO TÊNIS EM JOGADORES DE DIFERENTE NÍVEL .....	463
	CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES TEMPORAIS DE COMPORTAMENTO DE MARIPOSISTAS DE ELITE .....	467

COMPARAÇÃO CINEMÁTICA E NEUROMUSCULAR DE UM EXERCÍCIO DE ABDOMINAIS NO SOLO E NA FITBALL .....	473
COMPARAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE RECONSTRUÇÃO CINEMÁTICA 2D NA TÉCNICA DE BRUÇOS – DUPLO MEIO / PLANOS SEPRADOS .....	479
CONSTRANGIMENTO MECÂNICO PROVOCADO PELA VÁLVULA AQUATRAINER® ASSOCIADA AO SISTEMA DE OXIMETRIA DIRECTA (K4 B <sup>2</sup> ) NA CINEMÁTICA DE BRUÇOS .....	485
<b>8 BIOMECÂNICA DESPORTIVA E DA LESÃO E IMPACTO.....</b>	<b>491</b>
CONSTRANGIMENTO MECÂNICO PROVOCADO PELA VÁLVULA AQUATRAINER® ASSOCIADA AO SISTEMA DE OXIMETRIA DIRECTA (K4 B <sup>2</sup> ) NA CINEMÁTICA DE CROL .....	493
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMECÂNICOS PARA AVALIAÇÃO DE LESÕES EM ACIDENTES COM AUTOCARROS .....	499
DEVELOPMENT OF A FREEFORM SURFACE CONTACT METHODOLOGY FOR DYNAMIC ANALYSIS OF THE HUMAN KNEE.....	505
ESTUDO PRELIMINAR DAS VARIÁVEIS DINÂMICAS E CINEMÁTICAS DE DIFERENTES SALTOS DE IMPULSÃO VERTICAL .....	511
OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO MOTOR NA TÉCNICA DE MARIPOSA: VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO DE OBSERVAÇÃO .....	521
SIMULAÇÃO DE ATROPELAMENTOS COM BASE NA TEORIA DOS ELEMENTOS FINITOS E DA DINÂMICA DE CORPOS MÚLTIPLOS .....	529
VARIAÇÃO INTRACÍCLICA DA VELOCIDADE HORIZONTAL DA ANCA EM NADADORES PORTADORES DE SÍNDROME DE DOWN .....	535
VELOCIDADE SUB-MÁXIMAL, TREINO E O COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS BIOMECÂNICOS ASSOCIADOS À ECONOMIA DE CORRIDA.....	541
<b>9 PROCESSAMENTO DE IMAGEM.....</b>	<b>547</b>
ALGORITMOS PARA ALINHAMENTO DE IMAGENS MÉDICAS: PRINCÍPIOS E APLICAÇÃO EM IMAGENS DE ESCLEROSE MÚLTIPLA.....	549
RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DE ESTRUTURAS ANATÓMICAS EXTERNAS UTILIZANDO MÉTODOS VOLUMÉTRICOS .....	557
MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM PARA ANÁLISE DA MARCHA.....	563
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LOCOMOÇÃO CANINA.....	565
A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA MODELAÇÃO DE PATOLOGIAS.....	571
ANALYSIS OF THE BLOOD FLOW IN A MICROCHANNEL WITH A BIFURCATION .....	577
A CAD TOOL FOR MAMMOGRAPHY IMAGE ANALYSIS: EVALUATION ON GRID ENVIRONMENT.....	583
TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA MULTI-CORTE NA CONSTRUÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS.....	591
ANALISE BIOMECÂNICA DO REMATE EM VOLEIBOL: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ATLETAS DO ESCALÃO MASCULINO E FEMININO DA CIDADE DE MAPUTO.....	593

	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DA INTERFACE DE UMA COMPONENTE FEMORAL DE UM IMPLANTE DE ANCA CIMENTADO COM FBG.....	595
<b>10</b>	<b>ENGENHARIA DE TECIDOS E BIOMATERIAIS .....</b>	<b>597</b>
	MUDANÇAS NA CARACTERIZAÇÃO DA PELE DA PANTURRILHA DEVIDO AO PROCESSO DE EXPANSÕES SUCESSIVAS: UMA CARACTERIZAÇÃO <i>IN VIVO</i> USANDO A EQUAÇÃO CONSTITUTIVA DE DELFINO.....	599
	EFEITO DO PH NAS PROPRIEDADES DE TRANSPORTE DA CARTILAGEM ARTICULAR.....	603
	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIPERELÁSTICAS DO PAVIMENTO PÉLVICO....	607
	ANÁLISE DA PERMEABILIDADE EM SUPORTES PARA ENGENHARIA DO TECIDO ÓSSEO .	611
	ANÁLISE DA REMODELAÇÃO ÓSSEA NO ÚMERO APÓS UMA ARTROPLASTIA DO OMBRO .....	617
	VALIDAÇÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL DE REMODELAÇÃO ÓSSEA PARA A DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO OSSO OSTEOPORÓTICO.....	623
	MODELO MULTI-ESCALA DE REMODELAÇÃO ÓSSEA COM INTRODUÇÃO DE PARÂMETROS BIOLÓGICOS NA CARACTERIZAÇÃO DA MICROESTRUTURA TRABECULAR .....	629
	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE TECIDO VAGINAL UTILIZANDO O MODELO DE WEISS MODIFICADO .....	635
	MECÂNICA DOS TECIDOS MOLES EM BIOMATERIAIS USADOS EM MEDICINA REGENERATIVA .....	641
	ENSAIOS MECÂNICOS EM UHMWPE REFORÇADO COM CNT PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS .....	645
	AVALIAÇÃO DE <i>SCAFFOLDS</i> DE HIDROXIAPATITE E FOSFATO TRICÁLCICO PARA CRESCIMENTO ÓSSEO.....	651
	DESIGN DE <i>SCAFFOLDS</i> PARA A ENGENHARIA DE TECIDOS: BIOMIMETISMO.....	655
	DESIGN DE <i>SCAFFOLDS</i> PARA A ENGENHARIA DE TECIDOS: COMPORTAMENTO ESTRUTURAL .....	661
	DESIGN DE <i>SCAFFOLDS</i> PARA A ENGENHARIA DE TECIDOS: COMPORTAMENTO VASCULAR .....	667
	DESIGN DE <i>SCAFFOLDS</i> PARA A ENGENHARIA DE TECIDOS: OPTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA .....	673
	CRITÉRIO DE FRACTURA DE UM CIMENTO RESINOSO DENTAL BIOCOMPATÍVEL .....	679
	CRITÉRIOS DE FRACTURA APLICADOS A BIOMATERIAIS E ESTRUTURAS ORGÂNICAS MINERALIZADAS.....	685
	SISTEMA INTELIGENTE PARA O PROJECTO DE <i>SCAFFOLDS</i> PARA ENGENHARIA DE TECIDOS .....	691
<b>11</b>	<b>BIOMECÂNICA OROFACIAL.....</b>	<b>697</b>
	ANÁLISE DE TENSÕES EM UMA ALÇA DE RETRAÇÃO ORTODÔNTICA EM DELTA POR MEIO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	699
	ESTUDO BIOMECÂNICO DA ARTICULAÇÃO TEMPOROMANDIBULAR.....	705

ANÁLISE DAS TENSÕES ACTUANTES NAS ESTRUTURAS ÓSSEAS BUCAIS PROVOCADAS POR APARELHO COM PARAFUSO EXPANSOR .....	709
UMA ABORDAGEM MATEMÁTICA DO PROCESSO DA OSTEOGÊNESE UTILIZANDO ENSAIOS <i>IN VITRO</i> .....	715
ESTUDO COMPARATIVO DE IMPLANTES TEMPORO-MANDIBULARES PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS EM DIFERENTES GEOMETRIAS DA MANDÍBULA.....	723
IMPLANTES TEMPORO-MANDIBULARES SEMI-ANATÓMICOS E ANATÓMICOS: ESTUDO PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	729
INFLUÊNCIA DO MODELO DIGITAL NA ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS: A MANDÍBULA COMO CASO DE ESTUDO.....	735
VALIDAÇÃO NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE UM MACRO-MODELO DENTÁRIO DE ESTUDO .....	741
DESENVOLVIMENTO DE UM ESTUDO POR ELEMENTOS FINITOS DURANTE UM PROCESSO DE CICATRIZAÇÃO DE UM IMPLANTE DENTÁRIO SUJEITO A CARGA IMEDIATA .....	745
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FRACTURA DE PRÓTESES PARCIAIS FIXAS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	747
2D FINITE ELEMENT MODEL OF THE TMJ: SIMULATION OF AN OPENING MOVEMENT .	749
ESTUDO DAS TENSÕES DESENVOLVIDAS EM PRÓTESES PARCIAIS FIXAS TIPO <i>CANTILEVER</i> EXECUTADAS EM CAD-CAM PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	753
<b>12 BIOMECÂNICA OROFACIAL E MECANOBIOLOGIA .....</b>	<b>757</b>
MECANOBIOLOGIA DO OSSO I: MICROARQUITECTURA DO OSSO TRABECULAR EM ESTUDOS DE PALEODEMOGRAFIA.....	759
MECANOBIOLOGIA DO OSSO II: MICROESTRUTURA DO OSSO COMPACTO EM ESTUDOS DE PALEODEMOGRAFIA .....	765
ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PRÓTESES PARCIAIS FIXAS DENTÁRIAS COM RESINAS ACRÍLICAS AUTOPOLIMERIZÁVEIS .....	771
BIOMECÂNICA DA MASTIGAÇÃO: ESTUDO DA MASTIGAÇÃO COM ELECTROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE .....	775
BIOMECÂNICA DA DEGLUTIÇÃO: ESTUDO DA DEGLUTIÇÃO POR ELECTROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE .....	777
AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE MOLAS ORTODÔNTICAS .....	779
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>783</b>

## SIMULAÇÃO DO MOVIMENTO PREPARATÓRIO DO SALTO UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS ANTROPOMÉTRICOS

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:** Modelos antropométricos, dinâmica corpos rígidos, aproximação numérica.

**RESUMO:** O corpo humano pode ser definido através de um sistema de segmentos articulados em equilíbrio dinâmico, sendo o movimento causado por forças internas e externas, provocando variações angulares dos segmentos. Este estudo pretende apresentar uma síntese da análise do comportamento do movimento plano, preparatório de salto do corpo humano, com contra movimento. Serão considerados diferentes modelos de análise, baseados em modelos de corpo rígido articulados, com massa concentrada, massa distribuída e com diferentes formas geométricas. São comparadas diferentes soluções numéricas com diferentes níveis de aproximação, avaliando diferentes regras de integração numérica.

### 1 INTRODUÇÃO

O estudo do movimento preparatório do salto, com contra movimento, é apresentado como protocolo deste estudo. Para tal é utilizado um movimento definido em função da posição angular dos segmentos anatómicos, [1]. Admite-se que os braços não possuem qualquer movimento relativo, em relação ao tronco e que todo o movimento é efectuado em 200 [ms].

A simulação numérica deste movimento foi efectuada com o programa Interactive Physics, [2] e estudada com quatro modelos diferentes, ver figura 1, sendo que dois apresentam massa concentrada e os restantes apresentam massa distribuída. Os modelos são constituídos por quatro articulações representativas da extremidade do pé, tornozelo, joelho e anca.

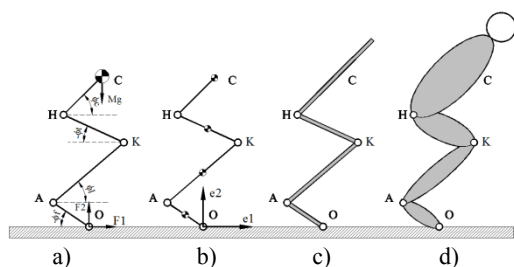


Fig. 1 Representação de diferentes modelos.

É efectuada a comparação dos parâmetros cinemáticos de velocidade e aceleração. É ainda efectuada a análise dinâmica deste movimento para determinação do valor da reacção vertical no ponto “O”.

É apresentada uma comparação entre dois métodos de integração (Euler e Kutta-Merson), para todos os parâmetros em análise.

O modelo antropométrico apresenta as seguintes características de massa e comprimento para cada segmento anatómico, ver tabela 1.

Tabela 1 Propriedades anatómicas, [1-3].

Seg.	Nº	Massa [kg]	Massa [%]	Comp. [m]
Total	-	68,00	100	-
AO=f	2	2,04	3,0	0,27
AK=l	2	6,12	9,0	0,48
KH=t	2	14,28	21,0	0,50
HC=c	1	45,56	67,0	0,28

### 2 ANÁLISE CINEMÁTICA E DINÂMICA

A análise do movimento preparatório do salto com contra movimento é definida pela posição angular de cada segmento que une as articulações. O sistema de equações (1)

apresenta os valores das posições angulares,  $\phi$  [rad], em função do tempo,  $t$  [s], para cada segmento.

$$\begin{aligned} \phi_f &= -2t \\ \phi_l &= 20(t-0.15)^2 + 0.7 \\ \phi_t &= -15(t-0.10)^2 - 0.6 \\ \phi_c &= 2.5t + 0.4 \end{aligned} \quad (1)$$

Embora o salto seja efectuado a partir da posição vertical recta, o indivíduo não se encontra nessa posição no instante inicial. Neste instante ( $t=0$ ) o centro de massa já sofreu deslocamento vertical descendente, sendo que este instante não corresponde ao início do movimento preparatório do salto. As posições angulares iniciais são apresentadas para cada segmento, de acordo com as equações, (2).

$$\phi_f = 0^\circ; \phi_l = 66^\circ; \phi_t = -43^\circ; \phi_c = 23^\circ \quad (2)$$

A velocidade e a aceleração angular de cada segmento é determinada pela derivação sucessiva em ordem ao tempo, dando origem ao seguinte sistema de equações, (3).

$$\begin{aligned} \bar{w}_f &= -2 \bar{e}_3 & \bar{\alpha}_f &= 0 \bar{e}_3 \\ \bar{w}_l &= 40(t-0.15) \bar{e}_3 & \bar{\alpha}_l &= 40 \bar{e}_3 \\ \bar{w}_t &= -30(t-0.10) \bar{e}_3 & \bar{\alpha}_t &= -30 \bar{e}_3 \\ \bar{w}_c &= \dot{\phi}_c = 2.5 \bar{e}_3 & \bar{\alpha}_c &= 0 \bar{e}_3 \end{aligned} \quad (3)$$

A velocidade e as acelerações lineares podem ser determinadas pelas expressões de Mozzi, representadas para qualquer dois pontos, P e Q, desde que pertencentes ao mesmo segmento.

$$\begin{aligned} \bar{v}_P &= \bar{v}_Q + \bar{w} \times \bar{Q}P \\ \bar{a}_P &= \bar{a}_Q + \bar{w} \times \bar{Q}P + \bar{w} \otimes (\bar{w} \otimes \bar{Q}P) \end{aligned} \quad (4)$$

A força reactiva pode ser determinada pela segunda lei de Newton, considerando o diagrama de corpo livre representado na figura 1.

$$\begin{aligned} F_1 &= M(a_{c1}) \\ F_2 &= M(a_{c2} + g) \end{aligned} \quad (5)$$

### 3 APROXIMAÇÃO NUMÉRICA

A aproximação numérica é efectuada no programa de análise Interactive Physics. Foram utilizados diferentes modelos antropométricos e diferentes esquemas de integração numérica. Os modelos foram construídos num programa de desenho assistido por computador (AutoCAD) e transportados para o programa de análise. Nas articulações é imposto o valor da velocidade angular relativa entre cada segmento, utilizando o modelo de actuator angular. Os modelos de massa concentrada foram simulados com a utilização de pequenos corpos rígidos de forma circular. As distâncias entre as articulações (O, A, K e H) foram mantidas em todos os modelos, de acordo com as características antropométricas. A posição do ponto de referência (C) também foi mantida constante em todos os modelos.

Na figura 2 estão representadas as posições correspondentes a cada modelo, no período da simulação, para diferentes posições intermédias. Não foram representadas todas as posições.

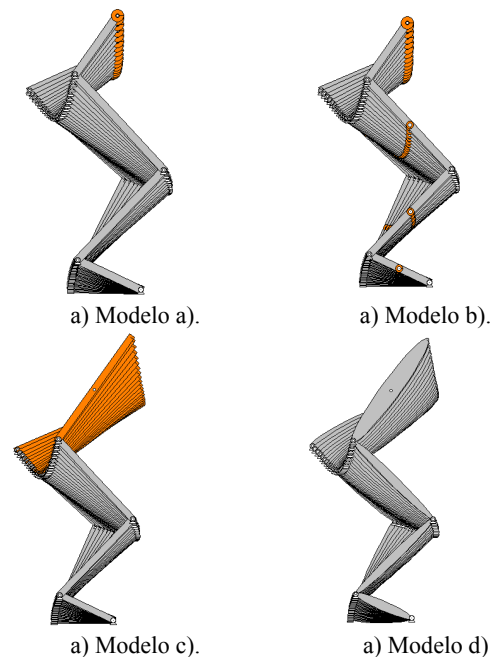


Fig. 2 Modelos utilizados na simulação.

### 3.1 ESQUEMAS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

Foram comparados dois métodos de integração, Euler (E) e Kutta-Merson (K). O primeiro tem processamento mais rápido, enquanto o segundo possui a característica de ser mais exacto.

O esquema de integração de Euler é considerado um método de 1ª ordem, com aproximação em expansão de série de Taylor, com passo de integração fixo, explícito. Não é o método mais indicado para movimentos rápidos.

O esquema de integração de Kutta-Merson é considerado um método de alta ordem, com aproximação em expansão de série de Taylor, explícito, com passo de integração variável, no caso do erro ultrapassar um valor definido.

Foi efectuado um teste de convergência, utilizando o método de Euler, avaliando a posição do ponto de referência (C), por comparação entre simulações sucessivas. Foi definido um erro quadrático, que tende a diminuir monotonamente, para diferentes valores de incremento de tempo de integração (0.02 [s], 0.01 [s], 0.005 [s] e 0.002[s]). Foi decidido considerar um intervalo de tempo de 0.002 [s] para todas as simulações, ver figura 3.

O processo de integração variável utiliza a variação da aceleração para determinar o intervalo de tempo adequado. Quando a primeira aumenta, o intervalo de integração (Dt) deve diminuir para metade. Neste esquema de integração, o programa de análise determina o valor do erro em cada passo de integração, utilizando os conceitos de erro relativo e de erro absoluto.

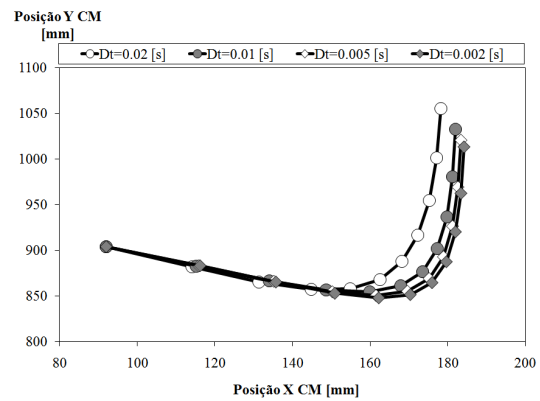


Fig. 3 Teste de convergência de solução.

### 3.2 FORÇAS DE REACÇÃO

As forças reactivas foram determinadas para os diferentes métodos de aproximação. Na figura 4 estão representados os valores da força de reacção horizontal (F1). Os resultados numéricos que mais se aproximam da variação analítica são os correspondentes ao modelo a). Os resultados do modelo c) subestimam o valor desta componente, enquanto que os resultados dos modelos b) e d) sobrestimam os valores na parte final do movimento.

A referência utilizada para distinguir os diferentes modelos e métodos de integração foi:  $F_i - M_x) - I$ . Nesta referência,  $F_i$  pretende representar a componente  $i$  ( $i=1,2$ ) da força reactiva,  $M_x$  ( $x=$  modelos a, b, c e d) pretende identificar os diferentes modelos antropométricos e por último,  $I$  ( $I=E,K$ ) que representa os dois esquemas de integração.

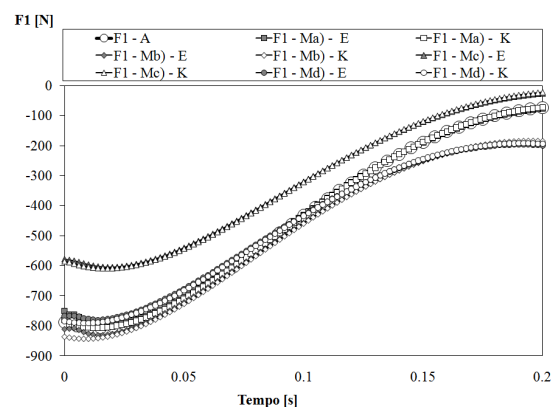


Fig. 4 Variação da componente horizontal da força de reacção.

Na figura 5 estão representados os valores da força de reacção vertical (F2). Os resultados demonstram que, antes de se iniciar a fase de voo, esta componente apresenta valores inferiores ao valor da força peso do indivíduo, aumentando para valores da ordem de grandeza superior a três vezes o valor da força peso.

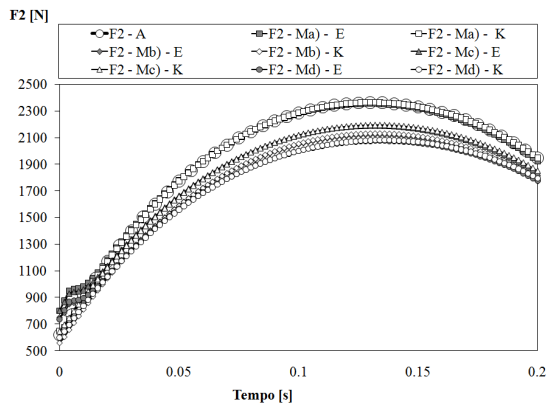


Fig. 5 Variação da componente vertical da força de reacção.

Os resultados numéricos que mais se aproximam dos valores analíticos são os correspondentes ao modelo a). Todos os outros modelos subestimam o valor desta componente.

### 3.3 PARÂMETROS CINEMÁTICOS

A velocidade e a aceleração foram os parâmetros escolhidos para análise comparativa dos modelos e dos esquemas de integração.

A aceleração linear foi comparada para os diferentes pontos de referência e em particular para o ponto C. Na figura 6 estão representados os resultados analíticos e numéricos, determinados com diferentes modelos e métodos de integração.

A referência utilizada para distinguir os diferentes modelos e métodos de integração foi:  $aCi - Mx) - I$ . Nesta referência,  $aCi$  pretende representar a componente  $i$  ( $i=1,2$ ) da aceleração do ponto C,  $Mx$  ( $x=$  modelos a,b,c e d) pretende identificar os diferentes modelos antropométricos e por último,  $I$  ( $I=E,K$ ) representa os dois esquemas de integração.

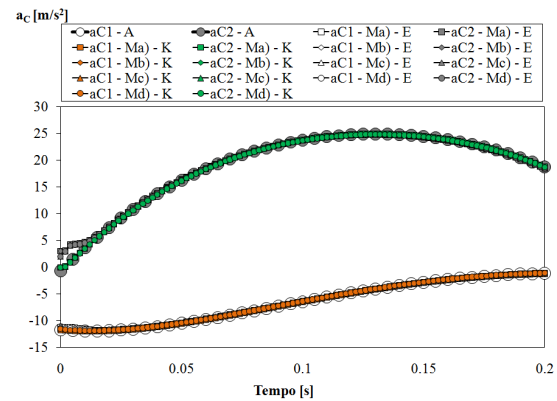


Fig. 6 Variação das componentes da aceleração no ponto C.

Não existem diferenças muito significativas no valor das componentes da aceleração, para cada um das direcções. O método de integração de Kutta-Merson não apresenta problemas localizados no início do processo de simulação. Estes problemas são evidentes no método de Euler, especialmente quando se verificam variações bruscas da aceleração (início da simulação).

Todos os modelos (a, b, c, d) proporcionam valores semelhantes para este parâmetro cinemático.

A velocidade linear do ponto C foi comparada para os diferentes modelos e esquemas de integração. Na figura 7 estão representados os valores analíticos das duas componentes, assim como todos os resultados numéricos.

A referência utilizada para distinguir os diferentes modelos e métodos de integração foi:  $vCi - Mx) - I$ . Nesta referência,  $vCi$  pretende representar a componente  $i$  ( $i=1,2$ ) da velocidade do ponto C,  $Mx$  ( $x=$  modelos a,b,c e d) pretende identificar os diferentes modelos antropométricos e por último,  $I$  ( $I=E,K$ ) representa os dois esquemas de integração utilizados.

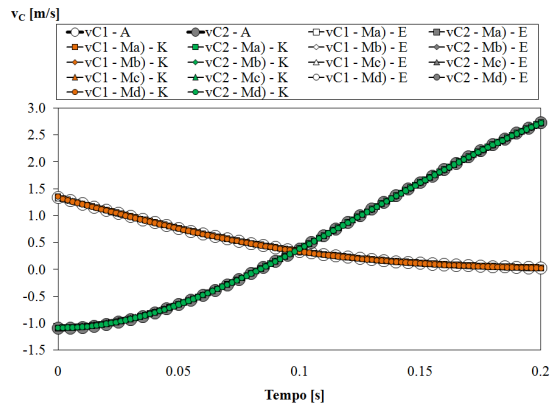


Fig. 7 Variação das componentes da velocidade no ponto C.

Não existem diferenças significativas no valor das componentes da velocidade. Ambos os métodos apresentam valores muito próximos uns dos outros.

#### 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho são apresentados diferentes modelos antropométricos para análise de um salto em altura com contra movimento. Os modelos diferem entre si pelo facto de apresentarem massa concentrada (a e b) e massa distribuída (c e d).

O modelo de massa concentrada subestima o valor do momento angular em cerca de 30%, pelo que poderá ser um dos factores que influencia o valor das forças entre os segmentos anatómicos e por consequência o valor da força de reacção do solo.

Foram testados dois métodos de integração, sendo que um se apresenta como mais rápido (Euler) e outro se apresenta como mais preciso (Kutta-Merson). Ambos os métodos apresentam resultados semelhantes, com pequenas diferenças para períodos de tempo em que se verificam maiores variações de aceleração.

#### REFERÊNCIAS

- [1] - Tözeren, Aydin, "Human Body Dynamics – Classical Mechanics and Human Movement", Springer, 2000.
- [2] – Interactive Physics 2000; MSC software, 2002.
- [3] - Leva, P., "Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertial parameters," J. of Biomech. 29 (9), pp. 1223-30, 1996

[4] – Chapman, Arthur E.; "Biomechanical Analysis of Fundamental Human Movements"; Human Kinetics, 2008.

[4] - Sanders, M.M. & McCormick, E.J. (1993) Human Factors in Engineering & Design 7th ed., McGraw-Hill, NY.

[5] - Anthropometric Source Book, Part II: A Handbook of Anthropometric Data, National Aeronautics and Space Administration, 1978.