



CLME'2008/IICEM

**A ENGENHARIA NO
COMBATE À POBREZA,
PELO DESENVOLVIMENTO
E COMPETITIVIDADE**

Editores:

**J.F. Silva Gomes, Carlos C. António
Clito F. Afonso e António S. Matos**



EDIÇÕES INEGI



Edição e Distribuição
INEGI-Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
Tel:+351 22 957 87 10; Email: inegi@inegi.up.pt
www.inegi.up.pt

Setembro, 2008

ISBN: 978-972-8826-19-2
Depósito Legal: 276744/08

Execução Gráfica: Claret-Companhia Gráfica do Norte
Rua Venceslau Ramos, s/n – 4430-929 Avintes, Portugal
Tel:+351 22 787 73 20; Fax:+351 22 787 73 29

*Reservados todos os direitos de harmonia com a lei.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, guardada pelo sistema "retrieval" ou transmitida por qualquer meio, seja electrónico, mecânico, gravação ou outros, sem autorização prévia por escrito dos editores.*

Organização

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Faculdade de Engenharia da U. Eduardo Mondlane

Ordem dos Engenheiros de Portugal

Ordem dos Engenheiros de Moçambique

Comissão Executiva

Joaquim Silva Gomes

Carlos Conceição António

Clito Félix Afonso

António Santos Matos

Secretariado: Nuno Trancoso Santos

Comissão Organizadora

A. Batel Anjo	A. Carmo Vaz	Abimael C. Júnior	Albano Cavaleiro
Alexandra Neves	Álvaro G.R. Lezana	Amândio T. Pinto	Ana L. Virtudes
Anabela C. Alves	Aníbal G. Costa	António F. Diogo	António Fiúza
António Matos	Archimedes A. Raia Jr.	Armando S. Afonso	Bruno Trindade
Carlos C. António	Carlos N. Costa	Clito F. Afonso	Edmundo Monteiro
Edson A. Melanda	Elza Fonseca	F. Queirós de Melo	Graça Brito
H.J. Kalinowski	Helder Araújo	Humberto Varum	Ismael C. Nhéze
J. Mora Ramos	J. Rodrigues Dias	J. Santos Baptista	J.F. Silva Gomes
João A. Sousa	João F. Gomes	João L. Pinto	João M. Tavares
João Marcelino	João S. Fernandes	José A. Rodrigues	José Baptista
José Luís Esteves	Lázaro Zuquette	Lucas F.M. Silva	Luís O. Santos
Luís P. Martins	Luís P. Santos	Mª Belém Martins	Mª Cristina Teixeira
Mª Graça Madureira	Mª Madalena Moreira	Manuel R. Cordeiro	Manuel Rijo
Maria E.C. Silva	Maria J.M. Abreu	Mário A.P. Vaz	Mário F. Secca
Mário Ferreira	Mário R. Talaia	Miguel P. Amado	Orestes M. Gonçalves
Orlando Zobra	Patrícia Falé	Paulo Cachim	Paulo Pereira
Paulo S. Caetano	Pedro R.T. Pinho	Raúl Fangueiro	Reinaldo Lorandí
Renato N. Jorge	Rita O. Castro	Rosa M. Miranda	Rui C. Barros
Rui Guedes	Rui M. Lima	S. Carmo Silva	Sérgio A. Rohm
Sérgio Leitão	Silva Magaia	Vitor M.F. Santos	Zulema L. Pereira

Comissão Científica

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>A. Carmo Vaz (FEUEM)</i> | <i>A. Castro Vide (ISEP)</i> | <i>A. Costa Manso (LNEC)</i> |
| <i>A. Gomes Correia (UM)</i> | <i>A. Lopes Campos (ISEC)</i> | <i>A. Pires da Costa (FEUP)</i> |
| <i>A. Torres Marques (FEUP)</i> | <i>A. Viana da Fonseca (FEUP)</i> | <i>A. Barata da Rocha (FEUP)</i> |
| <i>Abel D. Santos (FEUP)</i> | <i>Alexandra Neves (FEUEM)</i> | <i>Álvaro Cunha (FEUP)</i> |
| <i>Ana M. Segadães (UA)</i> | <i>António C. Mendes (UBI)</i> | <i>António J.M. Ferreira (FEUP)</i> |
| <i>António Navarro (UA)</i> | <i>António R. Pires (IPS)</i> | <i>Arlindo Gonçalves (LNEC)</i> |
| <i>C. Mota Soares (IST)</i> | <i>Carlos C. António (FEUP)</i> | <i>Carlos M. Couto (UM)</i> |
| <i>Carlos S. Borrego (UM)</i> | <i>Carlos V. Quadros (FEUEM)</i> | <i>Carlos Varandas (IST)</i> |
| <i>Catarina F. Castro (FEUP)</i> | <i>Clito F. Afonso (FEUP)</i> | <i>Daniel A. Fumo (FEUEM)</i> |
| <i>Diamantino Freitas (FEUP)</i> | <i>E. Oliveira Fernandes (FEUP)</i> | <i>Elsa Caetano (FEUP)</i> |
| <i>Elza Fonseca (IPB)</i> | <i>F. Gomes de Almeida (FEUP)</i> | <i>F. Queirós de Melo (UA)</i> |
| <i>F. Veloso Gomes (FEUP)</i> | <i>Fernando J. Monteiro (FEUP)</i> | <i>Gabriel L. Amós (FEUEM)</i> |
| <i>Hélder Araújo (FCTUC)</i> | <i>J. Andrade Campos (FCTUC)</i> | <i>J. Dias Pereira (IPS)</i> |
| <i>J. Dinis carvalho (UM)</i> | <i>J. Montalvão e Silva (IST)</i> | <i>J. Pamies Teixeira (UNL)</i> |
| <i>J. Paulo Davim (UA)</i> | <i>J. Rocha Soares (ISEL)</i> | <i>J. Santos Baptista (FEUP)</i> |
| <i>J. Silva Gomes (FEUP)</i> | <i>João Catalão (UTL)</i> | <i>João M. Tavares (FEUP)</i> |
| <i>João Travassos (ISEL)</i> | <i>Joaquim A. Martins (UA)</i> | <i>Joaquim O. Barros (UM)</i> |
| <i>Joaquim S. Pinto (UA)</i> | <i>Jorge Nhambiu (FEUEM)</i> | <i>Jorge O. Seabra (FEUP)</i> |
| <i>José A. Fonseca (UA)</i> | <i>José A. Gonçalves (UP)</i> | <i>José F. Gomes (FCUP)</i> |
| <i>José L. Esteves (FEUP)</i> | <i>José M. Cirne (FCTUC)</i> | <i>José P. Vieira (UM)</i> |
| <i>Júlio B. Martins (UM)</i> | <i>Lúcia S. Dinis (FEUP)</i> | <i>M. Graça Guedes (UM)</i> |
| <i>M. Graça Madureira (IPB)</i> | <i>M. Jossai Cumbi (FEUEM)</i> | <i>M. Luisa Madureira (FEUP)</i> |
| <i>M. Teresa Restivo (FEUP)</i> | <i>Manuel R. Cordeiro (UTAD)</i> | <i>Manuel S. Pais (UM)</i> |
| <i>Marcelo M. Moura (FEUP)</i> | <i>Maria J. Geraldès (UBI)</i> | <i>Mário P. Vaz (FEUP)</i> |
| <i>Nelson P. Rocha (UA)</i> | <i>Nuno F. Rilo (FCTUC)</i> | <i>Nuno M. Maia (IST)</i> |
| <i>P. Vila Real (UA)</i> | <i>Paulo G. Piloto (IPB)</i> | <i>R. Almeida Furtado (FCTUC)</i> |
| <i>Renato N. Jorge (FEUP)</i> | <i>Romualdo R. Salcedo (FEUP)</i> | <i>Rui A. Pitarma (IPG)</i> |
| <i>Rui C. Barros (FEUP)</i> | <i>Rui Manuel Fernandes (UBI)</i> | <i>Rui V. Siteo (FEUEM)</i> |
| <i>Ruy M. Cravo (ISEL)</i> | <i>Silva Magaia (FEUEM)</i> | <i>Zulema L. Pereira (UNL)</i> |

PREFÁCIO

As grandes mudanças a que assistimos no mundo moderno têm a sua origem no desenvolvimento da tecnologia. As pessoas têm actualmente ao seu dispor produtos que o conhecimento e a tecnologia combinam de uma forma nunca antes conseguida, e o futuro aponta para uma revolução das nanotecnologias e da tecnologia genética, entre outras áreas, que, associadas à informática, oferecem enormes possibilidades de contribuição para a resolução dos problemas da fome e da miséria no mundo. As comunicações instantâneas globais, os novos produtos químicos e farmacêuticos, a intensificação no consumo e produção de energia e transportes, o aumento da produtividade agrícola, a crescente cooperação tecnológica entre a engenharia e a medicina, são alguns dos exemplos flagrantes dessa revolução.

No entanto, muitas das alterações introduzidas pelo desenvolvimento das tecnologias têm vindo a ser orientadas por critérios com vista à optimização dos recursos técnicos e financeiros, deixando para um segundo plano os recursos sociais e ambientais, o que contraria o conceito de sustentabilidade proposto por Brundtland na cimeira da terra, realizada em Joanesburgo, 2002. A urbanização excessiva é responsável pelas aglomerações de pessoas que vivem em condição sub-humana, nos subúrbios de miséria e degradação das grandes cidades. O emprego é tratado, nas análises de custos empresariais, como um bem de consumo ou serviço igual aos outros, sem consideração especial pela dignidade do ser humano. Quase a metade da humanidade ainda passa fome. São mais de dois biliões de pessoas que vivem actualmente abaixo do limiar de pobreza em todo mundo, dispondo de menos de dois dólares por dia para a sua subsistência. A má distribuição da riqueza, não só dentro de cada Nação, mas, também entre as Nações, persiste e as diferenças entre os que têm tudo para perder e os que nada têm que perder, são fonte permanente de conflitos sociais nacionais e internacionais.

É neste cenário que precisa de ser avaliado o papel dos engenheiros. Nos investimentos em engenharia civil, as novas condições de execução das obras deverão exigir um maior respeito e atenção aos impactos ambientais. A engenharia mecânica, a engenharia química e a engenharia de gestão industrial, têm que redobrar as suas preocupações relativamente às questões da manutenção e do processo das instalações industriais. A engenharia electrotécnica deve procurar as melhores soluções para aumentar o fornecimento e a utilização da energia, superar os problemas associados à crise energética mundial que vivemos e procurar novas fontes renováveis de energia, que sejam mais baratas e mais amigas do ambiente. A qualidade de vida com que podemos contar nos dias de hoje é fruto do desenvolvimento tecnológico incorporado aos bens e serviços agora disponíveis, e no qual o engenheiro tem um papel fundamental a desempenhar.

Neste contexto, e sob o tema geral "*A Engenharia no Combate à Pobreza, pelo Desenvolvimento e Competitividade*", a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, em associação com as Ordens dos Engenheiros de Portugal e de Moçambique, realizam a quinta edição do Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia em conjunto com o 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, que decorrerá nas instalações do Hotel VIP, em Maputo, de 2 a 4 de Setembro de 2008.

Para este **5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e 2º Congresso de Engenharia de Moçambique** foram recebidos mais de 600 propostas de comunicações, tendo sido seleccionadas 442 artigos para apresentação durante o Congresso, cujos textos são publicadas no presente **Livro de Resumos** e no **CD-ROM** complementar que constituem os **Proceedings do Congresso**. Os artigos seleccionados resultam da contribuição de um total de 906 autores oriundos não só de Portugal e Moçambique, na sua maior parte, mas também do Brasil e de outros países Africanos e do Mundo. O Congresso inclui também a apresentação de oito **Conferências Plenárias**, por reputados especialistas convidados, sobre temas importantes e actuais da engenharia mundial.

As comunicações e os artigos estão agrupados em trinta e nove *Simpósia* temáticos, cobrindo praticamente todas as especialidades de engenharia moderna: (i)-Controlo de Qualidade e Fiabilidade em Engenharia e Gestão Industrial; (ii)-Segurança e Higiene Ocupacionais; (iii)-Energias Renováveis e Gestão e Qualidade da Energia Eléctrica; (iv)-Ordenamento do Território e Planeamento Urbano Sustentável; (v)-Engenharia Urbana e os Desafios da Sustentabilidade; (vi)-Políticas de Reabilitação de Áreas Urbanas Degradadas; (vii)-Engenharia de Infraestruturas de Transporte; (viii)-Transporte Urbano Sustentável; (ix)-Gestão e Operação de Sistemas de Água; (x)-Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente; (xi)-Redes Locais e Prediais de Águas e Esgotos; (xii)-Análise do Comportamento de Estruturas Especiais: Pontes e Barragens; (xiii)-Segurança das Construções Face à Acção Sísmica; (xiv)-Construção com Materiais Naturais; (xv)-Agricultura, Desenvolvimento e Políticas Rurais; (xvi)-Aplicações na Área da Geomática (Engenharia Geográfica); (xvii)-Exploração e Transformação de Matérias Primas Mineiras; (xviii)-Geologia Económica; (xix)-Geotecnia: Ênfase em Regiões Tropicais; (xx)-Fotónica e Aplicações; (xxi)-Informática e Computação; (xxii)-Processamento de Imagem e Visualização; (xxiii)-Telecomunicações; (xxiv)-Tecnologias Avançadas de Fabricação; (xxv)-Materiais Estruturais e Funcionais; (xxvi)-Materiais Fibrosos; (xxvii)-Ligações Adesivas; (xxviii)-Ciência e Engenharia de Superfícies; (xxix)-Métodos Numéricos em Engenharia; (xxx)-Mecânica dos Sólidos, Simulação e Optimização; (xxxi)-Casca, Estruturas Espaciais e Estruturas Tubulares; (xxxii)-Concepção e Operação de Sistemas de Produção; (xxxiii)-Catálise e Processos Catalíticos; (xxxiv)-Activação Alcalina; (xxxv)-Metrologia e Qualidade; (xxxvi)-A Engenharia e a Biomedicina; (xxxvii)-Dispositivos Médicos e Materiais de Cuidados de Saúde; (xxxviii)-O Ensino da Engenharia e (xxxix)-Aprendizagem Colaborativa em Engenharia.

A organização do Congresso, este Livro de Resumos e o CD-ROM das Comunicações são o resultado do esforço conjunto de várias instituições e individualidades. Fica aqui expresso o reconhecimento e gratidão da Comissão Organizadora a todas as instituições e empresas que apoiaram a realização do Congresso, a todos os membros da Comissão de Honra, da Comissão Científica, das Comissões Locais e dos Coordenadores dos *Simpósia*, pelo esforço e empenho que puseram em atrair participantes e, naturalmente, aos autores e aos moderadores das diferentes sessões, pelo número e qualidade excelente das comunicações apresentadas e pelo rigor e profundidade com que os diversos temas são abordados e discutidos.

Maputo, Setembro de 2008

Joaquim Silva Gomes

Carlos Conceição António

Clito Félix Afonso

António Santos Matos

REF: 36R006A

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO COLO DO FÉMUR EM FUNÇÃO DA IDADE, UTILIZANDO UM MODELO NÃO LINEAR DE ELEMENTOS FINITOS

Cristina Teixeira^{1(*)}, Elza Fonseca² e Luísa Barreira²¹Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Saúde - Bragança, Portugal²Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão - Bragança, Portugal

(*)Email: cristina.teixeira@ipb.pt

RESUMO

A integridade estrutural do tecido ósseo reveste-se de particular importância clínica [Ritchie RO et al (2005)]. O comportamento mecânico do osso, nomeadamente a sua resistência à fractura, depende em grande parte das características micro-estruturais e geométricas da camada cortical [Augat P et al (2006)]. Com o aumento da idade, o osso cortical sofre alterações, registando-se uma diminuição da densidade óssea / aumento da porosidade [Atkinson PJ et al (1967)], [Ritchie RO et al (2005)]. Por conseguinte, observam-se alterações das propriedades mecânicas do osso cortical em função da idade [Burstein AH et al (1976)]. Paralelamente têm sido registadas variações na espessura da camada cortical do osso em função da idade [Mayhew PM et al (2005)] e que parecem estar relacionadas com um aumento dos valores de tensões no osso quando solicitado [Teixeira C et al (2008)]. A análise numérica por elementos finitos com base em dados obtidos por tomografia computadorizada (TC), é uma metodologia não invasiva que tem sido utilizada para prever a resistência da extremidade proximal do fémur à fractura. A justificação é que esta metodologia consegue incorporar em simultâneo a forma tridimensional do osso, as propriedades mecânicas do tecido ósseo e a simulação da carga imposta [Bessho M et al (2004)].

O objectivo deste trabalho é avaliar a resistência do colo do fémur, conforme TC da figura 1, através da distribuição de tensões na extremidade proximal, quando solicitado, em indivíduos de faixas etárias distintas, considerando as características da camada cortical próprias de cada faixa etária. Realizaram-se análises numéricas em regime não linear considerando o osso cortical como tendo um comportamento elasto-plástico com as propriedades mecânicas, função da idade, enunciadas na tabela 1 [Burstein AH et al (1976)]. Com base nestas propriedades verifica-se que a resistência mecânica do osso é menor com o aumento da idade.

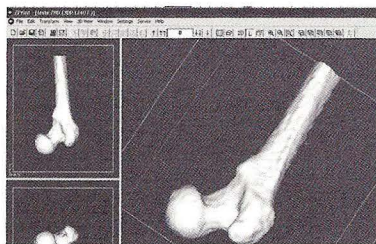


Fig 1 - Modelo CAD 3D com base num TC.

Tabela 1: Propriedades mecânicas do fémur.

Idade (anos)	Jovem: (30-39)	Idoso: (80-90)
Tensão cedência [MPa]	120	104
Deformação limite	0.0068	0.00667
Módulo elasticidade [MPa]	17600	15600
Tensão última [MPa]	136	120
Deformação última	0.032	0.022
Módulo plástico [MPa]	637	1078

A análise por elementos finitos será efectuada em regime não linear material utilizando-se o elemento finito *Shell43* do Ansys com estas potencialidades, como se representa na figura 2. O carregamento limite máximo a impor no fémur é de 1784[N], conforme referência de

[Teixeira C et al (2008)]. Verifica-se que o fémur jovem atinge 92,5% do valor máximo deste carregamento e o fémur idoso 80%. A estes valores de carga correspondem o nível de tensões equivalentes apresentados na figura 2. Os valores máximos das tensões obtidas localizam-se na região superior do fémur. No caso do fémur de 80 anos, as tensões obtidas ultrapassam o limite elástico de resistência do osso. Para o fémur de 30 anos, as tensões registam valores próximos do limite elástico de resistência do material. Torna-se por isso, evidente, que a redução com a idade da espessura do osso cortical na porção superior do colo do fémur associada às alterações das propriedades biomecânicas, também função da idade, origina o aumento das tensões para além do limite elástico na porção superior do colo do fémur idoso. Assim, a variação das características do osso cortical, função da idade, revela-se determinante para o aumento do risco de fracturas por tensão, com o aumento da idade. Para superar este aumento de tensões é importante limitar o esforço máximo a que o indivíduo possa vir a estar sujeito e criar estratégias preventivas para evitar a deterioração do osso cortical.

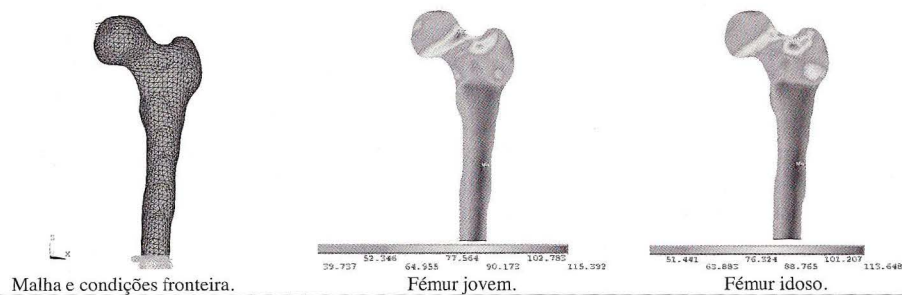


Fig. 2 – Resultados numéricos do campo de tensões equivalentes [MPa].

REFERÊNCIAS

- Ritchie RO, Kinney JH, Kruzic JJ, Nalla RK. *A Fracture Mechanics and Mechanistic Approach to the Failure of Cortical Bone*. Fatigue & Fracture of Engineering Materials and Structures, Vol28, pp. 345-371, 2005.
- Augat P, Schorlemmer S. *The Role of Cortical Bone and its microstructure in bone strength*. Age and Ageing, Vol35-S2, pp. ii27-ii31, 2006.
- Atkinson PJ, Weatherell JA. *Variation in the Density of the Femoral Diaphysis with Age*. The Journal of Bone and Joint Surgery. Vol49B, pp. 781-788, 1976.
- Burstein AH, Reilly DT, Martens M. *Aging of bone tissue: mechanical properties*, The Journal of Bone and Joint Surgery, Vol58, pp. 82-86, 1976.
- Mavhew PM, Thomas CD, Clement JG, Loveridge N, Beck TJ, Bonfield W, Burgoyone C, Reeve J. *Relation between age, femoral neck cortical stability, and hip fracture risk*. Vol366, N9, pp.129-135, 2005.
- Teixeira C, Fonseca E, Barreira L. *Avaliação da Resistência do Colo do Fémur Utilizando o Modelo de Elementos Finitos*. APAET Eds., CD e Abstracts, 7º Encontro Nacional de Análise Experimental de Tensões e Mecânica Experimental, Vila Real 23-25 de Janeiro 2008.
- Bessho M, Ohmishi I, Okazaki H, Sato W, Kominami H, Matsunaga S, Nakamura K. *Prediction of the strength and fracture location of the femoral neck by CT-based finite-element method: a preliminary study on patients with hip fracture*. Journal Orthopaedic Science, Vol9 pp. 545-550, 2004.