



# mecânica experimental

Congresso Nacional 2010

Guimarães, 21-23 Abril

Editado por:

Graça Vasconcelos

Paulo B. Lourenço

Joaquim O. Barros

Filipe S. Silva



Escola de Engenharia  
Universidade do Minho



Associação Portuguesa  
de Análise Experimental de Tensões

**COMISSÃO ORGANIZADORA**

Graça Vasconcelos (UMINHO)  
Paulo B. Lourenço (UMINHO)  
Joaquim Barros (UMINHO)  
Filipe Samuel Silva (UMINHO)  
Arlindo Gonçalves (LNEC)  
João Ferreira (IC/IST)  
Joaquim Silva Gomes (FEUP/INEGI)  
José Cirne (FCTUC)  
Mário Santos (INETI)

**COMISSÃO CIENTÍFICA**

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| A. Simões (U Aveiro)                   | J. F. Dias Rodrigues (FEUP)       |
| A. Sousa Miranda (UMINHO)              | Luís Rocha (UMINHO)               |
| A. Torres Marques (FEUP)               | Júlio Montalvão e Silva (IST)     |
| A. Trigo Cabral (FMUP)                 | Manuel Freitas (IST)              |
| Abílio de Jesus (UTAD)                 | Marcelo Moura (FEUP)              |
| Alfredo Ribeiro (UTAD)                 | Maria João Barros (U Açores)      |
| Álvaro Cunha (FEUP)                    | Mário Santos (INETI)              |
| Arlindo Gonçalves (LNEC)               | Mário Vaz (FEUP)                  |
| Carlos Navarro (U. Carlos III, Madrid) | Nuno Rilo (FCTUC)                 |
| Ema Coelho (LNEC)                      | Paulo Piloto (IPB)                |
| Elsa de Sá Caetano (FEUP)              | Paulo Tavares de Castro (FEUP)    |
| Elza Fonseca (IPB)                     | Rui Carneiro de Barros (FEUP)     |
| F. Queirós de Melo (U Aveiro)          | Rui Guedes (FEUP)                 |
| Graça Vasconcelos (UMINHO)             | Rui Reis (UMINHO)                 |
| Humberto Varum (U Aveiro)              | Said Jalali (UMINHO)              |
| J. C. Reis Campos (FMDUP)              | Shaker Meguid (U. Toronto/Canada) |

**SECRETARIADO**

Paula Teixeira

### Organização



Universidade do  
Minho



Associação Portuguesa  
de Análise Experimental  
de Tensões

### Patrocínios



### Apoios



Todos os direitos reservados. Este livro não pode ser reproduzido, no todo ou em parte, por qualquer forma ou quaisquer meios electrónico, mecânicos ou outros, incluindo fotocópia, gravação magnética ou qualquer outro processo de armazenamento ou sistema de recuperação de informação, sem prévia autorização escrita dos editores.

Os artigos incluídos no livro são publicados na forma de submissão pelos autores, após revisão pela Comissão Científica. Os editores não podem aceitar qualquer responsabilidade por possíveis erros ou discrepâncias.

ISBN: 978-972-8692-47-6

© Universidade do Minho

Departamento de Engenharia Civil, Azurém, P-4800 Guimarães

Tel: +351 253 510 200, Fax: +351 253 510217

Publicado por: MultiComp-Artes Gráficas, Lda

Depósito legal 309035/10

## Índice

|                |   |
|----------------|---|
| Prefácio ..... | v |
|----------------|---|

### Conferências Convidadas

|  |    |
|--|----|
| Novas perspectivas na análise do comportamento dinâmico de estruturas .....  | 3  |
| <i>E. Caetano, A. Cunha, F. Magalhães</i>  |    |
| Damage tolerance of aircraft panels .....  | 17 |
| <i>P.M.S.T. Castro, S.M.O. Tavares, V. Richter-Trumer, P.F.P. de Matos, P.M.G.P. Moreira, L.F.M. da Silva</i>                            |    |
| Evaluation of nanostructure and mechanical properties of polymers by simultaneous straining and Saxes experiments in a synchrotron ..... | 29 |
| <i>Z. Denchev, N. Stribeck, M. Motovilin, N. Dencheva</i>  |    |
| Análise inversa em nanoindentação .....  | 31 |
| <i>J.V. Fernandes, N.A. Sakharova, M.C. Oliveira, J.M. Antunes</i>   |    |
| September 11, 2001: The World Trade Center, New York City .....  | 43 |
| <i>D.T. Biggs</i>  |    |
| Métodos experimentais em Dinâmica de Estruturas e Engenharia Sísmica .....   | 45 |
| <i>A. Campos Costa</i>   |    |

### Sessão Especial - Compósitos na Construção

|  |    |
|--|----|
| Aplicação da técnica da inserção de laminados de CFRP no reforço ao corte de vigas de betão armado ..... | 51 |
| <i>S. Dias, J. Barros</i>  |    |
| Design of new composite materials with improved fire reaction properties .....                           | 53 |
| <i>Celeste M.C. Pereira</i>  |    |
| Avaliação de modelos de dimensionamento para o reforço à flexão com CFRP (FIB vs. ACI) .....             | 55 |
| <i>D.M.M. Azevedo, L.F.P. Juvandes, A.A.R. Henriques</i>   |    |
| Construção de estruturas de betão armado com varões de FRP .....   | 57 |
| <i>V.L.F. Reis, L.F.P. Juvandes</i>  |    |
| Comportamento da ligação entre laminados multi-direccionais de CFRP e o betão .....                      | 59 |
| <i>J. Sena Cruz, J. Barros, M. Coelho</i>  |    |

### Sessão Especial - Fadiga dos Materiais e Estruturas

|  |    |
|--|----|
| Efeito da sequência de cargas axial e de torção na previsão de vida em fadiga multiaxial .....                     | 63 |
| <i>L. Reis, V. Anes, B. Li, M. Freitas</i>   |    |
| Simulação por elementos finitos de curvas S-N de ligações rebitadas .....  | 65 |
| <i>J.A.F.O. Correia, A.M.P. de Jesus, A.L.L. Silva</i>   |    |
| Crack propagation behaviour of a puddle iron under constant and variable amplitude loading .....                   | 67 |
| <i>A.M.P. de Jesus, J.M.C. Maeiro, A.L.L. da Silva, A.S. Ribeiro</i>   |    |
| Resistência à fadiga em misturas betuminosas para pavimentos rodoviários .....                                     | 69 |
| <i>J. Pais, C. Palha</i>   |    |
| Evaluation of Murakami and De Kazinczy models on prediction of high strength nodular cast iron fatigue limit ..... | 71 |
| <i>N. Costa, F.S. Silva</i>  |    |

### Sessão Especial - Fractura

|  |    |
|--|----|
| Fracture and fatigue crack growth behavior of friction stir welded al-Li2195-T8X .....                             | 75 |
| <i>P.M.G.P. Moreira, P.C.M. Azevedo, M.V.A. de Figueiredo, M. Windisch, G. Simmemas, P.M.S.T. de Castro</i>        |    |
| A hybrid experimental-numerical methodology for fracture mechanics analysis of cracked structures .....            | 77 |
| <i>V. Richter-Trummer, P.M.G.P. Moreira, S.D. Pastrama, M.A.P. Vaz, P.M.S.T. de Castro</i>                         |    |
| Comparison between alternative FE modelling strategies for riveted connections concerning fatigue assessment ..... | 79 |
| <i>M.P.G. Rodrigues, A.M.P. de Jesus, A.L.L. Silva</i>   |    |
| Variable amplitude fatigue crack growth modelling .....  | 81 |
| <i>A.S. Ribeiro, A.M.P. de Jesus, J.M. Costa, L.P. Borrego, J.C. Maeiro</i>  |    |
| Fractura em modo misto I/II de ligações coladas em madeira .....   | 83 |
| <i>J.M.Q. Oliveira, J.J.L. Morais, M.F.S.F. de Moura</i>   |    |

### Sessão Especial - Biomecânica

|  |    |
|--|----|
| Estudo da marcha de crianças em idade escolar que transportam mochilas às costas usando cinemática .....                                   | 87 |
| <i>D. Rocha, J. Rocha, T.M. Barbosa, L. Queijo, M. San Juan</i>  |    |
| Estudo da Biomecânica do remate em hóquei em patins .....  | 89 |
| <i>M.A.P. Vaz, N.V. Ramos, F.Q. de Melo, J. Abrantes, T. Ferro, T. Portulez, T. Portela</i>  |    |
| Quantitative evaluation of effects of Levodopa treatment in patients with Parkinson disease using Gait analysis: preliminary results ..... | 91 |
| <i>M.I. Martins, S. Pinhão, V. Cimolin, M. Galli</i>   |    |
| Análise de tensões em fêmures do mesmo género e diferente faixa etária .....   | 93 |
| <i>E.M.M. Fonseca, B.F.T. Magalhães, J.K. Noronha</i>  |    |

- A influência da resolução do STL na qualidade geométrica e dimensional de modelos anatómicos obtidos por processos de Prototipagem Rápida ..... 95  
*C. Relvas, J. Rodrigues, A. Ramos, A. Completo, J. Simões*

### Sessão Especial - Estruturas e Ligações de Madeira

- Comportamento mecânico de ligações madeira-betão entalhadas coladas ..... 99  
*S.R.S. Monteiro, A.M.P.G. Dias, J.H.J.O. Negrão*
- Avaliação das propriedades mecânicas da madeira in situ por ensaios em mesoprovetes ..... 101  
*R.D. Brites, J.S. Machado, P.B. Lourenço*
- Aplicação do eurocódigo 5 na avaliação de ligações tradicionais de madeira ao fogo ..... 103  
*P.B. Cachim, N. Lopes, H. Cruz, J. Branco, P. Vila Real, P. Palma*
- On the evaluation of elastic properties of p. pinaster at the growth ring scale ..... 105  
*J. Pereira, J. Xavier, J. Morais, J. Lousada, F. Pierron*
- On the determination of the modulus of elasticity of wood by compression tests parallel to the grain ..... 107  
*J. Xavier, A. Jesus, J. Morais, J. Pinto*
- Modelação de uma ligação tradicional de respiga e mecha solicitada à compressão ..... 109  
*A. Feio, J.S. Machado*
- Desenvolvimento de soluções de reforço em ligações de madeira do tipo cavilha ..... 111  
*C.L. Santos, A.M.P. de Jesus, J.J.L. Morais, E.R.M.A. Queirós, A.M.V. Lima*
- Ligações coladas madeira-betão ..... 113  
*J. Negrão, F. Oliveira, C. Oliveira, P. Cachim*
- Avaliação da distribuição de carga em pavimentos de madeira através de ensaios in situ ..... 115  
*T. Ilharco, J. Guedes, A. Costa, A. Arêde, E. Paupério*
- Estruturas de madeira reforçadas com sistemas FRP: Análise de aderência entre materiais ..... 117  
*L.F.P. Juvandes, R.M.T. Barbosa*
- Análise do comportamento de conectores metálicos em vigas mistas de madeira e concreto ..... 119  
*L.F.P. Juvandes, R.M.T. Barbosa*

### Ensaio Experimentais

- Friction stir welding on T-joints: residual stress evaluation ..... 123  
*R.A.S. Castro, V. Richter-Trummer, S.M.O. Tavares, P.M.G.P. Moreira, P. Vilaça, P.M.S.T. de Castro*
- Avaliação de ferramentas para a furação de laminados ..... 125  
*L.M.P. Durão, D.J.S. Gonçalves, V.H.C. de Albuquerque, J.M.R.S. Tavares*

|   |     |
|---|-----|
| Previsão do módulo de ruptura à flexão em toras de eucalyptus SP pelo ensaio de vibração transversal .....  | 127 |
| <i>M.R. Carreira, J.C. Molina, C. Jr Calil, A.A. Dias</i>   |     |
| Caracterização geométrica e mecânica de paredes em perpianho de granito .....                               | 129 |
| <i>C. Almeida, J. Guedes, A. Arêde, A. Costa</i>  |     |
| Ensaio à compressão em painéis de concreto laminar envelopado - CLE .....                                   | 131 |
| <i>E.V. Rodrigues, E.V.M. Carrasco, G. Queiroz, G.O. Ribeiro, F.A. De Paula</i>                             |     |
| Estudo experimental em ligações madeira-betão com ligadores metálicos associados a resinas epoxídicas ..... | 133 |
| <i>H.M.G. Martins, L.F.C. Jorge, A.M.P.G. Dias</i>  |     |
| Análise experimental do processo de microfuração electroquímica .....                                       | 135 |
| <i>G.R. Ribeiro, I.M.F. Bragança, P.A.R. Rosa, P.A.F. Martins</i>   |     |
| Ensaio na mesa sísmica de um modelo físico de uma barragem abóbada .....                                    | 137 |
| <i>J.P. Gomes</i>   |     |
| Avaliação experimental do comportamento de frontais Pombalinos sob a acção de cargas horizontais .....      | 141 |
| <i>J. Ferreira, J. Appleton, M.J. Teixeira</i>  |     |

### Caracterização de Materiais

|   |     |
|---|-----|
| Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD .....  | 145 |
| <i>A. Camões, C. Cardoso, R. Cunha, G. Vasconcelos, P. Medeiros, R. Eires, S. Jalali, P.B. Lourenço</i>                         |     |
| Comportamento de laminados multi-direccionais de CFRP com vista a aplicações em Engenharia Civil .....                          | 147 |
| <i>J. Sena-Cruz, J.A.O. Barros, M.R. Coelho</i>   |     |
| Colagem e propriedades mecânicas da madeira de pinheiro tratada termicamente .....  | 149 |
| <i>B. Esteves, H. Pereira</i>   |     |
| Estudo do comportamento balístico de estruturas contendo cortiça .....  | 151 |
| <i>S. Sanchez-Saez, E. Barbero, J. Sousa Cirne</i>  |     |
| Análise e caracterização da degradação de compósitos reforçados com fibra de juta e fibra de vidro em ambiente controlado ..... | 153 |
| <i>L. Reis, N. Lopes, C. Alves, M. Freitas</i>  |     |
| Optimization of sintering temperature and compaction pressure of stainless steel/SiC composites .....                           | 155 |
| <i>O. Carvalho, D. Soares, F.S. Silva</i>   |     |
| Characterization of the tensile and shear bond strength of concrete block masonry .....   | 157 |
| <i>V.G. Haach, G. Vasconcelos, P.B. Lourenço</i>  |     |
| Resistance evaluation of a metal-ceramic dental functionally graded restoration .....   | 159 |
| <i>B. Henriques, D. Soares, F.S. Silva</i>  |     |

### Comportamento de Materiais

|   |     |
|---|-----|
| Effect of heat treatment on residual stress fields in clad steel tube header sheets of reactor pressure vessels .....       | 163 |
| <i>M.J. Marques, A.C. Batista, J. Kornmeier, A. Loureiro</i>  |     |
| Degradação ambiental de perfis pultrudidos de GFRP constituídos por matrizes de poliéster e viniléster .....                | 165 |
| <i>J.R. Correia, S. Cabral-Fonseca, A. Carreiro, R. Costa, M.P. Rodrigues, M.I. Eusébio, F.A. Branco</i>                    |     |
| Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção .....                   | 167 |
| <i>I.A. Almeida, J.R. Correia, F.A. Branco, J.A. Gonilha</i>  |     |
| Caracterização da decomposição térmica e formação carbonosa de tintas intumescentes .....                                   | 169 |
| <i>L. Mesquita, P. Piloto, F. Magalhães, J. Pimenta, M. Vaz</i>   |     |
| Estado limite de utilização de tijolos de solo-cimento e fibras de madeira .....  | 171 |
| <i>J.N.R. Mantilla, E.V.M. Carrasco, S.G. da Silva</i>  |     |
| A termografia no apoio à modelação do betão na fase de hidratação do cimento .....  | 173 |
| <i>M. Azenha, R. Faria, H. Figueiras</i>  |     |
| Determinação de propriedades mecânicas de ligas de magnésio e alumínio para aplicações de <i>crashworthiness</i> .....      | 175 |
| <i>N. Peixinho</i>  |     |
| Influência do tipo de defeito na compressão após impacto de placas compósitas de diferentes espessuras .....                | 177 |
| <i>A.M. Amaro, F.M.P.M. Pinto, L.G.S. Guimarães</i>   |     |
| Experimental study on impact energy absorbing elements using configurable thermal triggers .....                            | 179 |
| <i>P. Pereira, N. Peixinho, D.M. Dimas, D. Soares, C. Vilarinho</i>   |     |
| Correlation between mechanical properties and microstructure in an Al-7%Si Alloy .....                                      | 181 |
| <i>F.S. Silva, G. Chirita, N. Costa, I. Stefanescu, D. Soares</i>   |     |
| Modelação do comportamento mecânico em compressão de rochas granulares .....  | 183 |
| <i>M. Ludovico Marques, C. Chastre, G. Vasconcelos</i>  |     |
| Desenvolvimento de um sistema de determinação da curva tensão-deformação através do ensaio "bulge" .....                    | 185 |
| <i>A. Santos, J. Mendes, F. Gomes Almeida, J. Reis, P. Teixeira, A. Barata Rocha</i>  |     |
| Experimental methods of micromechanics applied to microstructural characterization of extruded clay brick for masonry ..... | 187 |
| <i>K.J. Krakowiak, P.B. Lourenço, F.J. Ulm</i>  |     |

### Comportamento de Estruturas

|   |     |
|---|-----|
| Estudo de uma laje nervurada em modelo reduzido submetida a um carregamento linear .....  | 191 |
| <i>P.F. Schwetz, F.P.S.L. Gastal, L.C.P. Silva</i>  |     |
| Avaliação experimental de vigas mistas de MLC-concreto reforçadas com fibras de vidro .....   | 193 |
| <i>J.L. Miotto, A.A. Dias</i>   |     |
| Flexão de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço .....   | 195 |
| <i>A.R. Barros, P.C.C. Gomes, A.S.R. Barboza</i>  |     |
| Análise experimental do comportamento até à rotura de vigas de betão armado .....   | 197 |
| <i>J.C. Matos, I. Valente, P. Cruz</i>  |     |
| Caracterização do comportamento de conectores tipo perno sob diferentes tipos de carregamento .....                                 | 199 |
| <i>I.B. Valente, M.P.T. Fernandes</i>   |     |
| Análise da aderência aço-concreto sob efeito de altas temperaturas .....  | 201 |
| <i>L.F. Caetano, R. Shimomukay, V.C. Perroni, J.L.D. Ribeiro, L.C.P. Silva Filho</i>  |     |
| Estudo numérico e experimental do chassis de um protótipo - <i>Fórmula de student</i> .....   | 203 |
| <i>D. Santos, A. Oliveira, L. Roseiro, P. Ferreira</i>  |     |
| Análise do sistema succionador de fumaça e odores provenientes do processo de transformação do chumbo em placas para baterias ..... | 205 |
| <i>G.A. Pelegrini, M.T. Bai, G.N. Caprario</i>  |     |

### Métodos Computacionais em Estruturas

|   |     |
|---|-----|
| Modelagem numérica dos efeitos da corrosão em estruturas de concreto armado .....           | 209 |
| <i>A. Graeff, V.M.R. D'Ávila, L.C.P. Silva Filho</i>  |     |
| Modelação da furação de laminados por elementos finitos .....                               | 211 |
| <i>L.M.P. Durão, D.J.S. Gonçalves, M.F.S.F. Moura, A.T. Marques</i>                         |     |
| Análise numérica de pilares de aço em contacto com alvenaria sob situação de incêndio ..... | 213 |
| <i>E.F.A. Kimura, J. Munaiar Neto, M. Malite, V.P. Silva</i>                                |     |

### Instrumentação e Controlo

|  |     |
|--|-----|
| A control platform based on dynamic modeling of structures .....                             | 217 |
| <i>C. Oliveira, S.A. David</i>   |     |
| Long deck suspension bridge monitoring: The vision system calibration problem .....          | 219 |
| <i>C.A. Santos, C.O. Costa, J.P. Batista</i>   |     |
| Instrumentação axial e radial em ensaios triaxiais no domínio das pequenas deformações ..... | 221 |
| <i>N. Araújo, A. Gomes Correia</i>   |     |
| Desenvolvimento de equipamento para microfuração por electroerosão .....                     | 223 |
| <i>I.M.F. Bragança, L.M.M. Alves, P.A.R. Rosa, P.A.F. Martins</i>                            |     |

- Desenvolvimento e eficiência de equipamentos para o assentamento de pisos  
cerâmicos e a resistência de aderência à tração ..... 225  
*M.T. Baú, G.A. Pelegrini*

### Análise Dinâmica e Vibrações

- Aspectos teóricos da avaliação de vibrações em passarela de madeira por meio  
de modelo reduzido ..... 229  
*P.G.A. Segundinho, A.A. Dias, M.R. Carreira*
- Observação e análise do comportamento dinâmico da torre das tomadas de água  
da barragem do Cabril ..... 231  
*M. Espada, P. Mendes, S. Oliveira*
- Análise pseudo-dinâmica de bancos automóveis utilizando um algoritmo  
complementar de Newmark ..... 233  
*J. Carneiro, F.Q. Melo, V. Teixeira, M.F. Costa*
- Análise de estruturas flexíveis com aplicação de materiais viscoelásticos ..... 235  
*J.A.S. Queiroz, A.S. Marques, E.A. Capello Souza*
- Ensaio de identificação das propriedades dinâmicas de um modelo experimental  
de alvenaria ..... 237  
*N. Mendes, P.B. Lourenço, A. Campos Costa*
- Viscoelastic damping technologies for structural acoustics control of railway wheels ..... 239  
*C.M.A. Vasques, J.D. Rodrigues*
- Design of “quiet” circular saw blades through added damping ..... 241  
*C.M.A. Vasques, J.D. Rodrigues*
- Estudo do comportamento dinâmico de uma raquete de ténis ..... 243  
*N.V. Ramos, M.A.P. Vaz, H. Lopes*
- Novas metodologias para a análise de vibrações em pavimentos de edifícios ..... 247  
*C. Moutinho, A. Cunha, E. Caetano*
- Sistema mecânico para simulação física do comportamento dinâmico de estruturas ..... 249  
*P.G. Morais, F.V. Oliveira, M.J. Falcão, A. Campos Costa*

### Métodos Ópticos de Análise Experimental

- Measurement of displacement fields with sub-pixel accuracy by combining  
cross-correlation and optical flow ..... 253  
*A.M.R. Sousa, J. Xavier, M. Vaz, J.J.L. Morais, V.M.J. Filipe*
- Técnicas de cálculo de fase aplicadas à Mecânica Experimental ..... 255  
*J.M. Monteiro, H.M.R. Lopes, N.V. Ramos, M.A.P. Vaz*

### Biomecânica e Biomateriais

|  |     |
|--|-----|
| Sistemas CAD-CAM em Medicina Dentária: Integração com métodos de análise de tensões .....        | 259 |
| <i>A. Correia, J.C. Sampaio-Fernandes, J.C. Reis Campos, M.A. Vaz, P. Piloto, N.V. Ramos</i>     |     |
| Caracterização mecânica de tecido vaginal com base em ensaios de tracção uniaxial .....          | 261 |
| <i>P.A.L.S. Martins, T. Mascarenhas, A.J.M. Ferreira, R.M. Natal Jorge</i>                       |     |
| Comparação electromiográfica do passe e do remate em Futsal .....                                | 263 |
| <i>A.M. Cruz, D. Pereira, J. Rocha, T.M. Barbosa</i>   |     |
| Estudo comparativo da influência de diferentes materiais em prótese num fémur humano             | 265 |
| <i>E.M.M. Fonseca, C.S. Mendes, J.K. Noronha</i>   |     |
| Análise de variabilidade geométrica e dimensional no desenvolvimento de modelos anatómicos ..... | 267 |
| <i>C. Relvas, N. Homem, A. Ramos, A. Completo, J. Simões</i>                                     |     |
| Desenvolvimento de uma prótese transtibial endoesquelética .....                                 | 269 |
| <i>R. Estêvão, C. Relvas, A. Ramos, A. Completo, J. Simões</i>                                   |     |

### Ensaio de Pontes e Barragens

|   |     |
|---|-----|
| Caracterização do comportamento diferido do betão de barragens. Aplicação à barragem de Alqueva ..... | 273 |
| <i>C. Serra, A.L. Batista, A. Tavares de Castro</i>   |     |

### Tribologia

|   |     |
|---|-----|
| Nova abordagem para caracterização da tensão de escoamento no corte ortogonal .....                   | 277 |
| <i>C.M.A. Silva, V.A.M. Cristino, P.A.R. Rosa, P.A.F. Martins</i>                                     |     |
| Análise do ensaio de pino-no-disco na quantificação do coeficiente de atrito no corte ortogonal ..... | 279 |
| <i>V.A.M. Cristino, C.M.A. Silva, P.A.R. Rosa, P.A.F. Martins</i>                                     |     |

## SISTEMAS CAD-CAM EM MEDICINA DENTÁRIA INTEGRAÇÃO COM MÉTODOS DE ANÁLISE DE TENSÕES

A. Correia<sup>1</sup>, J.C. Sampaio-Fernandes<sup>2</sup>, J.C. Reis Campos<sup>3</sup>, M.A. Vaz<sup>4</sup>, P. Piloto<sup>5</sup> e N.V. Ramos<sup>6</sup>

Grupo de Prótese Dentária e Oclusão. Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

[acorreia@fmd.up.pt](mailto:acorreia@fmd.up.pt)

Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental. [gmavaz@fe.up.pt](mailto:gmavaz@fe.up.pt)

Instituto Politécnico de Bragança, Dept Tec. Mecânica. [ppiloto@ipb.pt](mailto:ppiloto@ipb.pt)



### Resumo

*A evolução tecnológica das últimas décadas, dos sistemas de levantamento de forma, das preparações dentárias, do software de desenho virtual (CAD), dos materiais dentários e máquinas de fresagem (CAM), levou ao desenvolvimento de vários sistemas CAD-CAM com aplicabilidade em Medicina Dentária (ex. Everest®Kavo, disponível na FMDUP).*

*Nesse sentido o Grupo da Prótese Dentária e Oclusão da FMDUP desenvolveu uma colaboração interdisciplinar com o Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME) da FEUP no sentido de adoptar as tecnologias normalmente aplicadas em Engenharia para optimização de estruturas utilizadas em Próteses Dentárias. Foi então concebida uma metodologia de exportação dos ficheiros de desenho virtual para integração com os métodos de análise de tensões numéricos e experimentais, permitindo desta forma o estudo de situações compatíveis com a realidade clínica. Neste trabalho é apresentada uma aplicação desta metodologia em diversos trabalhos experimentais de análise de tensões em próteses parciais fixas dentárias.*

### INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica das últimas décadas levou à construção de vários sistemas CAD-CAM com aplicabilidade em Medicina Dentária. O sistema Everest®Kavo, que está disponível na Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, contém 3 componentes principais: uma unidade de digitalização da preparação dentária extra-oral, uma unidade de desenho virtual da restauração (CAD) e uma unidade de fresagem dessa mesma restauração (CAM). Tendo ao dispor esta tecnologia, o

Grupo da Prótese Dentária e Oclusão da FMDUP desenvolveu uma colaboração interdisciplinar com o Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental da FEUP no sentido de adoptar as tecnologias normalmente aplicadas em Engenharia para optimização de estruturas, no estudo das próteses dentárias e da tecnologia CAD-CAM associada.

### OBJECTIVOS

Neste trabalho é apresentada uma aplicação desta metodologia em diversos trabalhos experimentais de análise de

tensões em próteses fixas dentárias.

## METODOLOGIA

Utilizando o sistema Everest®Kavo (v.4.07.06) foi efectuada a digitalização dos troques de dois pilares de implantes, e executado o desenho de uma infra-estrutura de uma prótese fixa de 4 elementos (com um elemento – *cantilever*).

### Processamento pelo método dos Elementos Finitos

O programa CAD do sistema Everest® gera ficheiros do tipo .igs, um formato de vectores gráficos 2D/3D utilizado como um formato padrão ASCII para gravação e exportação de dados vectoriais. Esses ficheiros foram então abertos no programa CAD Solidworks® para verificação do desenho, e posteriormente no programa Abaqus® para construção de uma malha de elementos finitos (Figura 1), passível de ser submetida a uma análise numérica de tensões e deformações.

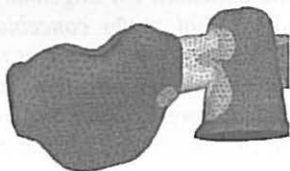


Figura 1 – Malha de elementos finitos relativa a uma infra-estrutura do tipo *cantilever*.

A análise da distribuição das tensões nesta infra-estrutura permitiu concluir, p.e., pela presença de valores elevados na zona inferior (gingival) do conector do elemento em *cantilever*.

### Processamento pelo método da Fotoelasticidade

Para efectuar uma análise experimental de tensões foi executada uma secção longitudinal do desenho CAD, à qual foi seleccionado apenas o contorno externo, de forma a permitir a construção

de um modelo fotoelástico. A estrutura projectada na placa fotoelástica foi então submetida a cargas em diferentes pontos de aplicação, e analisada num polariscópio de transmissão.

Desta análise experimental foi possível concluir por uma concentração de franjas superiores na zona do conector do elemento em *cantilever*, coincidente com os dados obtidos pelo método dos elementos finitos (Figura 2).

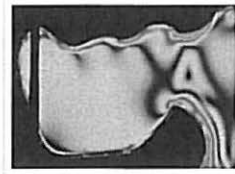


Figura 2 – Modelo fotoelástico adaptado do desenho CAD.

## CONCLUSÕES

A aplicação de técnicas utilizadas em Engenharia na análise de estruturas protéticas aplicadas em Medicina Dentária pode contribuir para a optimização das mesmas ao identificar as zonas de valores elevados de tensões. Desta forma é possível efectuar uma melhor reabilitação clínica dos pacientes que necessitam deste tipo de tratamentos Médico-Dentários.

### Nota do autor:

A investigação aqui descrita está incluída na Tese de Doutoramento do autor principal (Correia A, 2009)

## REFERÊNCIAS

Correia A. 2009. Estudo das tensões exercidas sobre próteses fixas em zircónia e em titânio. Comportamento mecânico de estruturas executadas em CAD-CAM, 221 p. Tese de Doutoramento, Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.



**8** mecânica  
experimental  
Congresso Nacional 2010  
Guimarães, 21-23 Abril

Associação Brasileira de Mecânica Experimental e Teórica  
APMET

