



ARESTA 153/38

Volume 2

Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL 2004



2



Actas do Congresso

Porto, FEUP, 17 a 19 de Novembro de 2004

Editores: Comissão Organizadora BE2004
Joaquim A. Figueiras, Rui Faria, Ana Maria Sarmento
Manuel Pipa, António Abel Henriques, Paulo Cachim

Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto



FEUP edições

Editores. Joaquim A. Figueiras
Execução Gráfica. ORGAL Impressores
1ª Edição. 2004
Volume II
Depósito legal nº 219000/04
ISBN: 972-752-070-7

© Editores 2004
© Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto
URL: <http://feupedições.fe.up.pt>

A qualidade de reprodução das imagens esteve dependente dos ficheiros fornecidos pelos autores. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida por processo mecânico, electrónico ou outro sem autorização escrita dos editores.

Os Editores reconhecem e agradecem a contribuição dos seguintes revisores: Adão da Fonseca, Almeida Fernandes, Álvaro Cunha, Ana Proença, António Reis, Arlindo Gonçalves, Armando Rito, Cândio Martins, Esteves Ferreira, Fernando Branco, Giuseppe Guimarães, Helena Barros, Hugo Corres, Joan Casas, Joana Coutinho, João Almeida, João Cyro, Joaquim Barros, José Camara, Júlio Appleton, Luís Machado, Manuel Vasques, Paulo Helene, Paulo Lourenço, Pompeu dos Santos, Said Jalali, Sérgio Lopes, Serra Neves, Túlio Bittencourt, Válder Lúcio.

Livro com as comunicações apresentadas ao
Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL 2004

Texto elaborado a partir da reprodução directa dos originais preparados pelos autores. Embora os textos tenham sido revistos, os editores não podem aceitar responsabilidade por possíveis erros ou omissões.

Esta edição teve o apoio especial da CIMPOR, Indústrias de Cimentos, S.A.

ORGANIZAÇÃO



GPBE
Grupo Português de
Betão Estrutural



FEUP
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

PATROCINADORES

UNIVERSIDADE DO PORTO
FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia
FUNDAÇÃO ORIENTE
SECIL - Comp. Geral de Cal e Cimento, S.A.
CIMPOR - Indústria de Cimentos, S.A.
CIMPOR BETÃO - Indústria de Betão Pronto, S.A.
MOTA-ENGIL, SGPS, S.A.
BENTO PEDROSO CONSTRUÇÕES, S.A.
REFER, E.P. / RAVE, S.A.
BANCO BPI, S.A.
BRISA - Auto-Estradas de Portugal
IEP - Instituto das Estradas de Portugal
METRO DO PORTO, S.A.
MONTE & MONTE, S.A.
ÁGUAS DE PORTUGAL
SOMAGUE-MESQUITA - Casa da Música ACE

EMPRESAS EXPOSITORAS

A2P Consult, Lda
AFAssociados, Proj. de Engenharia, S.A.
ARMANDO RITO, Lda
CDM - Sist. de Isolamento de Vibrações e Ruído
CNE, Cimentos Nac. Est.
DEGUSSA - Construction Chemicals Portugal, S.A.
FIBERSENSING
GAPRES
JSJ, Cons. e Proj. de Engenharia, Lda
LUSOMAPEI
MAPREL - Emp. de Pav. e Mat. Pré-Esforçados, Lda
MAXIT - Argilas Expandidas
MOTA-ENGIL, SGPS, S.A.
SIKA, Ind. Química, S.A.
TENSACCIAI, SPA
VSL Sistemas Portugal, S.A.

APOIO

Universidade do Porto
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Ordem dos Engenheiros
Instituto da Construção



CONTEÚDO

VOLUME 1

CONFERÊNCIAS CONVIDADAS

Computational platform for safety and life-cycle assessment of concrete infrastructures	3
<i>K. Maekawa; T. Ishida; K. Toongoenthong</i>	
En el limite de la vida util de las estructuras de hormigón.....	19
<i>C. Andrade</i>	
Monitoring and simulation of structural systems.....	45
<i>K. Bergmeister; U. Santa; A. Strauss</i>	
The main bridges of the high speed line HSL Mediterranee.....	61
<i>Ph. Ramondenc; Ch. Bousquet</i>	

TEMA 1 - NOVOS MATERIAIS

As reacções expansivas internas no betão devidas à formação de etringite retardada. Métodos de diagnóstico e de prognóstico.....	83
<i>L. Divet; A. Pavoine; J.L. Clement; A. Santos Silva</i>	
Influência das cinzas volantes sobre a reacção sulfática de origem interna no betão.....	91
<i>A. Santos Silva; Loïc Divet; M. Manuela Salta</i>	
Ensaio de durabilidade em betão constituído com elevadas percentagens de cinza volante.....	99
<i>A. Gomes; A. Coelho</i>	
Influência do tipo e teor de adições superpozolánicas nas características cromáticas de argamassas à base de cimento Portland branco estrutural.....	107
<i>A. Passuelo; L.C. P. Silva Filho; J. L. Campagnolo</i>	
Coefficientes de Feret para betão autocompactável branco.....	115
<i>E. N. B. S. Júlio; N. C. Dias; J. F. Lourenço; J. A. R. M. Silva</i>	
Método para definição da composição de BAC.....	123
<i>Sandra Nunes; Helena Figueiras; Ana Maria Proença; Joana Sousa Coutinho; Joaquim Figueiras</i>	

Efeito de diferentes superplastificantes na reologia de pastas de cimento para BAC <i>R. J. Santos; J. C. B. Lopes; S. C. Nunes; H. I. Figueiras; J. A. Figueiras</i>	131
A utilização de resíduos das pedreiras no fabrico de betão <i>C. Correia; C. Meira; M. Teles</i>	139
Propriedades dos agregados grossos reciclados de betão no fabrico de novo betão <i>C. A. Resende; B. Rocha; P. Cachim</i>	147
Desempenho mecânico de betões com agregados finos reciclados de betão <i>L. Evangelista; J. de Brito</i>	155
Caracterização de betões com detritos de borracha de pneus em substituição de agregados correntes <i>Ricardo Viana; Irma Assunção; Ana M. S. Bastos</i>	163
Betão eco-eficiente com cinza de casca de arroz (CCA) <i>S. Sousa; J. S. Coutinho</i>	171
Cinza de casca de arroz portuguesa – material sustentável <i>B. N. de Sousa; N. D. da Silva; J. S. Coutinho</i>	179
Influência da forma dos agregados grossos reciclados de betão na trabalhabilidade e resistência de betões <i>D. Matias; J. de Brito</i>	187
Betão leve estrutural usando agregados de argila expandida <i>B. Silva; J. Coutinho; S. Neves</i>	195
Betões de retração controlada <i>A. M. Proença</i>	203
Concreto de alto desempenho submetido a cura térmica: avaliação da resistência à compressão pelo método da maturidade <i>I. R. F. Martins; M. P. Barbosa; R. C. A. Pinto</i>	211
Metodologias para prevenir a degradação do betão por reacções expansivas internas <i>A. Santos Silva; A. Gonçalves; M. J. Esteves Ferreira</i>	219
Aumento da durabilidade do betão através da utilização de metacaulino e látex – um caso de estudo <i>A. Camões; P. J. S. Cruz; S. Jalali; R. M. Ferreira</i>	227
Caracterização da durabilidade de argamassas de reparação de elementos de betão <i>R. Nsambu; A. Gomes</i>	235
Avaliação da resistência ao impacto de mistura de argamassa reforçada com fibras de polipropileno <i>R. C. A. Pinto; T. C. Kumm; A. R. Hadlich</i>	243
Caracterização experimental de um betão leve de elevada resistência <i>Isabel Valente; Paulo J. S. Cruz</i>	251
Resistência do concreto nas primeiras idades submetido à vibração <i>J. F. Fernandes; P. A. O. Almeida</i>	259
Armaduras de aço inoxidável como medida preventiva da corrosão no betão armado <i>M. J. Correia; M. M. Salta</i>	267
Caracterização mecânica e de aderência de novos tipos de varões de aço inoxidável <i>Ana S. Louro; Manuel Pipa</i>	275

Estudo da ligação entre camadas de barragens de BCC com base em ensaios de corte directo <i>J. Muralha; T. Santana; A. B. Ribeiro</i>	283
Painéis aligeirados em betão autocompactável reforçado com fibras de aço <i>E. N. B. Pereira; J. A. O. Barros; A. F. F. A. Camões</i>	291

TEMA 2 - ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO

Influência da idade nos parâmetros de fractura do betão auto-compactável reforçado com fibras de aço <i>A. Ribeiro; J. Barros; E. Pereira; J. Antunes</i>	301
Comportamento à tracção directa de elementos laminares de betão armado reforçado com fibras de aço <i>V. M. C. F. Cunha; J. A. O. Barros</i>	309
Influência da taxa de carregamento sobre o comportamento pós-pico de concreto em tração determinado em ensaios de vigas ranhuradas <i>J. L. A. O. Sousa; R. Gettu</i>	317
Modelação do comportamento do betão: o modelo de fractura "Lattice" de Delft <i>M. Abreu; V. Leitão</i>	325
Análise não linear de vigas de betão armado com a lei do MC90 e retenção de tensões de tracção <i>M. H. F. Barros; C. D. Gomes</i>	333
Redistribuição de momentos em vigas contínuas de concreto protendidas com cabos externos sintéticos <i>C. M. O. Campos; G. B. Guimarães</i>	341
Modelo de fibras para análise de estruturas evolutivas de betão <i>M. Ferraz; R. Faria; J. A. Figueiras</i>	349
Método simplificado para avaliação dos efeitos do faseamento construtivo nos esforços das estruturas <i>R. Delgado; B. Silva; P. Borges</i>	357
Ligação entre vigas pré-fabricadas de pontes com armaduras ordinárias. Análise probabilística <i>C. F. Sousa; A. S. Neves</i>	365
Modelação numérica e validação experimental do comportamento de vigas parede com apoios indirectos <i>M. Pimentel; P. Cachim; J. A. Figueiras</i>	373
Análise térmica e mecânica de uma laje de betão instrumentada nas primeiras idades <i>M. Azenha; R. Faria; J. A. Figueiras</i>	381
Método das linhas de rotura versus modelos de análise não linear material na determinação da capacidade de carga de lajes apoiadas em solo <i>A. Gouveia; J. Barros; J. Antunes; A. Azevedo; J. Cruz</i>	389
Comportamento de lajes de concreto armado submetidas à punção: modelagem numérica e validação experimental <i>L. Trautwein; R. Faria; J. A. Figueiras; T. Bittencourt</i>	397
Análise não-linear de blocos rígidos sobre quatro estacas <i>R. A. Souza; T. N. Bittencourt</i>	405

Fendilhamento de elementos de concreto reforçado com fibras de aço submetidos a forças concentradas <i>A. P. Abreu; N. O. Pinto Jr.</i>	413
Avaliação da segurança em pavimentos semi-pré-fabricados usando elementos do tipo pré-laje, dotados de aligeiramento <i>S. Macedo Peixoto; A. Serra Neves</i>	421
Avaliação da segurança estrutural de pontes de betão pré-fabricado <i>D. Wisniewski; A. Henriques; P. Cruz</i>	429
Efeitos dinâmicos em pontes ferroviárias em vias de alta velocidade. Estudo comparativo de diferentes metodologias de análise <i>D. Ribeiro; R. Calçada; R. Delgado</i>	437
Comportamento dinâmico de uma ponte com tabuleiro em caixão sob acção de tráfego ferroviário a alta velocidade <i>J. R. Pinto; R. Calçada; R. Delgado</i>	445
Análise dinâmica de um viaduto com tabuleiro contínuo em laje aligeirada em via ferroviária de alta velocidade <i>I. Faria; R. Calçada; R. Delgado</i>	453
Vibrações induzidas por grupos de peões numa ponte catenária <i>E. Caetano; A. Cunha; C. Moutinho; F. Magalhães; L. Ramos</i>	461
Verificação das condições de conforto humano sob vibrações induzidas em pavimentos aligeirados de betão <i>R. Camposinhos; A. Serra Neves; R. Delgado</i>	469
Opções de dimensionamento e alterações dos níveis de segurança estrutural <i>J. M. Delgado; R. Delgado; A. G. Costa</i>	477
EC2 – Efeitos de segunda ordem. Aplicabilidade e análise de resultados <i>T. Gonçalves; J. M. Delgado</i>	485
As estruturas prefabricadas de betão nos eurocódigos estruturais <i>S. Pompeu Santos</i>	493
Campos de tensões em zonas de descontinuidade <i>Miguel S. Lourenço; João F. Almeida</i>	501
Nova formulação para o dimensionamento de estruturas laminares de betão armado <i>K. Palacio; P. B. Lourenço; J. A. O. Barros</i>	509
Para uma metodologia consistente no dimensionamento de estruturas laminares de betão <i>M. Pimentel; P. Cachim; J. A. Figueiras</i>	517
Influência da acção sísmica nos custos de um edifício <i>J. Barreto da Costa; C. Sousa Oliveira</i>	525
Dimensionamento de estruturas de estádios solicitadas por acções dinâmicas induzidas pelos espectadores <i>H. Marques; R. M. Delgado; A. Campos e Matos</i>	533
Dimensionamento da amarração de fios de aço com extremidades encabeçadas <i>R. Camposinhos; A. Serra Neves; J. A. Figueiras</i>	541
Análise de secções de betão armado em flexão composta desviada <i>M. H. F. Barros; J. L. Bonet; M. L. Romero</i>	549
Dimensionamento de secções multi-retangulares de betão armado em flexão desviada <i>V. Dias da Silva; H. Melão Barros</i>	557

Análisis y diseño de soportes de hormigón de alta resistencia sometidos a esfuerzos combinados de compresión y flexión esviada <i>J.L. Bonet; P.F. Miguel; M.A. Fernández</i>	565
Crítérios de projeto visando a vida útil <i>E. Garcez; L. I. Rippel; P. F. Schwetz; L.C. P. Silva Filho</i>	573
Aplicação de algoritmos genéticos na optimização de secções de vigas de betão armado <i>J.M.C. Estêvão; Mário Jesus</i>	581
Capacidade de rotação plástica em vigas de betão de alta resistência <i>L. Bernardo; S. Lopes</i>	589
Influência do esforço transversal e do tipo de apoio na capacidade de rotação plástica de secções de vigas contínuas <i>R. N. Carmo; S. M. Lopes</i>	597
Vigas de concreto de alta resistência sob cargas concentradas próximas dos apoios <i>G. S. Leite Jr; G. B. Fernandes; A. L. Moreno Jr</i>	605
Estudo experimental de vigas mistas aço-betão leve <i>Isabel Valente; Paulo J. S. Cruz</i>	613
Ensaio em placas de concreto para pavimentos <i>L. F. Rodrigues; G. N. Gonçalves; L. M. Pinheiro</i>	621
Estudo experimental do punçoamento em lajes fungiformes pré-esforçadas <i>A. Pinho Ramos; V. J. G. Lúcio</i>	629
Comportamento de lajes alveoladas sujeitas a cargas concentradas <i>Silvia Castilho; Váler Lúcio</i>	637
Modelação numérica e ensaio experimental de lajes aligeiradas de vigotas de betão pré-esforçado <i>C. Moreno; S. Lopes</i>	645
Estudo experimental da resistência à tração de placas de ancoragem embutidas em concreto <i>W. E. de Oliveira; G. B. Guimarães</i>	653
Estudo do comportamento do concreto sob o efeito de temperaturas elevadas <i>A. L. Moreno Jr; L. B. P. Bizzo</i>	661
Resistência e ductilidade em flexão de paredes de alvenaria armadas e preenchidas com betão autocompactável reforçado com fibras de aço <i>L. Oliveira; L. Bernardo</i>	669

VOLUME 2

TEMA 3 - REABILITAÇÃO E REFORÇO

Modelação da aderência entre o betão e materiais de reforço <i>P. Neto; J. Vinagre; J. Alfaiate</i>	679
Caracterização da ligação betão-FRP <i>A. O. Dimande; L. F. P. Juvandes; J. A. Figueiras</i>	687

Comportamento da ligação CFRP-resina-betão sujeita a acções cíclicas.....	695
<i>João L. Marques; Pedro Fong; Pedro Macedo; Carlos Chastre Rodrigues; Váler Lúcio</i>	
Caracterização do comportamento da ligação entre betões de distinta classe de resistência.....	703
<i>E. Bonaldo; J. A. O. Barros; P. B. L. Lourenço</i>	
Aderência de proteções passivas sobre reforços com fibra carbono.....	711
<i>R. C. A. Lima; L. C. P. Silva Filho; J. L. Campagnolo</i>	
Análise do comportamento de vigas de betão armado reforçadas à flexão simples com CFRP.....	719
<i>P. Neto; J. Alfiante; J. Vinagre</i>	
Modelação de vigas reforçadas com laminados de CFRP inseridos no betão de recobrimento.....	727
<i>J. Sena Cruz; J. Barros; A. Azevedo</i>	
Reforço à flexão com sistemas de FRP. Comportamento experimental vs. manuais actuais de dimensionamento.....	735
<i>D. Azevedo; L. F. P. Juvandes; A. Henriques</i>	
Estudo de mecanismos de amarração em vigas de betão armado reforçadas com sistemas compostos de CFRP.....	743
<i>A. O. Dimandé; L. F. P. Juvandes; J. A. Figueiras</i>	
Avaliação da eficácia de distintas técnicas de reforço ao corte de vigas de betão armado com CFRP.....	751
<i>Salvador Dias; Joaquim Barros</i>	
Reforço de estruturas com laminados de CFRP pré-esforçados.....	759
<i>P. França; A. Costa; J. Appleton</i>	
Reforço de pavimentos de edifícios industriais com laminados de fibras de carbono.....	767
<i>J. Barros; A. Antunes</i>	
Análise da eficiência da técnica de encamisamento localizado na reparação ou reforço de pilares de betão armado com recurso a chapas de aço ou manta de fibras de carbono.....	775
<i>A. Cardoso; J. Appleton; S. Pompeu Santos</i>	
Confinamento garantido ao betão por cintagem total e parcial com mantas de CFRP.....	783
<i>D. R. S. M. Ferreira; J. A. O. Barros</i>	
Reforço em pilares de concreto armado por cintamento com PRFC.....	791
<i>A. L. Moreno Jr.; A. O. Rigazzo</i>	
Reabilitação e reforço da ponte de Angeja sobre o rio Vouga.....	799
<i>Tiago Mendonça; Vítor Brito</i>	
Reabilitação do viaduto de Alhandra na A1.....	807
<i>A. Costa; J. Appleton</i>	
Inspeção e reabilitação do Seminário Conciliar de Braga.....	815
<i>P. B. Lourenço; J. Barbosa Lourenço; D. V. Oliveira</i>	
Efeitos estruturais da deterioração em estruturas de betão armado.....	823
<i>J. Appleton; A. Costa; P. França</i>	
Controlo de corrosão em pontes e parques de estacionamento.....	831
<i>J. H. Mork; R. Haug; K. Rosenbom</i>	
Análise do concreto de estrutura das câmaras transformadoras subterrâneas sob a ação de ambiente agressivo.....	839
<i>Waleska Barbosa; Regiane Stedile Wozniak; Betina Lepretti Medeiros; Patricia Hommerding Pedrozo; Moacir Fernandes; João Bosco Moreira do Carmo</i>	

TEMA 4 - OBSERVAÇÃO E MONITORIZAÇÃO

Avaliação do comportamento e segurança estrutural das vigas do caminho de rolamento do parque de contentores de leixões.....	849
<i>H. Sousa; C. Félix; A. Bastos; J. A. Figueiras</i>	
Estudo experimental acerca da influência das perdas de protensão sobre as frequências naturais de uma viga.....	857
<i>H. A. Calvo E.; H. M. Bernardes; M. J. M. Furtado</i>	
Monitorização em fase de serviço do comportamento estrutural da ponte Infante D. Henrique.....	865
<i>A. Adão da Fonseca; R. Oliveira Bastos</i>	
Provas de carga em obras de arte correntes: sua utilidade e recomendações.....	873
<i>Bruno J. A. Costa; Carlos Félix; J. A. Figueiras</i>	
Comportamento do tabuleiro da ponte sobre o rio Vouga na EN 329 sujeito a um ensaio de carga.....	881
<i>Bruno J. A. Costa; Carlos Félix; J. A. Figueiras</i>	
Monitorização do reforço da ponte de Nossa Senhora da Guia.....	889
<i>P. Costeira Silva; Luís F. P. Juvandes; Carlos Félix; J. A. Figueiras</i>	
Sistema de monitorização de obras de arte aplicado à ponte sobre o Rio Sorraia.....	897
<i>V. Perdigão; P. Barros; I. Dias; D. Pereira; J. Alves; H. Sousa; J. C. Matos; J. A. Figueiras</i>	
Análise do comportamento da ponte sobre o Rio Sorraia durante a fase construtiva.....	905
<i>J. C. Matos; J. O. Pedro; H. Sousa; C. Félix; A. Reis; J. A. Figueiras</i>	
Ensaio estático e dinâmico da ponte sobre o Rio Corgo.....	913
<i>L. O. Santos; J. Rodrigues; Xu Min</i>	
Desenvolvimento de um sistema de monitorização dinâmico para uma ponte atirantada.....	921
<i>E. Caetano; A. Cunha; A. Carvalho; A. Lage; M. Correia; F. Magalhães</i>	
Algumas reflexões sobre a segurança das obras de arte em serviço.....	929
<i>A. Cardoso</i>	
Sistema de gestão de um parque de obras de arte.....	935
<i>T. Mendonça; António Vieira; Pedro Paulo</i>	
Inspeção e gestão de pontes rodoviárias. Aplicação a um conjunto de pontes portuguesas.....	943
<i>J. O. Almeida; R. M. Delgado</i>	
Avaliação probabilística dos limites de deformação de pontes em provas de carga.....	951
<i>D. Wisniewski; P. Cruz; A. Henriques</i>	
Considerações sobre a monitorização do comportamento estrutural de obras de arte.....	959
<i>J. A. Figueiras; C. Félix</i>	
Recolha e transmissão automática de dados de observação das barragens do Covão do Meio e de Santa Luzia.....	967
<i>M. P. Miranda; D. S. Matos; J. Cunha</i>	
Análise e interpretação do comportamento observado da Barragem do Catapereiro durante o primeiro enchimento da albufeira.....	975
<i>A. L. Batista</i>	
Retroanálise no estudo da laje de barragem de enrocamento com face de concreto utilizando modelo matemático com não-linearidade física.....	983
<i>J. C. André; A. Costa; M. L. Goulart</i>	

Desenvolvimento e caracterização de novas cabeças sensoras para embeber no betão <i>H. Sousa, J. C. Matos, H. Silva, J. L. Esteves, P. S. Vieira, J. A. Figueiras</i>	991
Controlo da aquisição e tratamento de resultados da monitoração utilizando Labview® <i>W. S. Assis, C. Félix, T. N. Bittencourt, J. A. Figueiras</i>	999
Teste acelerado da degradação do betão baseado em sensores incorporados no provete <i>P. S. D. Brito, L. T. T. Rodrigues, M. P. T. Cunha</i>	1007
Influência do posicionamento da armadura em medições de ultra-som para avaliação da resistência à compressão do concreto <i>F. L. Dornelles, R. C. A. Pinto, I. J. Padaratz</i>	1015
Observação de estruturas de betão de elevados desempenhos através de ensaios "in situ" não-destrutivos <i>E. N. B. S. Julho, P. A. Fernandes, J. P. Veludo</i>	1023
Redes de Bragg em fibra óptica - contribuições para o desenvolvimento de uma tecnologia revolucionária em monitorização estrutural <i>L. A. Ferreira, F. M. Araújo, A. A. Maia, P. A. Alves, J. L. Santos</i>	1031
TEMA 5 - TECNOLOGIA E PROCESSOS CONSTRUTIVOS	
Evolução dos cimbres autolanzáveis <i>António Póvoas</i>	1041
Implementação do BAC na pré-fabricação <i>Sandra Nunes, Helena Figueiras, Ana Maria Proença, Joana Sousa Coutinho, Joaquim Figueiras</i>	1049
Construção de passagens inferiores à linha do sul com recurso a prefabricação parcial do tabuleiro <i>A. Perry Câmara, J. Baptista dos Santos</i>	1057
Desenvolvimento de um sistema de construção de pavimentos usando painéis pré-fabricados semi-autoportantes <i>A. Serra Neves, J. M. Q. Ribeiro</i>	1065
Comportamento à flexão de painéis representativos de um novo sistema construtivo em alvenaria armada <i>J. T. Oliveira, J. A. O. Barros, E. Bonaldo, P. B. L. Lourenço</i>	1073
Análise experimental de painéis tipo sanduiche à flexão <i>A. A. Bertini, L. M. Pinheiro</i>	1081
Pré-esforço orgânico - aplicação em cimbres autolanzáveis - bases do projecto piloto <i>António Guerra, António André, Pedro Pacheco, António Adão da Fonseca</i>	1089
Estudo experimental da aplicação de pré-esforço orgânico em cimbres autolanzáveis <i>A. M. André, P. A. Pacheco, A. Adão da Fonseca</i>	1097
Special load measuring bearings <i>P. Baldo, F. Tomaselli, F. Pimenta</i>	1105
Edifícios com isolamento acústico nas fundações. Hotel Mundial e Teatro Municipal de Faro <i>J. P. Venâncio, M. Villar, S. Martires</i>	1113
Protecção catódica do aço de estruturas de betão armado por corrente impressa <i>P. S. D. Brito, L. T. T. Rodrigues, M. P. T. Cunha</i>	1121

Degradação das propriedades mecânicas do betão exposto a altas temperaturas <i>H. Caraslindas; R. C. Barros</i>	1129
TEMA 6 - REALIZAÇÕES	
Concepção estrutural do Estádio do Dragão <i>A. Campos e Matos; P. Pimenta; H. Marques</i>	1139
Projectos de estruturas e escavação da Estação do Bolhão do Metro Ligeiro do Porto <i>M. Cristina Costa; Acácio Santo; Raúl S. Pistone; Gisela Sá Frias; Kuong In Chan</i>	1147
Reabilitação do Viaduto Duarte Pacheco <i>António Costa; Júlio Appleton; José Delgado; J. Grave dos Santos; Vitor Pedrinho</i>	1155
A construção da ponte sobre o Rio Corgo <i>A. Rito; P. Cabral; S. Bispo; M. Monteiro</i>	1163
As pontes sobre a Ribeira de Temilobos (Armamar) e sobre o rio Antuã (Viaduto V1 na N224) <i>Júlio Appleton; J. Nunes da Silva; José Delgado</i>	1171
Pontes sobre o Rio Sorraia e sobre a Ribeira Funda: um estudo comparativo <i>A. J. Reis; J. O. Pedro; A. Pereira</i>	1179
Alguns viadutos construídos na A7 <i>A. Rito</i>	1187
Pontes com tabuleiro em laje suspensa <i>A. J. Reis; R. Mestre; F. Santos</i>	1195
Construction of an ultra-high-performance fibre-reinforced concrete thin-shell structure over the Millau Viaduct toll gates <i>Ziad Hajar; Alain Simon; Thierry Thibaux</i>	1203
Processos construtivos utilizados em várias pontes <i>António Póvoas</i>	1211
Alargamento do Viaduto da Vala da Asseca <i>Alexandre Portugal; Paulo Bernardino</i>	1219
Pré-fabricação em tabuleiros de pontes. O caso da Ponte Ferroviária de Caniços. <i>A. Ferreira; C. F. Sousa; A. S. Neves</i>	1227
Estação Viana - Centro Comercial com interface de transportes <i>J. C. Lino; G. Lopes</i>	1235
Projecto do SATUOeiras - 1ª e 2ª fases <i>J. N. Camara; J. Rocha; D. Cardoso; B. Carvalho</i>	1243
Estrutura do Art's Center <i>João F. Almeida; Miguel S. Lourenço</i>	1251
Edifícios de grande porte com estrutura em betão armado e pré-esforçado <i>J. Appleton; N. Travassos</i>	1259
Centro de Solidariedade de Braga <i>J. A. O. Barros; A. V. Gouveia</i>	1267
Moradias unifamiliares em Ponte de Lima <i>A. Ferreira; L. Peres</i>	1275

The design of the Millau Viaduct 1283
Jean Pierre Martin, Claude Servant, Marc Buonanno

COMUNICAÇÕES CONVIDADAS

As obras de betão do Metro do Porto 1299
Filipe Silva (METRO DO PORTO, S.A.)

Importância do betão estrutural na modernização da rede ferroviária portuguesa 1307
J. Duarte Miguel, A. Duarte Pereira (REFER, EP)

Pontes e viadutos - processos construtivos 1323
A. Macedo, A. T. Nogueira (MOTA-ENGIL, S.A.)

A10 - Auto-estrada Bucelas / Carregado (A1) / IC 3 (A13). Sublção A1 / Benavente -
 travessia do Tejo no Carregado - concepção, projecto e gestão do empreendimento 1339
Paulo Barros, António de Sousa, Joaquim de Almeida Mendes, João Bento (BRISA, S.A.)

Ponte Rainha Santa Isabel sobre o Rio Mondego - Execução do Empreendimento 1361
Carlos Santinho Horta, Rui M. Fiegas Matos (REP)

EN 1097/N 111 - Reabilitação da Ponte da Figueira da Foz e seus acessos. Nota técnica da
 intervenção em curso 1383
Carlos Santinho Horta, António Plácido (REP)

TEMA 3
 REABILITAÇÃO E REFORÇO

Parque 2

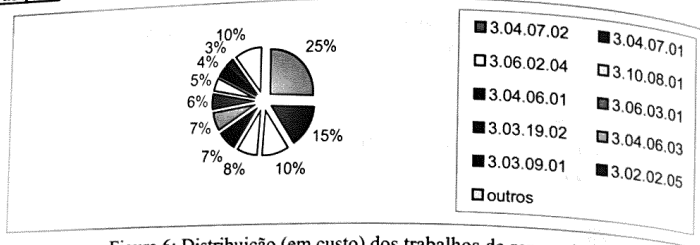


Figura 6: Distribuição (em custo) dos trabalhos de reparação

O trabalho de reparação mais preponderante na lista de reparações resultante das Inspeções Principais efectuadas, é o 3.04.07.02 e 3.04.07.01 – Restabelecimento da Cota da Via na Transição da Obra para o Aterro com Reposição do Terreno no Tardoz do Encontro (25%), e por Recarga do Betuminoso (15%), seguindo-se depois a Reconstrução da Camada de Transição em Juntas de Dilatação com Argamassa Epoxi (10%). Estas reparações estão associadas aos problemas originados pela deficiente compactação dos aterros no tardoz dos encontros e também a fraca qualidade do material aplicado na camada de transição das juntas de dilatação.

4. CONCLUSÃO

Em suma, podemos dizer que o sistema GOA tem respondido, até agora, às necessidades dos nossos clientes, permitindo traçar estratégias de intervenção nos parques de Obras de Arte, quer a curto prazo (manutenção), quer a médio e longo prazo (reparação). Compreendendo diferentes tipos de parques de obras, associados a diversos cenários geológico-ambientais em que estes se situam, o nosso sistema já tem armazenados dados dos mais diversos tipos estruturais de Obras de Arte. Temos sabido analisar, para cada tipo estrutural de obras, quais as causas e consequências das anomalias detectadas, e em função dessa análise, programar planos de intervenção que se têm revelado técnica e economicamente adequados. Pensamos que o nosso sistema GOA tem sabido adaptar-se às exigências que continuamente têm surgido, quer ao nível do desenvolvimento do software informático, quer ao nível do conhecimento e formação da nossa equipa técnica. Contudo, não podemos ficar parados, pelo que apostamos na formação contínua e na permanente actualização e modernização do sistema GOA, por forma a responder às necessidades que permanentemente vão surgindo.

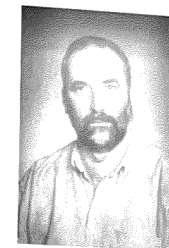
5. BIBLIOGRAFIA

- 1 Betar Consultores, Lda. - *Sistema de Gestão de Obras de Arte*, 2003, Manuais de Inspeção e de Manutenção.

INSPECCÃO E GESTÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS. APLICAÇÃO A UM CONJUNTO DE PONTES PORTUGUESAS.



J. O. ALMEIDA
Assistente
ESTG-IPVC
Viana do Castelo



R. M. DELGADO
Prof. Catedrático
FEUP
Porto

SUMÁRIO

Após uma referência ao processo de inventariação e inspeção de pontes em funcionamento, é feita a apresentação de uma metodologia de sistematização e processamento da informação, com vista à preparação de relatórios técnicos que possam servir de instrumento de assessoria nas tomadas de decisão durante a vida útil das obras. Finalmente, apresentam-se alguns resultados da aplicação desse sistema de gestão a um conjunto de pontes rodoviárias portuguesas.

1. INFORMAÇÃO NECESSÁRIA À GESTÃO

Para poder garantir a segurança estrutural e assegurar um bom desempenho de um parque de pontes, é necessário efectuar o seu acompanhamento periódico, realizando inúmeras campanhas de inspeção das obras. Para que toda a informação recolhida venha a ser útil aos gestores responsáveis pela exploração das obras, é necessário interpretá-la e organizá-la de forma objectiva.

Nos Estados Unidos da América, um dos países com maior número de pontes, a sistematização da informação relativa ao grande conjunto de obras de arte, integrante da base de dados designada por NBI (*National Bridge Inventory*), é feita por diversos itens de inventariação [1]. Para além disso, para alguns deles, são ainda apresentados códigos de classificação, de forma a simplificar o arquivo e possibilitar depois uma análise comparativa entre diferentes registos.

São também apresentadas tabelas de classificação dos itens, em função de um adequado conjunto de parâmetros, com o objectivo de diminuir o grau de subjectividade da classificação.

A qualidade de um processo de gestão de obras de arte depende, em primeiro lugar, das suas premissas, pelo que é fundamental assegurar a fiabilidade, a actualidade, a objectividade e a suficiência de todo o conjunto de dados a analisar. Por essa razão, a realização de ensaios experimentais complementares à inspecção visual, bem como, em alguns casos, a implementação de técnicas de monitorização, podem ser bastante importantes. Para além disso devem ainda ser implementados alguns mecanismos de minimização do erro que podem, por exemplo, contemplar a elaboração de *check-lists*, o cruzamento de informação de diferente proveniência e a consideração de alguns parâmetros de verificação.

1.1. Inventariação

Para se poder tomar decisões no âmbito da gestão de um parque de Obras de Arte, é importante manter organizado um processo onde constem todos os dados necessários à sua identificação e caracterização, tais como documentos contratuais e projecto inicial; data da construção e de posteriores intervenções; descrição dos processos construtivos utilizados; localização e caracterização da envolvente; tipo de utilização; descrição da estrutura, com referência ao tipo de funcionamento e ao tipo de materiais de cada um dos elementos que a constituem.

A organização desta informação deve ser iniciada, sempre que possível, desde as fases de projecto e execução da obra e ser depois continuada, em fase de exploração, pelas entidades ou instituições encarregues da sua gestão. Esses documentos deverão reunir toda a informação específica que possa vir a ser necessária a uma intervenção, incluindo a caracterização dos materiais; os desenhos finais em concordância com o executado; a indicação das secções mais esforçadas; um plano de observação, monitorização e manutenção ajustado à estrutura; as especificações técnicas de elementos especiais e os protocolos de controlo de qualidade.

1.2. Inspeção

A inspeção deve ser feita visualmente, por técnicos experientes, e depois, caso se verifique necessário, deve ser complementada com recurso a outros meios de apoio que ajudem a fazer um diagnóstico mais correcto do estado da estrutura. Essas campanhas devem ser convenientemente preparadas antes da ida para o campo, com base nos elementos do projecto e nos dados das inspeções anteriores. Verifica-se que há um razoável consenso entre diversos autores [2,3,4,5] para o facto das inspeções de rotina deverem ser realizadas com intervalos de 1 a 2 anos e das inspeções principais deverem ter uma periodicidade próxima dos 5 anos. Estes valores devem no entanto ser considerados como meramente orientadores, uma vez que é importante que esses intervalos de tempo sejam depois ajustados pela equipa técnica que as realiza, em função do cenário específico de cada uma das obras.

Sendo o principal objectivo de uma inspeção o mapeamento e a caracterização das anomalias, deve-se ter o cuidado de anotar todas as indicações que possam vir a fornecer informação

relativa a: localização dos danos; extensão afectada; evolução relativamente à situação descrita em relatórios de inspeções anteriores; indicação das causas prováveis; eventual correlação com outros danos; resultados dos ensaios de diagnóstico realizados; necessidade de realização de inspeções especiais e de ensaios complementares; classificação do estado de deterioração; notas e recomendações sobre a perigosidade que lhes é inerente; indicação da urgência de intervenção; apresentação de propostas técnicas de manutenção/reparação, com estimativa dos respectivos custos e do tempo necessário à sua execução.

1.2.1 Realização de ensaios complementares à inspeção visual

A realização de ensaios de diagnóstico complementares à inspeção visual das estruturas e a conveniente interpretação desses resultados pode dar um importante contributo aos sistemas de gestão de obras de arte, uma vez que permite identificar, com menor subjectividade e maior precisão, o estado de deterioração de cada um dos seus elementos e, assim, interpretar melhor o comportamento das estruturas ao longo da sua vida útil.

Os ensaios a usar no diagnóstico, quer do estado da estrutura, quer dos seus elementos, devem ser seleccionados de acordo com o tipo de informação pretendido, pelo que devem ser definidos em função de uma observação visual prévia. Por vezes a realização de diferentes tipos de ensaios pode ser vantajosa para cruzar informação de diferentes proveniências e calibrar resultados. O tipo e o número de ensaios a realizar deve ser fixado em resultado de um compromisso entre o tipo de resultados pretendido, a precisão exigida, a extensão da estrutura, as condicionantes existentes e a verba disponível. Importa no entanto salientar que o investimento na realização de ensaios complementares à inspeção visual, muitas vezes de elevado montante, poderá vir a ser compensado, em parte ou na globalidade, pela diminuição dos custos associados a eventuais incorrecções de identificação e classificação dos danos.

Ao longo da vida útil das obras, a natural degradação dos elementos de uma estrutura pode dar início ao seu processo de deterioração e consequentemente ao aparecimento de patologias. Assim, numa primeira fase verifica-se a destruição dos mecanismos de protecção da estrutura, tornando-a mais vulnerável, e depois é iniciada a sua própria deterioração, conduzindo assim, progressivamente, a um maior grau de gravidade do dano [6]. Por essa razão, no caso de obras jovens, os ensaios devem permitir avaliar essencialmente as capacidades dos dispositivos de protecção, enquanto que no caso de obras com mais idade devem focar a atenção no processo de deterioração e eventualmente também na qualificação e quantificação do dano.

Na Tabela 1 e na Tabela 2 será feita uma breve referência a alguns dos ensaios que poderão ser usados na inspeção de estruturas de betão, respectivamente classificados, de acordo com a sua natureza, em não-destrutivos e semi-destrutivos. Os ensaios designados por não-destrutivos podem ser efectuados *in situ*, sem que deles resultem marcas da sua realização e permitem essencialmente obter informação de carácter qualitativo. Os ensaios semi-destrutivos implicam já uma ligeira danificação de algumas zonas da estrutura, mas a sua grande vantagem em relação aos não-destrutivos é a possibilidade de obtenção de informação mais específica e de carácter não só qualitativo. Alguns deles são realizados *in situ* e outros em laboratório, devendo o local para a sua realização, ou recolha da amostra, ser escolhido em função da análise visual

e de eventuais ensaios não-destrutivos previamente realizados. Enquanto que os ensaios não-destrutivos são em geral aplicados em grandes extensões da estrutura, os semi-destrutivos, pela sua natureza, são em geral realizados apenas em alguns pontos convenientemente seleccionados.

Tabela 1 – Alguns ensaios não-destrutivos para inspecção de estruturas de betão armado

ENSAIO	UTILIDADE
Esclerómetro de Schmidt	– Estimar <i>in situ</i> a resistência superficial do material.
Detector de armaduras	– Localizar e estimar o diâmetro e o recobrimento das armaduras.
Potencial electroquímico	– Estimar a probabilidade de corrosão das armaduras.
Ensaio ultra-sónicos	– Detectar algumas descontinuidades, como vazios e fissuras. – Estimar algumas características mecânicas do material como o módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson e a resistência à compressão, com base em correlações empíricas.
Ensaio termográficos	– Identificar zonas com delaminação e com vazios.
Ensaio com raios X ou γ	– Determinar a forma e o tamanho de defeitos, a duas dimensões. – Determinar a forma e o tamanho das armaduras, a duas dimensões.

Tabela 2 – Alguns ensaios semi-destrutivos para inspecção de estruturas de betão armado

ENSAIO	UTILIDADE
Ensaio mecânicos	– Determinar o módulo de elasticidade. – Determinar a resistência à compressão, à tracção e ao corte.
Ensaio químicos	– Determinar os constituintes do material. – Estimar o teor de cloretos.
Ensaio físicos	– Determinar a densidade do material. – Determinar a capacidade de absorção de água.
Ensaio com fenolftaleína	– Determinação da profundidade de carbonatação.
Ensaio de tracção directa	– Estimar a resistência superficial do betão endurecido.
Ensaio com macacos planos	– Determinação do estado de tensão. – Determinação do Módulo de Young.
Análise com microscópio	– Identificar vazios e micro-fissuras, entre ligante/agregados ou nos agregados. – Conhecer a composição mineralógica. – Identificar alguns dos processos da deterioração do betão como a reacção alcalis-silica, o ataque dos sulfatos e o processo de carbonatação.
Ensaio com um gama-densímetro por transparência	– Medir a densidade. – Medir a porosidade. – Determinar o teor de água.

Para além dos ensaios anteriormente referidos, pode ainda justificar-se a utilização de outras técnicas experimentais, mais ligadas à monitorização e instrumentação de estruturas. Sendo técnicas bastante onerosas e por vezes difíceis de interpretar, a sua utilização deve ser reservada a situações particulares. Estas técnicas poderão ser usadas, por exemplo, em fase de desenvolvimento do projecto de reparação/reabilitação da estrutura, em paralelo com a sua modelação numérica, em que os resultados experimentais permitem calibrar alguns parâmetros considerados no modelo.

2. SISTEMA DE GESTÃO

A partir da informação reunida nas fases de inventariação e inspecção das obras, é possível, de acordo com uma metodologia proposta nos E.U.A., pela *Federal Highway Administration* [1], atribuir a cada ponte rodoviária uma classificação relativa à sua Segurança Estrutural, à sua Funcionalidade e à sua Utilidade Pública. Depois, ponderando esses valores de acordo com os pesos indicados na Figura 1, pode ser também determinado um rácio de Eficiência Global.

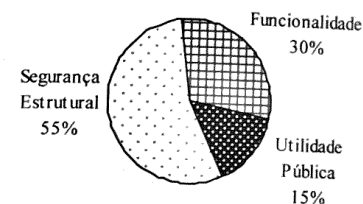


Figura 1: Importância relativa dos rácios de Segurança Estrutural, Funcionalidade e Utilidade Pública, na determinação do rácio de Eficiência Global.

Quanto maiores os níveis de Segurança Estrutural e de Funcionalidade, maior resultará esse rácio de Eficiência Global. Pelo contrário, quanto maior a Utilidade Pública da Ponte, menor será o rácio de Eficiência Global, de forma a traduzir uma maior urgência de actuação sobre a mesma. Assim, o rácio de Eficiência Global pode ser usado para listar as pontes de acordo com as respectivas prioridades de intervenção, o que se reveste de grande utilidade no âmbito da calendarização dos trabalhos a realizar.

Para agilizar a aplicação dessa classificação a um conjunto de pontes rodoviárias portuguesas, foi desenvolvida uma ferramenta informática que se designou por REGpontes [7] e que foi depois utilizada na aplicação da metodologia a um conjunto de pontes portuguesas, no âmbito do estudo a que se faz referência em seguida. Quando, como no caso considerado, as inspecções das várias pontes de um mesmo sistema são realizadas por diferentes entidades, uma ferramenta como a utilizada é fundamental para homogeneizar o tipo de classificação de cada uma das obras e destacar assim as situações mais problemáticas.

3. APLICAÇÃO A UM CONJUNTO DE PONTES RODOVIÁRIAS

Aplicando a metodologia de sistematização e classificação referida anteriormente, foi efectuada uma análise de um conjunto de 40 pontes rodoviárias, inseridas no distrito de Viana do Castelo [7]. Conforme se pode ver na Figura 2, na amostra considerada o principal material estrutural de 25% das pontes é o betão armado. A maioria das pontes consideradas são no entanto em alvenaria de pedra (62%) e uma minoria são metálicas (13%).

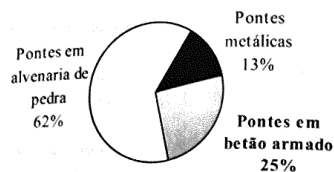


Figura 2: Principal material estrutural das pontes da amostra considerada

Na Figura 3 são apresentadas algumas fotografias de pontes da amostra, em que o principal material estrutural é o betão. Como se pode constatar, a amostra foi escolhida de forma a tentar reunir um conjunto de pontes de características variadas em termos de idades, de funcionamento estrutural, de dimensões e de importância rodoviária.

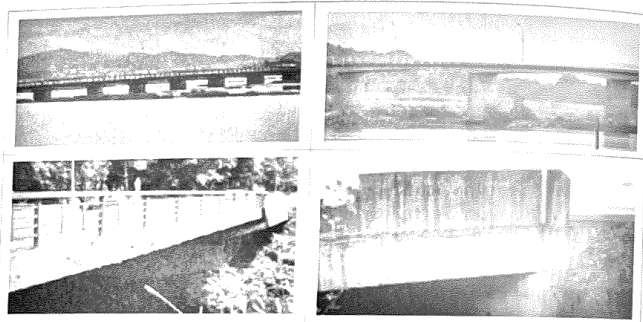


Figura 3: Algumas pontes da amostra, em que o principal material estrutural é o betão.

Na Figura 4 são apresentados os valores médios obtidos no conjunto das pontes, para os parâmetros relativos à Segurança Estrutural e à Funcionalidade das pontes, traduzidos numa escala de 0 a 100%, em que aos maiores valores correspondem maiores níveis de desempenho.

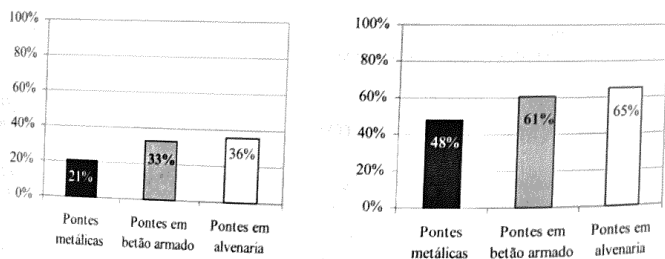


Figura 4: Valores médios, traduzidos em percentagem, relativos aos rácios de Segurança Estrutural (à esquerda) e de Funcionalidade (à direita)

Conforme se pode constatar na análise dos gráficos, as pontes de betão armado apresentam nesses aspectos valores melhores que as pontes metálicas e ligeiramente a baixo das pontes em alvenaria de pedra. Relativamente à funcionalidade, há ainda a destacar o facto de os valores registados em qualquer um dos sub-conjuntos considerados serem bastante baixos, o que denota níveis de resposta inferiores à média estabelecida na metodologia de classificação aplicada [1], que foi desenvolvida especificamente para os Estados Unidos da América. A principal razão dessa insuficiência ao nível da Funcionalidade prende-se sobretudo com deficiências ao nível da circulação rodoviária, como por exemplo a insuficiência da largura das faixas de rodagem face ao volume de tráfego da via, o que resulta sobretudo da elevada idade das obras da amostra. Relativamente à Utilidade Pública, na Figura 5 pode verificar-se que, no conjunto de pontes analisado, as pontes de betão são as que apresentam um maior valor, denotando que as mesmas se encontram, por um lado, em vias de elevada importância viária e estratégica e que, por outro, o seu fecho poderia implicar um extenso desvio rodoviário.

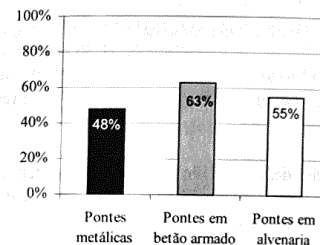


Figura 5: Valores médios, traduzidos em percentagem, relativos ao rácio de Utilidade Pública

Os valores dos rácios de eficiência global obtidos são em média, para cada uma dos três sub-conjuntos relativos aos diferentes materiais estruturais, de 53% para pontes em alvenaria de pedra, de 44% para pontes de betão e de 37% para pontes metálicas, conforme apresentado na Figura 6. Mais uma vez se verifica que, em termos médios, as pontes de betão apresentam uma menor eficiência que as pontes de alvenaria consideradas e uma maior eficiência que as pontes metálicas. Aliás, esse facto seria de esperar desde logo a partir dos resultados apresentados na Figura 2, relativos aos rácios de Segurança Estrutural e de Funcionalidade, os dois rácios com maior importância no cálculo da Eficiência Global, conforme apresentado na Figura 1.

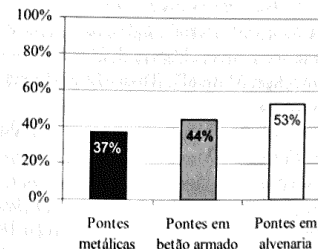


Figura 6: Valores médios relativos aos rácios de Eficiência Global

As principais anomalias registadas nas pontes consideradas resultam sobretudo de deficiências de manutenção, embora em alguns casos seja também necessária a execução de alguns trabalhos de reparação e reforço que permitam melhorar o seu desempenho estrutural e assegurar assim a segurança desejável. A tendência para as pontes metálicas registarem menores valores de eficiência que as pontes de betão e que as pontes de alvenaria, está sobretudo relacionada com a insuficiente reposição dos elementos de protecção do processo de deterioração desse material, que nesses casos é mais exigente no âmbito da manutenção.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em Portugal há muitas pontes próximas do fim da sua vida útil, quer do ponto de vista funcional, quer do ponto de vista estrutural, pelo que é urgente implementar Sistemas de Gestão, como o apresentado nesta comunicação, que permita alertar atempadamente para as situações mais críticas. Dessa forma será possível diminuir a probabilidade de ocorrência de acidentes como os que, infelizmente, se registaram nos últimos anos em Portugal. Para além disso, uma gestão sistematizada ao longo da vida das pontes permitirá otimizar a programação dos trabalhos de conservação e beneficiação, maximizando o rácio custo/benefício das intervenções efectuadas.

A aplicação do sistema de gestão desenvolvido permitiu verificar que as pontes de betão possuem um rácio de eficiência global intermédio entre as pontes de alvenaria e as pontes metálicas que possuem os valores mais baixos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradece-se a colaboração do Instituto de Estradas de Portugal, nomeadamente ao nível da sua delegação do Distrito de Viana do Castelo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] FHWA, U.S. Dep. Transportation - "Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges", *Report N° FHWA-PD-96-001*; 1995.
- [2] Jorge, M. - "As pontes da rede rodoviária", *Infraescavação e durabilidade de pontes - curso de formação avançada*, Guimarães, Portugal; 2003
- [3] Ralls, M. L. - "Bridge Inspection Manual", Texas Department of Transportation; 2003; <http://manuals.dot.state.tx.us/dynaweb/colbridg/ins> (2002).
- [4] Brito, J. - "Normalização de Processos na Inspeção de Pontes", *Segurança e Reabilitação das Pontes em Portugal*, Porto; 2001; 71-79.
- [5] FHWA - "National Bridge Inspection Standards", 1994.
- [6] Hearn, G., Shum, H. - "Integration of Bridge Management Systems and Nondestructive Evaluations", *ASCE - Journal of Infrastructure Systems*, 4(2); 1998; 49-55.
- [7] Almeida, J. - "Gestão de Pontes Rodoviárias. Um modelo aplicável em Portugal", *Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*; 2003.

AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DOS LIMITES DE DEFORMAÇÃO DE PONTES EM PROVAS DE CARGA



D. WISNIEWSKI
Doutorando
UMINHO
Guimarães



P. CRUZ
Prof. Associado
UMINHO
Guimarães



A. HENRIQUES
Prof. Auxiliar
LABEST-FEUP
Porto

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta uma metodologia probabilística para avaliação dos limites de deformação de pontes em provas de carga. A técnica desenvolvida utiliza simulações de Monte Carlo em conjunto com o método dos elementos finitos. A aplicação desta metodologia para a avaliação dos limites de deformação de uma passagem superior de betão pré-fabricado será também apresentada. A comparação dos valores medidos nos ensaios de carga com os obtidos numericamente mostra a eficácia da metodologia.

1. INTRODUÇÃO

As provas de carga em pontes rodoviárias são frequentes e mesmo obrigatórias em muitos países. Os objectivos principais desses ensaios são a avaliação da qualidade de execução das pontes, a verificação das hipóteses de projecto e a avaliação da segurança.

A avaliação do comportamento estrutural por provas de carga consiste basicamente na comparação dos resultados obtidos durante o ensaio, normalmente deslocamentos ou deformações, com os valores numéricos calculados anteriormente. Este método é bastante eficiente, mas pode conduzir à não uniformidade nos limites de aceitação. Este facto deve-se a que todas as variáveis são normalmente consideradas como grandezas determinísticas e o critério de aceitação é, normalmente, o mesmo para todos os tipos de pontes, sem ter em conta os materiais ou a tecnologia utilizada na sua construção. No entanto, quer as propriedades dos