

GESTÃO, INSPECÇÃO E OBSERVAÇÃO DE PONTES

Luís Oliveira Santos

Investigador Principal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, luis.osantos@lnec.pt

Introdução

A conservação de pontes é um assunto que tem vindo a merecer uma atenção crescente face à progressiva consciência dos elevados encargos financeiros associados. O envelhecimento das obras de arte suscitou questões tecnicamente complexas, face à diversidade das deficiências despontadas, provenientes das mais diversas causas. Este facto, para além da inevitável revisão dos procedimentos seguidos no âmbito da conservação de pontes trouxe novas exigências para o projecto de novas construções, parte delas expressas por via regulamentar (Carvalho, 2006; Wium, 2007).

Na realidade, a conservação de uma ponte não pode dissociar-se da qualidade do seu projecto e da construção. Com efeito, parte significativa das anomalias que ocorrem ao longo da vida das obras de arte tem origem em erros de projecto ou de execução. Para além disso, o projecto pode minimizar e facilitar os trabalhos de conservação através de medidas tão diversas como a escolha adequada das características dos materiais, a previsão de acessos para inspecção ou a definição de uma drenagem eficiente.

Por outro lado, tornou-se evidente a necessidade da realização de trabalhos de manutenção ou mesmo de reabilitação, como forma de aumentar a longevidade das obras e minimizar os riscos de acidente. Tornou-se também claro que a adopção de medidas de manutenção permite, em muitos casos, prevenir anomalias que implicam, muitas vezes, onerosos trabalhos de reparação e restrições à utilização da obra de arte.

Face ao exposto, tornou-se evidente aos olhos dos donos de obras a necessidade de proceder a uma gestão racional do seu parque de obras, identificando atempadamente os problemas mais urgentes, permitindo a sua hierarquização e a utilização mais racional dos recursos disponíveis, necessariamente limitados. Surgiram assim os designados sistemas de gestão de obras de arte. Um interessante resumo da evolução da política de gestão de pontes pode ser consultado em Marecos (1987), enquanto que Branco e Brito (2004) apresentam uma panorâmica geral da implementação dos sistemas de gestão de pontes na Europa e na América do Norte.

No presente trabalho referem-se, inicialmente, os princípios gerais comuns à generalidade dos sistemas de gestão de pontes. Referem-se seguidamente algumas das principais questões associadas à realização de inspecções, elemento essencial da avaliação estrutural de uma obra de arte. Inclui-se também uma apresentação, necessariamente muito breve, de algumas das mais correntes anomalias em pontes. Por fim referem-se as técnicas de observação e ensaio *in situ*, tendencialmente integradas na gestão de obras de arte, uma vez que possibilitam um conhecimento mais profundo do comportamento de uma estrutura, e conseqüentemente a obtenção de informação que permitirá a detecção precoce de anomalias estruturais bem como o esclarecimento de dúvidas suscitadas no âmbito das inspecções realizadas.

Sistemas de Gestão de Pontes

A gestão criteriosa de um parque de pontes tem como principais objectivos a segurança estrutural, a minimização dos custos de conservação, a racionalização dos meios disponíveis e o prolongamento da vida útil das pontes, o que para além das vantagens económicas se revela também conveniente tanto do ponto de vista ambiental como da preservação do património. A referida gestão compreende a recolha e tratamento de informação relativamente ao estado de conservação de cada obra, a realização de trabalhos de manutenção e de reabilitação e, eventualmente, a sua reconstrução ou substituição.

As informações relativas a cada obra devem incluir os elementos de projecto e da construção, para além do seu estado de conservação, devendo ser actualizadas através da realização de inspecções periódicas e sistemáticas. Estas inspecções devem detectar as componentes que necessitam de trabalhos de manutenção ou de reabilitação, incluindo os trabalhos que devam ser efectuados de forma preventiva tendo em vista a preservação da funcionalidade e das condições de segurança da obra.

A utilidade da informação recolhida só pode ser garantida através da sua adequada gestão, actualmente muito facilitada graças ao enorme desenvolvimento dos meios informáticos, possibilitando a criação de bases de dados com toda a informação relevante disponível relativamente a cada obra: localização, características, projecto, relatórios das inspecções, trabalhos de conservação efectuados, a estimativa dos custos das intervenções necessárias, para além da identificação dos diversos intervenientes.

Para que o sistema apoie de forma adequada a tomada de decisões sobre a afectação dos recursos disponíveis para realização de trabalhos de conservação das diversas obras de arte é necessário que, para além dos custos associados a esses trabalhos, possibilite uma hierarquização das deficiências existentes, em termos da sua gravidade bem como da complexidade e urgência da sua reparação. Essa hierarquização só é possível com uma classificação tão objectiva e uniforme quanto possível relativamente deficiências detectadas nas diversas obras de arte. Nesse sentido é indispensável que o sistema de gestão defina claramente os procedimentos a adoptar no âmbito de uma inspecção, listando os pontos a analisar, identificando as principais anomalias e definindo critérios para a sua classificação. O bom êxito desta tarefa passa ainda pelo estabelecimento das qualificações dos inspectores e pela sua adequada formação.

Os sistemas de gestão de pontes implementados ou em vias de implementação um pouco por todo o mundo são pois sistemas de apoio à decisão que através do recurso a meios informáticas que efectuam a compilação e tratamento da informação disponível, incluindo também a definição clara dos procedimentos, nomeadamente através da edição de um conjunto de manuais, a definição da qualificação necessária à realização das inspecções e a realização de acções de formação (Branco, 2004; Casas, 2006; Krieger, 2007; Mendonça, 2002; Thompson, 2004).

Em Portugal as entidades com maiores responsabilidades ao nível da gestão de obras de arte, a Estradas de Portugal (EP-EPE), com mais de 5000 obras de arte, a REFER, Rede Ferroviária Nacional, com cerca de 2200 pontes (Silva, 2006), e a BRISA, concessionária de auto-estradas, com mais de 1500 obras de arte, têm dedicado uma atenção crescente a esta questão. Neste contexto o LNEC tem desenvolvido uma colaboração profícua com a EP-EPE no âmbito de um Protocolo de Apreciação, Acompanhamento e Aconselhamento do Sistema de Gestão da Conservação de Obras de Arte desta entidade.

Inspecção de pontes

A inspecção de pontes é uma actividade que exige uma rigorosa sistematização, um adequado planeamento e uma cuidadosa execução. Estas características associadas à grande importância que desempenham no âmbito da conservação destas estruturas tem dado origem à publicação de diversos documentos orientadores (CEB-FIP, 1998; FHWA, 2004; FIB, 2003; IPR, 2004).

É usual a classificação das inspecções de acordo com os seus objectivos, sendo corrente a existência de inspecções de rotina, principais, especiais e subaquáticas (Marecos, 1987). A cada tipo de inspecção correspondem diferentes periodicidades, meios de acesso, equipamento e exigências de qualificação dos inspectores.

O inventário de uma obra de arte deve reunir toda a informação relevante sobre essa obra, incluindo os elementos de projecto, dados sobre a sua construção e demais intervenções ocorridas a longo da sua história. O inventário deverá também incluir o levantamento *in situ* do que efectivamente existe em obra.

As inspecções de rotina estão associadas à avaliação do estado de manutenção das obras de arte, podendo desencadear a execução de trabalhos de manutenção ou, no caso de serem detectadas deficiências de maior vulto, dar lugar a uma inspecção principal. A frequência da sua realização deve ser bastante superior à das inspecções principais, sendo corrente uma periodicidade de doze meses.

As inspecções principais têm como objectivo o despiste de anomalias que comprometam o desempenho de uma ponte. No âmbito destas inspecções está a identificação das anomalias e das suas causas, a sua quantificação, a previsão da sua evolução e a indicação dos métodos de reparação, que deverão ser objecto de um projecto específico. Deverão ser efectuadas em intervalos máximos de cinco anos, quando for considerado conveniente por uma inspecção de rotina ou na sequência de um acidente de qualquer tipo que ponha dúvidas sobre a manutenção da qualidade estrutural da obra. No caso de persistirem dúvidas sobre a origem, gravidade ou consequência das anomalias, uma inspecção principal pode dar origem a uma inspecção especial.

As inspecções especiais não têm carácter periódico sendo realizadas na sequência de uma inspecção principal, após a identificação de uma anomalia cujo estudo mais cuidado se considera importante. Estas inspecções podem incluir a realização de trabalhos muito específicos como a recolha de amostras para realização de ensaios físicos e químicos de caracterização dos materiais ou recurso a técnicas de observação do comportamento estrutural incluindo a realização de ensaios de carga.

As inspecções subaquáticas são altamente especializadas, de custos elevados, constituindo, contudo, um importante meio de controlo de uma das mais frequentes causas de ruína de pontes: a infra-escavação das fundações provocada pela erosão (Ramos, 2006). Deve pois estabelecer-se de forma criteriosa a necessidade de realizar este tipo de inspecções que não deve ser descurada sempre que as fundações estejam muito expostas à acção do escoamento ou quando ocorrerem alterações significativas no leito do rio. A periodicidade máxima destas inspecções não deverá exceder os cinco anos (FHWA, 2004).

Em qualquer das inspecções mencionadas é de grande importância o seu planeamento. Este deverá incluir a consulta dos elementos disponíveis sobre a obra em causa, designadamente, os relatórios de anteriores inspecções, a escolha do equipamento adequado e a garantia dos meios de acesso suficientes, sendo em alguns casos necessário recorrer a meios especiais de acesso.

Principais anomalias em pontes

A relação de possíveis anomalias em pontes é extensa e constitui, por si só, matéria que justifica a elaboração de um manual. Essas anomalias podem ser agrupadas de acordo com o tipo de obra e componente, o que naturalmente facilita a sua consideração no decurso de uma inspecção. Relativamente a cada anomalia é importante a identificação da sua causa e caracterização da sua evolução, pois só assim se torna possível a compreensão da sua gravidade e a escolha da melhor forma de proceder à sua reparação.

Comportamento global da superestrutura

No comportamento global da superestrutura a anomalia mais comum é a deformação excessiva dos tabuleiros, normalmente em resultado do comportamento diferido dos materiais. A forma mais comum de resolver esta situação é através da aplicação de pré-esforço exterior, que é particularmente simples quando prevista no projecto inicial.

O desaprumo dos pilares ou a vibração excessiva da estrutura são outros problemas que podem ser incluídos neste grupo.

Deterioração dos elementos em betão

Entre as anomalias que mais usualmente surgem em elementos de betão podem referir-se a carbonatação, a fendilhação, a segregação ou a ocorrência de eflorescências e de reacções expansivas. Nas estruturas de betão armado assume particular importância a corrosão das armaduras.

A carbonatação do betão consiste na formação de carbonato de cálcio resultante da reacção química entre o hidróxido de cálcio, um dos componentes do cimento, com o dióxido de carbono, contido no ar ou na água. Com a carbonatação do betão verifica-se uma significativa diminuição do pH. A principal consequência decorrente deste facto é a despassivação das armaduras, isto é, uma diminuição da protecção conferida pela elevada alcalinidade do betão, criando condições para a ocorrência de corrosão. O seu despiste pode ser facilmente efectuado através de uma solução de fenolftaleína.

A fendilhação é provavelmente a deficiência mais comum em estruturas de betão. A relevância da fendilhação depende das suas dimensões, nomeadamente da abertura e profundidade, da sua evolução e da sua origem, que pode ser muito diversa. Com efeito, a fendilhação pode ser causada por deficiências de fabrico, aplicação ou cura do betão, por assentamentos de apoio, ataques químicos, variações de temperatura, retracção ou fluência do betão e por acções não consideradas no projecto, sendo possível, neste último caso distinguir a fendilhação devida à flexão da que ocorre junto aos apoios por efeito do esforço transversal. Como consequências da fendilhação pode referir-se a diminuição da secção resistente, a diminuição da capacidade resistente ao esforço transversal, a aceleração do processo de carbonatação e a corrosão das armaduras, uma vez que facilita as infiltrações de água.

As reacções expansivas do betão resultam da ocorrência de reacções entre os álcalis existentes na solução intersticial do betão e a sílica dos agregados. Os produtos desta reacção são de natureza expansiva e originam importantes tensões no betão (Silva, 2006). O desenvolvimento destas reacções é condicionado pela existência de agregados reactivos, pela concentração suficientemente elevada de iões alcalinos na pasta e por condições ambientais favoráveis (humidade, ciclos de molhagem-secagem), pelo que a sua progressão pode ser retardada através da pintura do betão.

A corrosão das armaduras consiste na destruição do metal através de reacções químicas e electroquímicas que repõem o metal no estado em que se encontra na natureza (óxidos, hidróxidos, carbonatos), num processo em que a água e o oxigénio têm a maior relevância. Os efeitos da corrosão das armaduras manifestam-se através de manchas superficiais causadas pelos produtos da corrosão (Figura 1), bem como pela fendilhação e destacamento do betão envolvente. A redução da secção das armaduras resultante da corrosão (Figura 2) tem óbvias consequências em termos de diminuição da resistência.

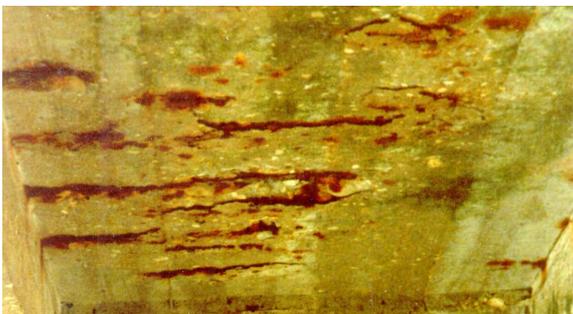


Figura 1 – Manchas superficiais devidas à corrosão



Figura 2 – Armaduras fortemente corroídas

Deterioração dos elementos em aço

As anomalias mais comuns nos elementos de aço são a corrosão, a fendilhação devida à fadiga e a existência de elementos estruturais deformados.

A corrosão em elementos metálicos é agravada pela presença de detritos decorrentes do próprio tráfego e de outros agentes agressivos ambientais, podendo reduzir de forma drástica a capacidade resistente dos elementos estruturais (Figura 3). Uma referência é devida para a possibilidade de, em elementos sujeitos a tracções elevadas, ocorrer a denominada corrosão sob tensão.



Figura 3 – Perfil com a alma destruída pela corrosão

A fendilhação devida à fadiga ocorre preferencialmente em estruturas sujeitas a cargas repetidas que provoquem fortes variações de tensão. Os pontos mais vulneráveis são aqueles onde existam concentrações de tensões, como pontos de descontinuidade, em zonas atacadas pela corrosão ou em elementos estruturais com excessiva vibração. A detecção oportuna deste tipo de anomalia é da maior importância, uma vez que pode dar origem a uma rotura frágil.

A existência de elementos deformados está normalmente associada a cargas excessivas. Em peças traccionadas essas deformações manifestam-se através de alongamentos e diminuição da secção transversal; em peças comprimidas, através da sua encurvadura.

Deterioração dos elementos em alvenaria

Apesar da sua conhecida longevidade, os elementos de alvenaria têm alguns problemas específicos (Martins, 2006). O mais comum é o deficiente preenchimento das juntas entre blocos (Figura 4), normalmente causado pela circulação de água em virtude de sistemas de drenagem ou impermeabilizações ineficazes. Outras anomalias correntes são a delaminação dos blocos, devida a condições ambientais severas, à acção de contaminantes ou ao crescimento de vegetação, e a ocorrência de fendas, causadas, por exemplo, por assentamentos do solo ou impulsos do terreno.



Figura 4 – Deficiente preenchimento das juntas dos blocos de alvenaria

Aparelhos de apoio

Os aparelhos de apoio, tal como as juntas de dilatação, são órgãos mecânicos previsivelmente com uma vida útil inferior à da estrutura, que carecem de manutenção regular. São por isso elementos que devem merecer particular atenção no âmbito de uma inspecção ou de uma campanha de manutenção.

Entre as anomalias dos aparelhos de apoio referem-se aparelhos em neoprene com distorção excessiva, esmagados ou descolados, aparelhos móveis com chapas de teflon soltas, bloqueados ou fora de campo (Figura 5), corrosão dos aparelhos (Figura 6), esmagamento dos berços, existência de detritos ou vegetação, deficiente drenagem do tardo e a fractura do betão sob o aparelho de apoio.



Figura 5 – Aparelho de apoio bloqueado



Figura 6 – Corrosão num aparelho de apoio

Juntas de dilatação

São diversos os tipos de junta de dilatação utilizados, constituídas normalmente em metal ou neoprene. Entre os problemas que afectam o seu desempenho podem referir-se as restrições do movimento causadas por detritos ou pelo esgotamento do campo, a falta de drenagem, o desnivelamento, juntas desapertadas ou com os ferrolhos partidos, juntas em pente com os dentes encavilados, juntas corroídas ou com material de selagem e enchimento destacado.

Fundações, encontros e taludes

O estado de conservação das fundações, bem como dos encontros e respectivos é por demais evidente. Entre as deficiências mais correntes pode referir-se a ocorrência de assentamentos das fundações, o escorregamento ou ravinamento dos taludes e a erosão. A erosão junto aos pilares e encontros (Figura 7) merece uma referência particular, uma vez que pode dar origem a roturas frágeis. Trata-se de um fenómeno de difícil controlo, dada a sua complexidade, que é objecto de estudos especializados (Couto, 2005; Ramos, 2006).

A fendilhação dos muros dos encontros pode indiciar a ocorrência de assentamentos das fundações ou resultar do impulso do terreno (Figura 8).



Figura 7 – Erosão junto ao pilar e encontro



Figura 8 – Ruína de muro de avenida

Outros elementos

No âmbito de uma inspecção, para além das anomalias estruturais, devem ser assinaladas anomalias diversas, designadamente as relacionadas com a segurança do tráfego rodoviário, ferroviário ou pedonal. Refere-se, ainda, a existência de elementos, sem qualquer função estrutural, cujo estado de conservação deve merecer grande atenção pela importância que têm na preservação dos elementos estruturais. Referem-se, a título de exemplo, o revestimento de betuminoso, pela impermeabilização que confere, e a drenagem das águas pluviais.

Observação do comportamento estrutural de pontes

A observação do comportamento de uma estrutura é uma forma privilegiada de avaliação do seu desempenho, com base em valores directamente medidos *in situ*, permitindo a verificação das teorias de comportamento estrutural consideradas na modelação e na análise dessa estrutura, bem como a detecção, em tempo oportuno, de eventuais deficiências estruturais.

A observação do comportamento estrutural de pontes, constitui uma actividade com longa tradição em Portugal, nomeadamente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), e que mantém grande intensidade, dado o elevado número de obras observadas nos últimos vinte anos. Os primeiros trabalhos neste domínio efectuados pelo LNEC foram apresentados internacionalmente por Rocha (1955) e referem-se, entre outros, às observações de uma ponte em arco sobre o rio Sousa, da ponte de Santa Clara, em Coimbra, constituída por cinco tramos contínuos, e da ponte de Vala Nova, uma obra com três tramos contínuos em betão armado pré-esforçado. Posteriormente, merecem uma referência particular os estudos efectuados na ponte da Arrábida (Marecos, 1963) e na ponte 25 de Abril (Marecos, 1969).

A observação do comportamento estrutural é uma actividade que muito tem beneficiado com o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, suscitando um crescente interesse internacional. A sua utilidade tem dado origem a uma tendência para a sua progressiva integração na gestão de obras de arte (Kiviluoma, 2006 e 2007).

Embora as grandezas observadas e os equipamentos utilizados sejam, de uma forma geral, comuns, na observação de pontes distinguem-se, normalmente, as fases correspondentes ao acompanhamento da construção, à realização de ensaios de carga e à observação em serviço, numa perspectiva de médio ou longo prazo.

Observação a longo prazo

A observação do comportamento estrutural processa-se em geral a partir do início da sua construção, particularmente quando se trata de estruturas de betão, em que existe a necessidade de se colocarem equipamentos de medida no interior das secções antes da sua betonagem. Tal implica um conhecimento adequado do processo construtivo, e a subordinação ao ritmo imposto pelas actividades da construção. Embora nesta fase da vida de uma estrutura possa existir uma maior ou menor interacção entre as actividades de instrumentação, do controlo de produção, da responsabilidade do construtor, e de fiscalização, da responsabilidade do dono de obra, a instrumentação realizada é normalmente paralela ao desenvolvimento do próprio sistema construtivo e visa em especial o controlo da segurança estrutural no final da construção, pela realização de provas de carga estáticas e dinâmicas, e a observação e análise do comportamento estrutural em serviço, por um período mínimo de cerca de dez anos, por forma a concluir da manutenção da segurança e da qualidade estrutural exigidas para a obra em causa.

Na observação ao longo do tempo das pontes de betão armado pré-esforçado assumem particular relevo os efeitos estruturais do comportamento diferido dos materiais que se traduzem no aumento das deformações, em perdas de pré-esforço e em redistribuições de esforços. O aumento das deformações revela-se, por vezes, significativo, sendo necessário que o projectista verifique a sua admissibilidade e o considere no dimensionamento de apoios e de juntas de dilatação. A redistribuição de esforços, que assume particular importância em estruturas cuja configuração sofre alterações ao longo da construção, tem de ser devidamente acautelada de forma a garantir que após a sua ocorrência se mantenham as condições de segurança regulamentares, designadamente em termos de estados limites de fendilhação, atendendo às suas consequências no que se refere à durabilidade (Santos, 2002).

Com o desenvolvimento dos meios de cálculo e com o grande incremento do número de obras construídas, a observação de pontes, tanto durante a construção como a longo prazo, é, normalmente, efectuada em situações consideradas relevantes, quer pela importância ou complexidade das obras, quer pela sua dimensão.

Ensaio de carga

As estruturas instrumentadas durante a construção visando a observação a longo prazo são normalmente sujeitas a ensaios de carga no final da construção, permitindo verificar o seu comportamento bem como as condições gerais de segurança antes da sua entrada em serviço e obter importantes estados de referência necessários à verificação futura da manutenção da qualidade estrutural adquirida durante a construção. No entanto, a realização de ensaios de carga não se verifica apenas no contexto da observação do comportamento estrutural iniciado durante a construção, sendo frequente em estruturas de dimensões consideráveis ou mesmo correntes a realização de ensaios de carga no final da sua construção e antecedendo a entrada em serviço. Estes ensaios, estreitamente ligados aos processos de recepção provisória e definitiva das construções, são também referidos como ensaios de recepção.

Os ensaios poderão ter uma componente estática e uma componente dinâmica. Os ensaios estáticos têm como objectivo o estudo do comportamento da estrutura quando solicitada por sobrecargas significativas, normalmente materializadas por camiões ou comboios carregados. Durante a sua realização são usualmente medidos deslocamentos verticais, rotações, extensões, temperaturas e, quando é o caso, as forças instaladas em tirantes. Os ensaios dinâmicos baseiam-se fundamentalmente na medição de acelerações e visam a identificação das principais características dinâmicas, designadamente, a frequência e configuração dos principais modos de vibração (Rodrigues, 2005).

Apesar da maioria dos ensaios de carga se realizarem antes das construções entrarem em serviço, por vezes recorre-se igualmente a ensaios de carga em estruturas acidentadas ou necessitando de reparação ou reforço estrutural. Neste caso, e após a necessária reavaliação do projecto inicial, a realização prévia de provas de carga contribui de forma significativa para a avaliação estrutural da obra de arte em causa, complementando a informação proveniente das inspecções efectuadas e permitindo fundamentar de forma mais completa as decisões consequentes. Finalmente, durante e após as tarefas de reparação ou reforço, é da maior utilidade efectuar uma verificação experimental da eficácia dos trabalhos realizados.

Na Figura 9 apresentam-se imagens dos ensaios de carga do Viaduto Ramalho Ortigão, em Lisboa, realizados antes e após as obras de reabilitação.



Figura 9 – Ensaio de carga do Viaduto da Rua Ramalho Ortigão em Lisboa

Técnicas e equipamentos de medição *in situ*

A escolha das técnicas e equipamentos de observação tem de atender às difíceis condições que se verificam numa ponte, tanto durante a construção como em serviço, e que são fortemente perturbadoras na realização de medições *in situ*. Devem, assim, possuir elevada robustez e

estabilidade, devendo-se recorrer a um elevado grau de redundância, de forma a se poder concluir, com razoável confiança, da qualidade dos resultados dessas medições.

Em geral utilizam-se simultaneamente técnicas e equipamentos de diferente grau de sofisticação, combinando-os de forma a melhor tirar partido das vantagens relativas de cada um. Existem diversos tipos de aparelhos disponíveis para utilização na observação de pontes, nomeadamente, mecânicos, ópticos, térmicos, acústicos, indutivos, eléctricos de resistência e de fibras ópticas.

Os aparelhos mecânicos e a generalidade dos ópticos são normalmente amovíveis, operando sobre bases de referência solidárias com a estrutura, constituindo uma solução económica. Em geral, tratam-se de aparelhos de elevada sensibilidade e exactidão, mas de leitura demorada e exigindo grande intervenção do operador (Figura 10).

Os restantes aparelhos, de uma forma geral, permitem que as suas leituras sejam realizadas de forma automática (Figura 11) através de *loggers* (Figura 12). Esta apresenta grandes vantagens, permitindo a aquisição quase simultânea das leituras com registo contínuo ou periódico, com tratamento informático dos resultados e com capacidade de comunicação à distância com um gabinete de estudos, por exemplo, através de modem GSM ou da Internet. As vantagens dos sistemas automáticos de leitura e registo tornam preferencial a utilização de equipamentos que possam ser lidos desta forma.



Figura 10 – Medição de rotações com clinómetro mecânico



Figura 11 – Medição de rotações com clinómetro eléctrico



Figura 12 – Data logger em obra

Considerações finais

Uma adequada política de gestão de pontes, privilegiando a prevenção, através do conhecimento contínuo do seu estado de conservação e da implementação das necessárias operações de manutenção permite uma efectiva minimização de custos de conservação, contribuindo de forma significativa para a preservação da segurança estrutural das obras de arte.

Os sistemas de gestão de pontes são um instrumento de apoio à decisão de grande potencial que, através do recurso a meios informáticos, permitem a criação de bases de dados para arquivo e tratamento de toda a informação relativa a um parque de obras de arte, tornando, assim, possível uma maior racionalização dos recursos disponíveis

As inspecções são um elemento fundamental no âmbito da conservação de obras de arte, permitindo um conhecimento real do estado de cada estrutura, identificando deficiências, desencadeando a realização de tarefas de manutenção ou de reabilitação necessárias para a preservação da sua funcionalidade e segurança. Para atingirem os seus objectivos as inspecções deverão ser adequadamente preparadas e executadas de forma cuidadosa e sistemática por técnicos qualificados.

A observação do comportamento de uma estrutura permite aprofundar de forma significativa o conhecimento do seu desempenho. A sua utilização em obras novas assume um carácter preventivo, na medida em que permite antecipar a ocorrência de anomalias, fornecendo preciosas informações para a sua resolução. Em obras onde se tenham detectado deficiências, a

realização de ensaios ou a monitorização de uma estrutura permitirá uma melhor fundamentação das decisões a tomar relativas à sua reabilitação e, após a sua concretização, a verificação experimental da eficiência das soluções implementadas.

A gestão de pontes é uma matéria complexa e interdisciplinar, com um grande potencial de desenvolvimento, que vem merecendo uma atenção crescente do meio técnico e científico, constituindo a sua implementação um estimulante desafio.

Referências

- Branco, Fernando; Brito, Jorge (2004) – *Handbook of Concrete Bridge Management*, ASCE.
- Casas, Joan (2006) – “Bridge management: actual and future trends”, *Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost*, Proc. of IABMAS'06, Porto, 21-30, Balkema.
- Carvalho, E. C. (2006) – “Eurocódigos estruturais”, *Encontro Nacional Sobre Qualidade e Inovação na Construção - QIC2006*, LNEC, 17-24.
- CEB-FIP (1998) – *Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures*, Bulletin 243.
- Couto, Lúcia (2005) – *Erosões localizadas junto de esporões fluviais e encontros de pontes*, TPI 36, LNEC, Lisboa.
- Cruz, Paulo (2006) – “Linhas orientadoras de uma política de manutenção, conservação e inspeção de pontes”, *4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas*, LNEC.
- FHWA, Federal Highway Administration (1995) – *Bridge inspector's training manual*, US Department of Transportation, Washington DC.
- FHWA, Federal Highway Administration (2004) – *National Bridge Inspection Standards*, US Department of Transportation, Washington DC.
- FIB (2003) – *Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures*, Bulletin 22.
- Fernandes, J. Almeida; Santos, L. Oliveira (2003) – “A experiência do LNEC na observação e controlo da segurança de pontes”, *Encontro Nacional de Geodesia Aplicada*, LNEC.
- Graybeal, Benjamin; Phares, Brent; Rolander, Dennis; Moore, Mark; Washer, Glenn (2002) – “Visual Inspection of Highway Bridges”, *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 21, No. 3, pp. 67-83, September 2002.
- IPR, Instituto de Pesquisas Rodoviárias (2004) – *Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias*, IPR-709, Rio de Janeiro.
- Kiviluoma, Risto (2006) – “Integrating bridge health monitoring into bridge management”, *Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost*, Proc. of IABMAS'06, Porto, Balkema.
- Kiviluoma, Risto (2007) – “Automation Based Structural Systems for Ordinary Bridges”, *IABSE Symposium on Improving Infrastructure Worldwide*, Weimar, Germany.
- Krieger, J.; Holst, R. (2007) – “Inspection, Monitoring and Management of Bridges on Federal Roads in Germany”, *IABSE Symposium on Improving Infrastructure Worldwide*, Weimar, Germany.
- Marecos, José (1963) – *Arrábida Bridge. Observation of the structure*, Monograph, LNEC.
- Marecos, José (1987) – *Gestão de Pontes. Programas de acção nos domínios da formação, da divulgação e da investigação. Sugestões e Reflexões*, Relatório 270/87-NOE, LNEC.

- Marecos, José; Castanheta, Mário; Trigo, J. Teixeira (1969) – “Field Observation of Tagus River Suspension Bridge”, *J. Struct. Division*, ASCE, Vol. 95, No ST4, April 1969, pp 555-583.
- Martins, Fernando (2006) – “Estratégias de manutenção em pontes ferroviárias de alvenaria de pedra”, *4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas*, LNEC.
- Mendonça, Tiago (2002) – “Sistema de gestão de um parque de obras de arte”, *Betão Estrutural 2002*, FEUP, Porto, pp 477-486.
- Ramos, C. Matias (2006) – *Drenagem em infra-estruturas de transportes e hidráulica de pontes*, NS102, 2^a Ed., LNEC, Lisboa.
- Ratay, Robert T. (2005) – *Structural Condition Assessment*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Rocha, M.; Borges, J. Ferry; Marecos, José (1955) – “Observation of some reinforced concrete structures”, *Symposium on the Observation of Structures*, RILEM, Lisbon, pp 729-753.
- Rodrigues, Jorge (2005) – *Identificação Modal Estocástica. Métodos de Análise e Aplicações em Estruturas de Engenharia Civil*, TPI 35, LNEC.
- Santos, L. Oliveira (2002) – *Observação e análise do comportamento de pontes de betão*, Teses e Programas de Investigação, TPI 20, LNEC, Lisboa.
- Silva, A. Santos (2006) – *Degradação do betão por recções Álcalis-silica. Utilização de cinzas volantes e metacaulino para a sua prevenção*, TPI 40, LNEC, Lisboa.
- Silva, Ana Isabel (2006) – “A estratégia da REFER na manutenção das pontes metálicas”, *4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas*, LNEC.
- Thompson, P.D. (2004) – “Bridge management systems: where should we go from here?”, *Bridge Maintenance, Safety, Management and Cost*, Proc. of IABMAS’04, Kyoto, 35-43, Balkema.
- Wium, Jan; Ngab, A.S. (2007) – “A Concrete Code for Africa”, *IABSE Symposium on Improving Infrastructure Worldwide*, Weimar, Germany.