

Monitorização da integridade estrutural do Viaduto Salah Bey em Constantine, na Argélia



L. Oliveira Santos¹



Xu Min²



Carlos Santos³



Tiago Vieira⁴



José Roma⁵

Resumo

O Viaduto Salah Bey em Constantine, na Argélia, é uma estrutura de betão armado pré-esforçado, composta por duas torres e nove tramos, três dos quais suspensos através de tirantes dispostos em semi-harpa. O comprimento total do viaduto é de 756 m, possuindo os tramos atirantados vãos de 119 m, 259 m e 105 m. As torres, constituídas por um fuste único e monolíticas com o tabuleiro, têm uma altura total de cerca de 130 m, metade da qual acima do tabuleiro. A secção transversal do tabuleiro, com uma largura de 27,2 m, é constituída por um caixão com duas almas inclinadas e um banzo inferior com geometria côncava, que é dotado de diafragmas afastados entre si de 7,0 m.

A monitorização do viaduto visou a preservação da sua segurança estrutural e durabilidade, constituindo um importante auxiliar na gestão da infraestrutura. Na sequência dos exigentes requisitos de projeto, o sistema de monitorização instalado inclui diversas vertentes: condições meteorológicas; comportamento estrutural estático, dinâmico e sísmico; durabilidade; e o estudo do comportamento diferido do betão. No final da construção o viaduto foi sujeito a ensaios estáticos e dinâmicos.

Nesta comunicação descreve-se o sistema de monitorização instalado, que compreende mais de 200 sensores, destacando-se os aspetos menos comuns, tanto ao nível dos sensores, como do sistema de aquisição, gestão e transmissão de dados. São também apresentados alguns resultados mais relevantes.

Palavras-chave: Ponte atirantada, Monitorização de integridade estrutural, Análise modal operacional, Comportamento térmico de ponte

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa, Portugal; e-mail: luis.osantos@lnec.pt

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa, Portugal; e-mail: xumin@lnec.pt

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Centro de Instrumentação Científica, Lisboa, Portugal; e-mail: csantos@lnec.pt

⁴ Armando Rito Engenharia; Lisboa, Portugal; e-mail: tiago.vieira@arito.com.pt

⁵ Betoteste – Gabinete de Estudos de Geotecnia, Venda do Pinheiro, Portugal; e-mail: jr@betoteste.pt

1. INTRODUÇÃO

O Viaduto Salah Bey, recentemente construído na cidade de Constantine, na Argélia, é uma obra atirantada de grandes dimensões (Figura 1). Projetada pela empresa dinamarquesa COWI, o Viaduto foi construído pela empresa Andrade Gutierrez, sob a fiscalização da empresa saudita DAR Engineering.

O projeto desta obra de arte incluía umas especificações para a monitorização estrutural e da durabilidade [1], que se caracterizavam por uma grande ambição, requerendo a monitorização de aspetos tão diversos como as condições ambientais, o comportamento estrutural estático, dinâmico e sísmico, para além das questões ligadas à durabilidade. Previa igualmente a utilização de técnicas de medição como sensores em fibra ótica ou de antenas GNSS, a medição automáticas das diferentes grandezas e a disponibilização dos dados *on line*.

A satisfação destes requisitos, associados às especificidades das condições locais, constituiu um interessante desafio, para o qual se estabeleceu uma parceria entre as empresas Betoteste, CêGê, Armando Rito Engenharia e o LNEC.

A instrumentação da obra exigiu, naturalmente, um plano detalhado, para cuja elaboração foi necessária a modelação do comportamento estrutural durante a construção e ao longo da sua vida útil, de forma a permitir a escolha mais adequada da localização dos diversos sensores, bem como os requisitos necessários, designadamente, em termos de precisão e gama de medição. Este plano, que no essencial satisfazia as especificações de projeto, continha algumas alterações, das quais se destaca a inclusão do estudo *in situ* do comportamento diferido do betão, tendo sido aprovado pelo dono de obra, a *Direction des Travaux Publics* da *Wilaya de Constantine*.

A instrumentação decorreu ao longo da construção, tendo sido realizados ensaios de carga estáticos e dinâmicos antecedendo a entrada em serviço da obra de arte.

Nesta comunicação, após uma breve descrição do viaduto, apresenta-se o sistema de monitorização instalado, que compreende mais de 200 sensores, destacando-se os aspetos menos comuns, tanto ao nível dos sensores utilizados, como do sistema de aquisição, gestão e transmissão de dados. São igualmente apresentados alguns resultados mais relevantes, tanto da fase de construção como no período de cerca de dois anos com a obra em serviço.



Figura 1. Vista geral do Viaduto Salah Bey

2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

O Viaduto Salah Bey é uma estrutura de betão armado pré-esforçado, contínua ao longo do seu comprimento total de 756 m. O viaduto é composto por duas torres e nove tramos, três dos quais suspensos através de tirantes dispostos em semi-harpa (Figura 2). O vão do tramo principal é de 259 m, enquanto os tamos adjacentes vencem vãos de 119 m (Norte) e 105 m (Sul).

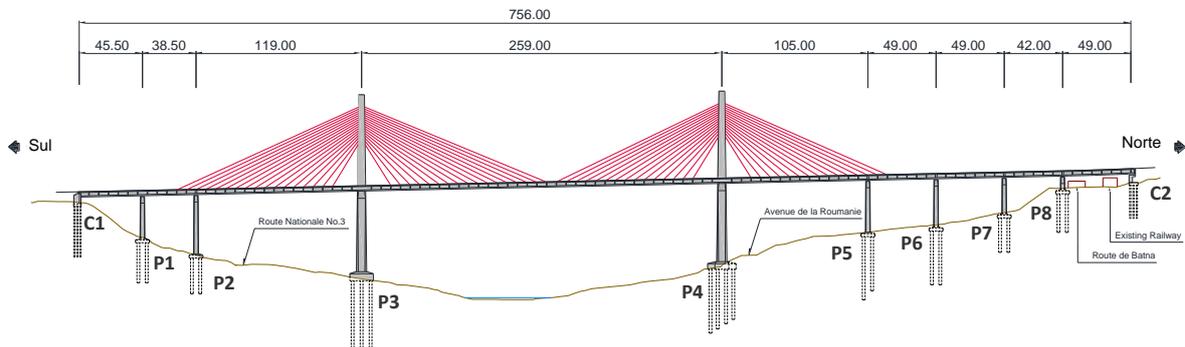


Figura 2. Alçado do Viaduto Salah Bey

O tabuleiro, com uma largura de 27,18 m, possui uma secção transversal em caixão, com uma altura de 3,75 m, constituído por duas almas inclinadas, um banzo inferior com geometria côncava e uma laje superior que se prolonga em consolas laterais com 7,80 m de vão. O tabuleiro está dotado de diafragmas afastados entre si de 7,00 m, que se prolongam pelas consolas laterais, como se pode observar na Figura 3.

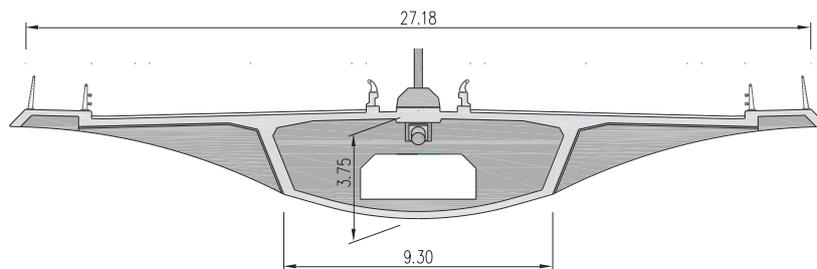


Figura 3. Secção transversal do tabuleiro

As torres são em betão armado, constituídas por um fuste único e monolíticas com o tabuleiro. Possuem uma altura total de cerca de 130 m, metade da qual acima do tabuleiro. Na torre sul (P3) estão ancorados 17 pares de tirantes, enquanto a torre Norte (P4) suporta apenas 15 pares de tirantes.

Os tirantes são constituídos por 32 a 85 cordões auto-protegidos, ancorados na plataforma superior do tabuleiro, com um afastamento de 7 m entre si, suspendendo o tabuleiro pelo seu plano médio.

O apoio do tabuleiro sobre os pilares e os encontros realiza-se através de aparelhos de apoio móveis que permitem a rotação nas direções longitudinal e transversal.

As fundações são indiretas, realizadas através de estacas com diâmetro de 2,0 m, nas torres e nos pilares, e 0,80 m nos encontros.

A construção dos tramos suspensos do tabuleiro da ponte principal foi efetuada por avanços sucessivos em consolas simétricas, a partir das aduelas de encabeçamento das torres, através de aduelas com 3,50 metros, alternando-se a execução de dois pares de aduelas com o tensionamento de um par de tirantes.

3. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL

3.1. Monitorização das condições ambientais

A monitorização das condições ambientais é efetuada através de uma estação meteorológica *Vaisala WXT520* instalada sobre o tabuleiro, que assegura a medição da temperatura, humidade relativa, precipitação e a direção e velocidade do vento. Estas medições são complementadas por um sensor de temperatura e humidade relativa *Vaisala HMP155* colocado no interior do tabuleiro.

3.2. Monitorização do comportamento estático da estrutura

A monitorização do comportamento estático do viaduto compreende a medição de um conjunto diverso de grandezas: deslocamentos verticais do tabuleiro, deslocamentos horizontais no topo das torres, rotações, extensões e temperaturas em diversas secções do tabuleiro e das torres, bem como a medição das forças em diversos tirantes.

A medição dos deslocamentos verticais dos tramos suspensos do tabuleiro está a ser efetuada através de nivelamento hidrostático. Devido à forte pente longitudinal da obra, foram instalados quatro sistemas independentes, cada um constituído por um reservatório com a respetiva célula de referência e por diversas células de pressão (Figura 4), permitindo a medição dos deslocamentos verticais nas secções de meio-vão e de quarto de vão dos três tramos, bem como nas secções de oitavo de vão do tramo principal. Complementarmente, foram instaladas bases de nivelamento nestas secções, bem como nas secções de apoio e meio vão dos restantes tramos do viaduto.

Está também prevista a medição dos deslocamentos verticais e horizontais na secção de meio-vão do tramo principal (montante e jusante) e no topo das duas torres através de quatro antenas de GNSS (*Global Navigation Satellite System*). A precisão necessária será assegurada por um quinta antena, situada em local fixo próximo do encontro C1. Dificuldades de desalfandegação retardam a sua instalação que se prevê ocorra brevemente. A Figura 4 inclui a imagem de uma antena e de dois receptores GNSS preparados para instalar na obra .



Figura 4. Medição de deslocamentos: sistema de nivelamento hidrostático e GNSS

A medição das rotações é realizada através de 11 clinómetros elétricos do tipo gravidade, que permitem a medição automática das rotações em duas direções ortogonais, instalados no interior do caixão nas secções de meio-vão dos tramos suspensos e nas secção de apoio e quarto de vão do tramo principal, bem como na base e no topo das duas torres. Junto a estes clinómetros foram também colocadas bases para a medição de rotações através de clinómetros amovíveis.

Na medição das extensões no interior do betão foram utilizadas duas tecnologias, tendo em vista a sua mútua aferição: extensómetros de corda vibrante e extensómetros em fibra ótica baseados em redes de *Bragg* (Figura 5a). Para compensar o efeito da temperatura no valor da deformação medida pelos extensómetros em fibra ótica, junto a cada um destes sensores foram instalados termómetros em fibra ótica (Figura 5b). A medição de temperaturas no interior do betão foi complementada pelos termístores incorporados nos 23 extensómetros de corda vibrante embebidos na estrutura e por 30 termístores colocados ao longo da espessura das paredes da torre P3 e do tabuleiro (Figura 5c), de forma a caracterizar os gradientes térmicos.

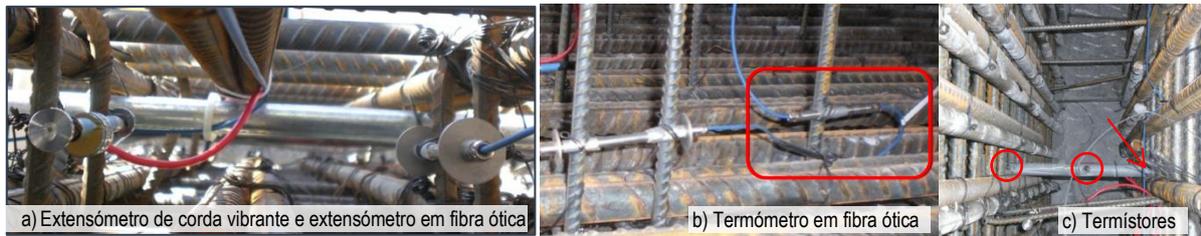


Figura 5. Medição de extensões e temperaturas no interior do betão

A localização da secção da torre P3 (S1) e das três secções do tabuleiro (S2 a S4) instrumentadas com extensómetros e sensores de temperatura está indicada na Figura 6. Nesta figura estão também assinalados os restantes sensores associados à monitorização do comportamento estático, que, para além dos sensores anteriormente referido, compreendem também 12 células de carga monocordão, instaladas pela Freyssinet, tendo em vista a monitorização da força suportada pelos tirantes.

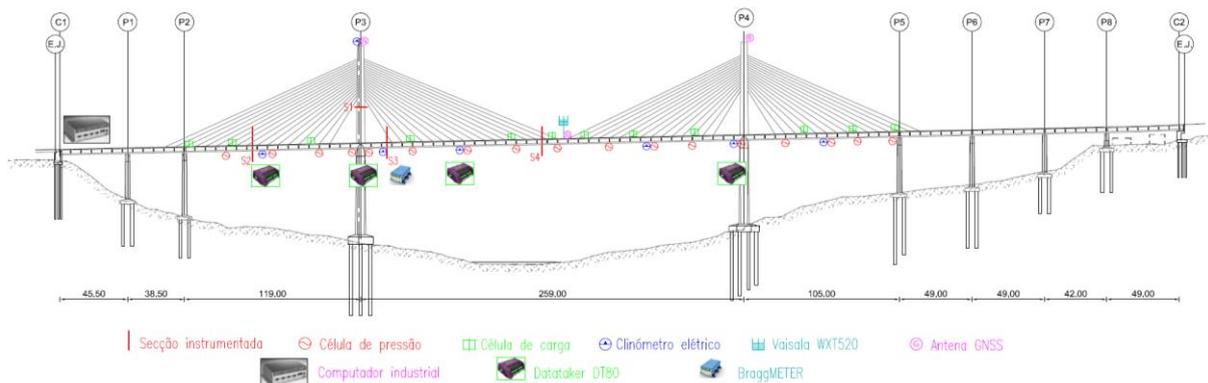


Figura 6. Sistema de monitorização do comportamento estático

3.3. Monitorização do comportamento dinâmico

A medição das vibrações sob excitação ambiente, como o vento ou tráfego, é um procedimento eficaz para a determinação das características dinâmicas da estrutura, que não requer meios externos de excitação, com a vantagem da sua total compatibilidade com o funcionamento normal da obra de arte.

O sistema de monitorização do comportamento dinâmico instalado no Viaduto Salah Bey compreende a medição das acelerações em diferentes secções das torres e do tabuleiro, bem como em sete tirantes do tramo central (Figura 7a). Nas torres, para além do acelerómetro triaxial montado em cada base (Figura 7b), foram também colocados 4 acelerómetros transversais e 4 longitudinais (Figura 7c). No tabuleiro foram instalados 10 acelerómetros verticais, 7 transversais e 4 longitudinais. Nas cinco secções do tabuleiro instrumentadas com acelerómetros verticais foram dispostos dois acelerómetros verticais, um em cada bordo do caixão, de modo quantificar os efeitos de torção.



Figura 7. Medição de acelerações nos tirantes, torres e tabuleiro

Na Figura 8 estão assinaladas as secções instrumentadas das torres e do tabuleiro, assim como os sete tirantes referidos. Nesta figura estão também representados os clinómetros situados na base das torres, no meio-vão do tramo central e no topo da torre P4, bem como os sensores de deslocamento que registam os movimentos das juntas de dilatação e do deslocamento relativo entre o tabuleiro e o pilar P8, que por especificação do projetista estão também a realizar medições em regime dinâmico.

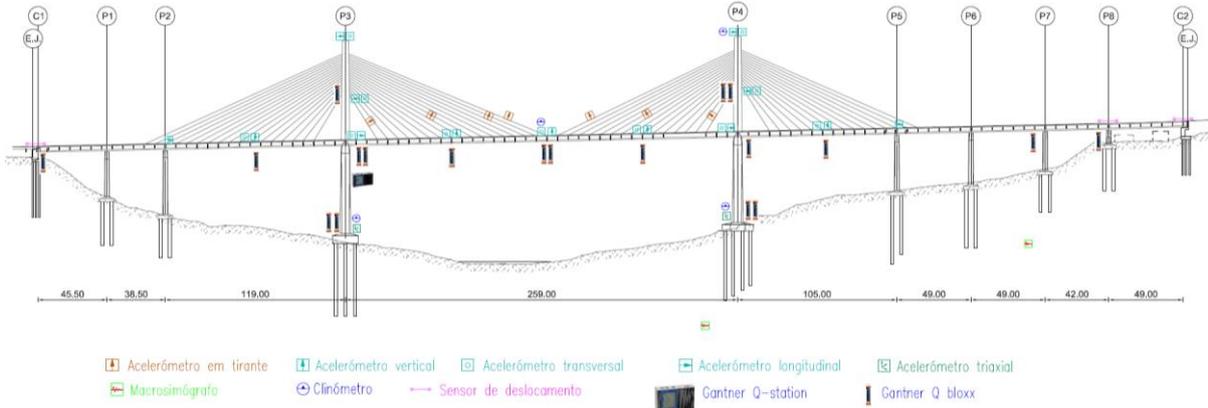


Figura 8. Sistema de monitorização do comportamento dinâmico e sísmico

3.4. Monitorização do comportamento sísmico da estrutura

A relevância da atividade sísmica na Argélia motivou uma atenção especial à caracterização, por um lado, desta ação e, por outro lado, do comportamento da estrutura sob a ação de um sismo. Tendo em vista a caracterização da ação sísmica foram instalados dois macrosismógrafos no solo, próximo da torre P4 e do pilar P7, como representado na Figura 8, separados por uma falha tectónica. A caracterização do comportamento da estrutura é assegurada pelo sistema de monitorização do comportamento dinâmico descrito no item anterior.

3.5. Estudo do comportamento diferido do betão

O estudo do comportamento diferido do betão *in situ* envolveu a execução de 16 provetes, realizados em simultâneo com duas das secções do tabuleiro instrumentadas com extensómetros (S2 e S4), que permanecem na obra de forma a estarem sujeitos às mesmas condições ambientais da estrutura.

O estudo da retração baseia-se nas deformações medidas em 10 provetes termo-higrométricos mantidos em dois ambientes diferentes: 6 no interior do caixão e 4 sobre o tabuleiro. Para o estudo da fluência foram executados seis provetes, três conjuntamente com a secção S2 e outros três com a secção S4, todos mantidos no interior do caixão, de acordo com o procedimento seguido habitualmente pelo LNEC. A Figura 9 é constituída por uma vista do conjunto de provetes mantidos no interior do tabuleiro, junto à secção S4, e pelo registo das extensões medidas nos provetes termo-higrométricos dessa secção, que evidencia as diferenças das extensões medidas nos provetes mantidos no interior do caixão (CR.4.1 a CR.4.3) e sobre o tabuleiro (CR.4.4 a CR.4.5).



Figura 9. Estudo do comportamento diferido do betão: dispositivo experimental e extensões de retração

Este estudo, que necessita de um período de observação mais significativo para ser conclusivo, poderá fornecer indicações importantes relativamente ao comportamento diferido do betão, fabricado e mantido em condições ambientais bem diversas das europeias.

3.6. Monitorização da corrosão

A monitorização da corrosão das armaduras é realizada por um sistema desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para medir simultaneamente a corrente galvânica, a resistividade do betão, o potencial de corrosão e a temperatura.

Para este efeito, foram instrumentadas duas secções: uma secção da torre P3 (S1) e uma secção do tabuleiro (S2). Em cada uma destas secções foi instalado um kit compreendendo um sensor de potencial de corrosão, para detetar a despassivação do aço, bem como dois sensores de medida de corrente galvânica em macro-células e dois sensores de resistência elétrica do betão, para detetar a penetração de agentes agressivos no betão de recobrimento. A instalação de dois sensores destes dois tipos no betão do recobrimento destina-se a realizar medições a duas distâncias da superfície. A medição da temperatura, realizada por termístor, completa o referido kit.

3.7. Sistemas de aquisição e transmissão de dados

A aquisição, processamento e transmissão dos valores medidos pelo equipamento instalado é efetuada de forma automática. Para este efeito foram instaladas diversas unidades de aquisição, dois computadores industriais e equipamento de comunicação.

Atendendo às diferentes exigências estabelecidas, nomeadamente quanto ao tipo de equipamentos e ao ritmo de aquisição foram instalados três sistemas de aquisição: um vocacionado para a monitorização do comportamento estático; um segundo para a caracterização da resposta dinâmica e sísmica da estrutura e um terceiro destinado em exclusivo aos sensores em fibra ótica.

A aquisição estática é assegurada por 4 *loggers* Datalogger DT80G [3] distribuídos ao longo do tabuleiro, como representado na Figura 6, associados a 9 expansores de canais CEM20.

A elevada taxa de aquisição requerida pela monitorização dinâmica e o número de sensores envolvidos motivou a escolha de unidades de aquisição da série Q de *Gantner Instruments* [4], concretamente um conjunto de módulos *Q.bloxx*, instalados ao longo do tabuleiro e das duas torres como representado na Figura 8, controlados por uma unidade central *Q.station*, que também assegura o sincronismo das medições e a transferência de dados para o computador industrial onde está instalado o programa de aquisição dinâmica, desenvolvido pelo LNEC em *LabView* [5][6]. A prevista instalação das antenas GNSS implicará a mobilização dos seus recetores (Figura 4) com o respetivo *software* de aquisição e processamento [6].

A monitorização da resposta dinâmica e sísmica da estrutura é baseada nos mesmos sensores e unidades de aquisição. Os macrosismógrafos instalados no solo são utilizados como *trigger* que, no caso de ocorrência de um sismo, desencadearão um conjunto de ações, designadamente a preservação integral dos dados medidos durante e após o sismo.

As características dos sensores em fibra ótica requerem a utilização de uma unidade de aquisição específica. Nesta obra foi utilizada uma unidade de aquisição *FibserSensing FS2200XT – Extended Temperature BraggMETER*, que permite acomodar quatro canais com uma frequência de aquisição de 100 Hz [7].

A transmissão de dados entre os diferentes componentes do sistema de aquisição é assegurada por uma rede de comunicação local em fibra ótica, com diversos pontos de conexão, que garante um elevado desempenho, muito relevante nesta obra atendendo às grandes distâncias a percorrer e o elevado volume de dados gerados, em particular pelo sistema de monitorização dinâmica e pelo GNSS.

3.8. Processamento automático e base de dados

O sistema de aquisição foi implementado de forma a satisfazer os requisitos estabelecidos pelo projetista, permitindo, designadamente, a sua configuração remota, o armazenamento automático das medições numa base de dados, a disponibilização dos resultados através da internet e a definição de alarmes.

A base de dados utilizada e a respetiva plataforma de visualização de dados multilingue (Figura 10), desenvolvida no LNEC, compreende, para além do armazenamento dos dados e do seu processamento, o arquivo de documentos com informação técnica ou galerias de imagens.



Figura 10. Plataforma *online* de visualização de dados

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Considerações gerais

Do elevado volume de dados adquirido ao longo de mais de três anos decorridos desde a instalação dos primeiros sensores serão apenas apresentados alguns resultados no intuito de ilustrar o tipo de informação obtida.

4.2. Comportamento estático

Entre as diversas grandezas medidas afigura-se particularmente interessante a medição de temperatura, atendendo à elevada amplitude térmica que ocorre em Constantine. Essa amplitude verifica-se tanto em termos diários como sazonais, como se pode observar na Figura 11.

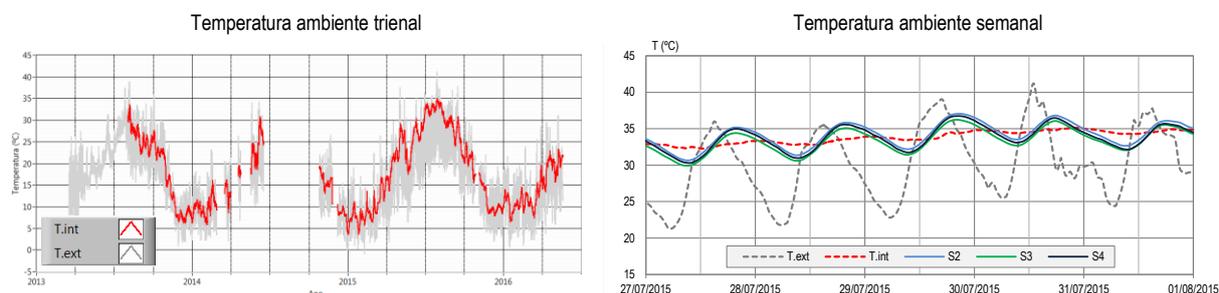


Figura 11. Temperatura do ar e no interior do betão

Com efeito no gráfico da esquerda desta figura, em que estão representadas as temperaturas ambiente medidas com uma periodicidade horária, no interior do caixão e sobre o tabuleiro, verifica-se que as temperaturas exteriores variam desde valores inferiores a 0°C (Jan/Fev 2015) até valores superiores a 40°C (Jul/Ago 2015). As temperaturas medidas no interior do caixão acompanham a evolução sazonal mas com uma maior estabilidade diária, como expectável. Este facto é evidenciado no gráfico da direita, que também inclui as temperaturas medidas nesses dois ambientes ao longo da semana em que foram registadas as temperaturas mais elevadas.

Um último aspeto relevante deste gráfico prende-se com o comportamento térmico do betão, que demonstra uma evolução intermédia entre os dois ambientes a que está exposto mas com uma amplitude mais próxima da que se verifica no interior do caixão.

As extensões medidas no interior do betão na secção S3, localizada junto à torre P3, são apresentadas na Figura 12. Os dois gráficos incluídos nessa figura correspondem às extensões medidas na laje superior e na laje inferior, sendo distinta a evolução das extensões durante a construção (até junho de 2014) e após a entrada em serviço, em que é claro o efeito da sazonalidade.

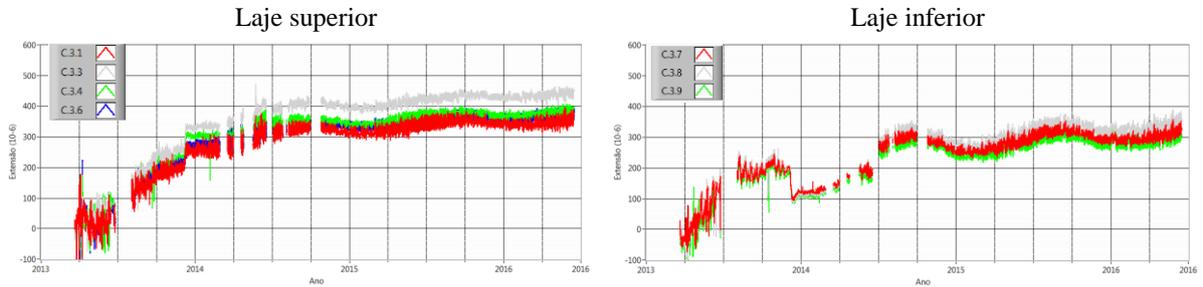


Figura 12. Evolução das extensões do tabuleiro (secção S3)

Na Figura 13 são apresentados os movimentos longitudinais medidos nas duas juntas de dilatação e no topo do pilar P8.

A evolução e a amplitude dos movimentos nas três secções são semelhantes, com uma amplitude anual de cerca de 120 mm, como se pode verificar no gráfico da esquerda. Salienta-se o efeito da sazonalidade dos movimentos longitudinais, com pequenas flutuações devido às variações diárias de temperatura.

A forte correlação entre estes deslocamentos e a temperatura é evidenciada no gráfico da direita da Figura 13, no qual estão representados conjuntamente estes deslocamentos e as temperaturas medidas no interior do betão e no interior do caixão ao longo de um período de dez dias.

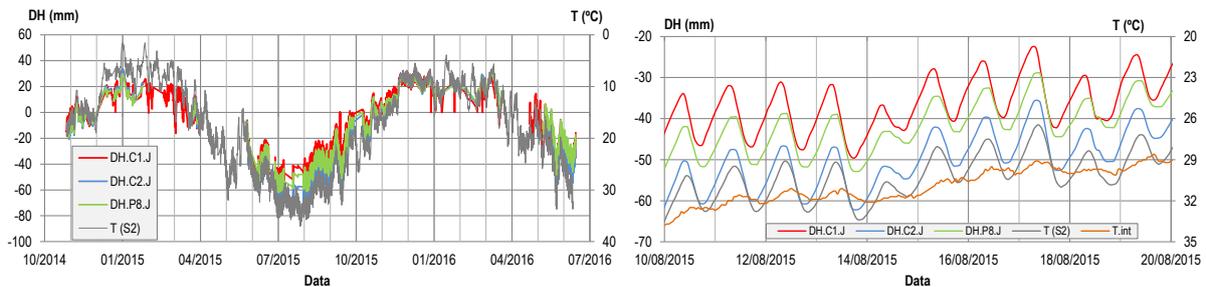


Figura 13. Variação da largura da junta de dilatação e temperatura.

A força dos tirantes é influenciada de forma significativa pela variação da temperatura. Para evidenciar este facto representam-se na Figura 14 os valores das forças medidas nos tirantes mais longos em função da temperatura ambiente. A correlação entre estas duas grandezas é clara e bastante representativa face ao elevado número de medições consideradas ao longo de cerca de dois anos.

4.3. Comportamento dinâmico

Os registos obtidos através do sistema de monitorização contínua são processados no computador local através de uma metodologia de análise modal operacional que permite a automatização do processo da identificação modal [8]. O processamento dos dados é efetuado separadamente de acordo com a sua origem: acelerações verticais e longitudinais; acelerações transversais; e acelerações dos tirantes.

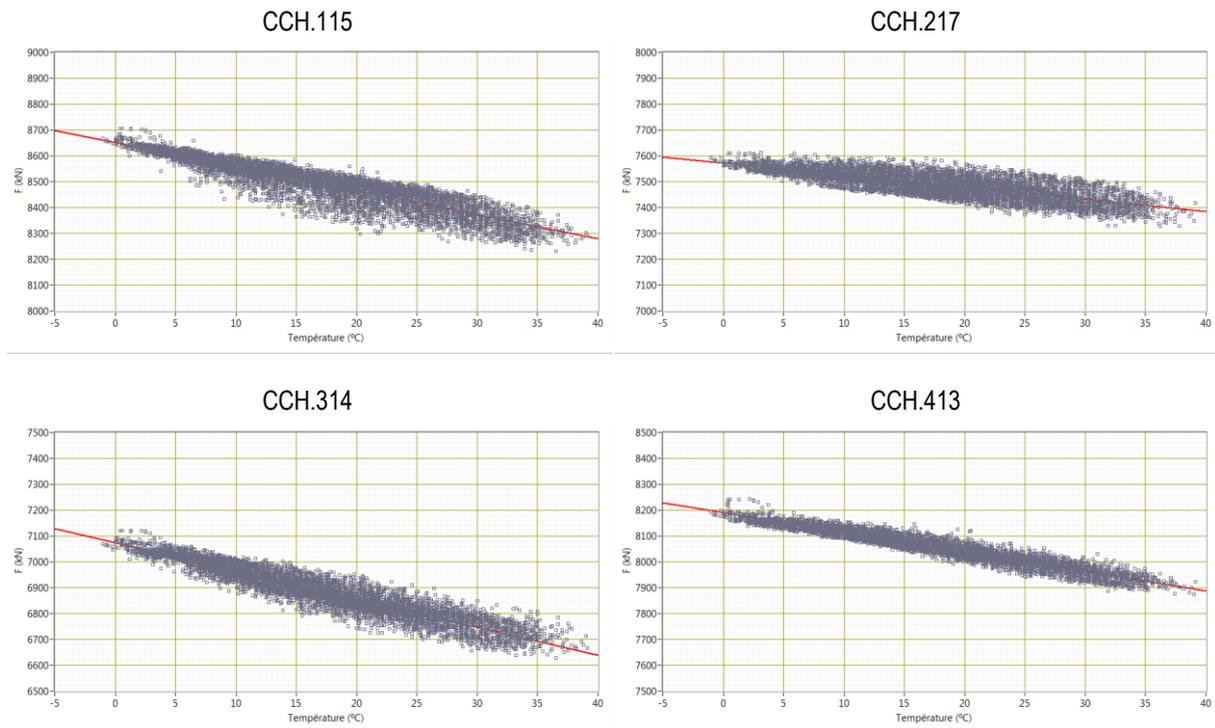


Figura 14. Esforço em tirantes em função da temperatura ambiente

A Figura 15 apresenta as frequências dos modos de vibração globais, identificadas no período entre outubro de 2014 e junho de 2016. Verifica-se que a variação das frequências próprias tem origem na temperatura ambiente e a sensibilidade térmica aumenta para os modos de vibração de ordem superior [8].

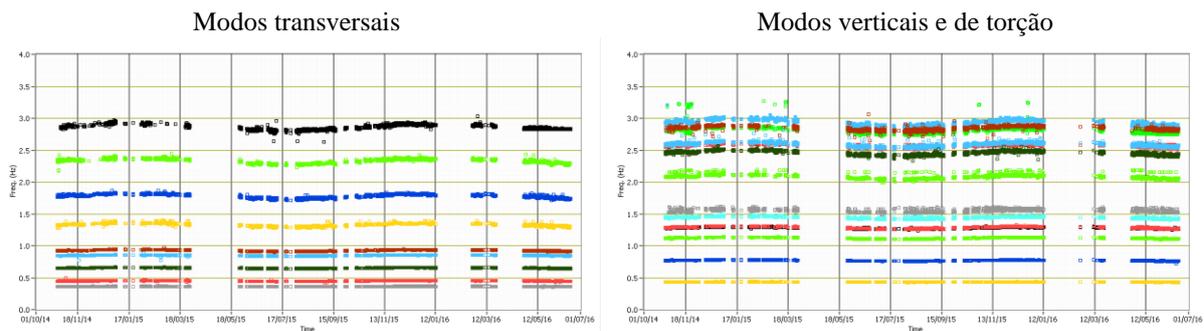


Figura 15. Frequências dos modos de vibração globais identificados

5. CONCLUSÕES

A concepção e implementação do sistema de monitorização da integridade estrutural do Viaduto Salah Bey constituiu um desafio aliciante face aos exigentes requisitos estabelecidos no projeto, à diversidade das grandezas a medir, à dimensão e complexidade da obra, bem como à especificidade das condições locais. Com efeito, o sistema instalado inclui a monitorização das condições meteorológicas, do comportamento estrutural estático, dinâmico e sísmico, bem como o estudo do comportamento diferido do betão e a monitorização da corrosão.

Na concepção do sistema de monitorização houve o cuidado de garantir a recolha contínua de informação diversificada, abrangente e com a necessária redundância, tendo-se utilizado equipamentos diferentes na medição de várias grandezas.

A instrumentação da obra de arte iniciou-se durante a construção, permitindo obter informação relevante sobre o comportamento estrutural nessa fase em que ocorrem simultaneamente importantes alterações da estrutura e grandes deslocamentos, deformações e variações de esforço.

No final da construção foram realizados ensaios de carga estáticos e dinâmicos, que permitiram verificar o comportamento da estrutura, aferir os modelos numéricos e validar o funcionamento do próprio sistema de monitorização instalado.

A monitorização realizada durante os primeiros dois anos do viaduto em serviço permitiu caracterizar o seu comportamento estrutural, constituindo a informação recolhida um estado de referência que será da maior utilidade na eventual deteção precoce de anomalias. Destaca-se a quantificação da influência da temperatura sobre diversas grandezas observadas.

Toda a informação experimental é recolhida, processada e armazenada de forma automática numa base de dados e disponibilizada *on-line* para utilizadores autorizados, com uma interface gráfica e multilingue para a visualização dos resultados.

A continuação da monitorização do Viaduto Salah Bey, para além dos benefícios diretamente associados a esta obra, relativos à sua segurança, funcionalidade e durabilidade, permitirá a obtenção de conhecimentos a longo prazo, particularmente interessantes por se tratar de materiais e de uma estrutura executados em condições específicas, nomeadamente ambientais, que poderão ser de grande utilidade na construção ou reabilitação de outras obras de arte na Argélia.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à *Direction des Travaux Publics da Wilaya de Constantine* e à empresa *Andrade Gutierrez*, construtora do Viaduto Salah Bey, a possibilidade de apresentar este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] COWI (2010). *Constantine Viaduct – EDE. Structural Health Monitoring System*, Technical Note, Lyngby, Denmark.
- [2] COWI (2011). *Viaduc Transrhume et ses Accès à Constantine*. Etude d'Exécution.
- [3] ThermoFisher Scientific (2013) DT80 Range User's Manual. UM-0085-B8. Australia
- [4] Gantner Instruments GmbH (2011). *Q.series / e.series System Guide*, Vers.No.1.31.
- [5] Reis, J.; Costa C.O. (2009). CABRIAQUIS. Manual do utilizador. Relatório 211/2009-NSE, LNEC.
- [6] Leica Geosystems AG (2010) GMX 902 GG/GMX 902 GNSS User Manual. v.1.3en. Switzerland
- [7] FiberSensing (2012) FS 2200XT Dynamic Extended Temperature Braggmeter – 100S/S. User Manual.
- [8] Xu, M.; Santos, L.O.; Vieira, T. (2016) “Modal Identification of Bridges based on Continuous Dynamic Monitoring”. *8th European Workshop on Structural Health Monitoring*, Bilbao, Spain.