

REABILITAÇÃO DO VIADUTO DUARTE PACHECO

Júlio APPLETON

Eng. Civil
A2P Consult, Lda
Lisboa

António COSTA

Eng. Civil
A2P Consult, Lda
Lisboa

José DELGADO

Eng. Civil
A2P Consult, Lda
Lisboa

J. GRAVE DOS SANTOS

Eng. Civil
IEP
Almada

Vítor PEDRINHO

Eng. Civil
Construtora do Tâmega
Lisboa

SUMÁRIO

Neste trabalho apresentam-se os resultados principais da inspecção e avaliação do estado de deterioração do Viaduto Duarte Pacheco e ilustram-se os trabalhos de reabilitação efectuados.

1. DESCRIÇÃO DO VIADUTO

O Viaduto Duarte Pacheco, com 355.10 m de desenvolvimento entre eixos dos encontros, foi projectado em 1937 pelo Eng. João Alberto Barbosa Carmona e a obra foi executada de Abril de 1939 a Dezembro de 1944 pela "Sociedade de Empreitada de Obras Públicas, Lda" (SEOP, Lda). De referir que o projecto foi verificado pelo Eng. Edgar Cardoso.

A estrutura, integralmente realizada em betão armado, divide-se em 5 partes (Fig. 1):

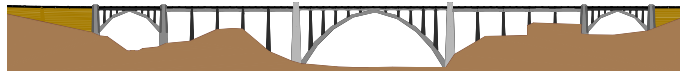


Figura 1 - Vista geral e alçado do Viaduto Duarte Pacheco

- Duas passagens superiores em arco, uma sobre a linha de caminho de ferro e outra sobre a Avenida do Parque Florestal de Monsanto; cada uma destas passagens compõe-se de três arcos paralelos com 40 m de vão sobre os quais assenta o tabuleiro de betão armado por meio de pilares encastrados no arco (Fig. 2).

A secção transversal do tabuleiro é constituída por uma laje contínua com 9 vãos de 2.30 m e consolas de 1.65 m de vão, apoiada em 10 longarinas com 10 tramos de 4.00 m. As longarinas são contínuas em 5 tramos, entre os apoios extremos e os apoios sobre o fecho do arco.

As longarinas apoiam em pilares ou sobre carlingas encastradas nas cabeças dos pilares. As longarinas têm uma largura de 0.30 m e alturas de 0.65 m no vão e 0.81 m sobre os pilares.

Os apoios extremos das longarinas, nos encontros ou nas pilastras intermédias, são realizados com chapas de chumbo.

Os pilares são articulados, na direcção longitudinal, no topo. Os pilares que apoiam nos arcos têm uma largura de 2.683 m e 0.40 m de espessura.

Os arcos, com uma espessura variável de 0.80 m no fecho e 1.50 m nas nascenças e 2.60 m de largura, têm uma forma parabólica e são encastrados nas pilastras. As pilastras são constituídas por betão simples.



Figura 2 - Arcos Laterais - Vista Geral

- Dois viadutos com uma extensão de 85.80 m entre eixos, de vigas contínuas de 5 tramos com 16.35 m de vão assentes em pilares articulados longitudinalmente (Fig. 3).

Cada alinhamento de pilares é constituído por 4 montantes ligados por travessas horizontais no topo e a meia altura, constituindo assim pórticos transversais.

A secção transversal do tabuleiro é constituída por uma laje contínua, conforme anteriormente referido para as passagens superiores, apoiada em 10 longarinas em viga contínua de 5 tramos de 16.35 m de vão. As longarinas têm 0.50 m de largura e alturas de 1.20 m no vão e 1.90 m sobre os apoios.

Estas longarinas apoiam-se em pórticos transversais, através de articulações metálicas no topo, realizadas em aço vazado (que permitem a rotação associada à flexão longitudinal). Os pórticos transversais são também articulados (na direcção longitudinal) ao nível da travessa do primeiro contraventamento, com excepção de um dos pórticos transversais em que esta articulação não existe. Essas articulações são realizadas com chapa de chumbo e núcleo circulares armados e cintados.

Os pilares têm uma secção variável sendo de 0.697 m x 1.022 m no topo. As travessas transversais no topo têm uma secção de 0.65 m x 1.90 m, no vão. As travessas intermédias têm secção de 0.40 m x 0.80 m (ou 2 x 0.40 m x 0.40 m nas articulações).

Os apoios livres das longarinas nas pilastras são realizados por balanceiros metálicos.



Figura 3 - Viaduto em Vigas Contínuas - Vista Inferior do Tabuleiro e dos Pilares

- Um arco central sobre a Avenida de Ceuta (Fig. 4).

A secção transversal do tabuleiro é semelhante à anteriormente descrita, estando a laje apoiada em 10 longarinas com 12 tramos de 7.83 m, constituindo dois conjuntos de vigas contínuas de 6 tramos entre a pilastra e o fecho do arco.

As longarinas têm uma largura de 0.35 m e altura variável de 0.75 m no vão e 1.20 m sobre os apoios.

O arco central é constituído por 2 arcos gémeos afastados 6.225 m com 91.80 m de corda e 32.70 m de flecha (referidos à linha média) os quais suportam o tabuleiro através de 4 montantes afastados 6.90m, interligados transversalmente por vigas.

Os montantes têm secção variável, sendo de 1.466 m x 1.641 m na ligação ao arco, para o pilar mais alto.

A livre dilatação das longarinas sobre os pilares é assegurada por placas metálicas de escorregamento nos encontros e no eixo do arco. O apoio das longarinas nos pilares é feito através de articulações (longitudinais) metálicas. O apoio das longarinas nas pilastras é feito através de aparelhos metálicos de roletes.

Os arcos têm a forma de uma parábola de 5º grau. A espessura no fecho é de 1.40 m e nas nascenças de 2.80 m, onde estão encastrados nas bases das pilastras principais.

As pilastras principais têm uma altura de 43.00 m, suportando os apoios extremos das vigas do tabuleiro dos viadutos e do tabuleiro do arco central. As pilastras são vazadas contando oito pavimentos de betão armado com um vão livre de 2.50 m,

os quais constituem também um travamento das paredes das pilastras. As paredes das pilastras são ligeiramente armadas. Os pavimentos estão interligados por escadas de madeira.

O acesso às pilastras realiza-se quer ao nível do tabuleiro quer ao nível da nascedoura dos arcos, onde existe também uma abertura para acesso à face superior dos arcos.

A secção transversal das pilastras apresenta uma largura de ≈ 29.00 m e um desenvolvimento na direcção longitudinal do viaduto de 3.80 m no topo e de 6.12 m na base. Nas faces laterais das pilastras existem frestas de iluminação natural do interior.



Figura 4 - Arco Central - Vista Geral

A largura do tabuleiro é de 24.00 m dos quais 6.00 m foram inicialmente destinados a dois passeios de 3.00 m cada. Cada faixa de rodagem comportava duas faixas de 7.50 m (duas vias) e um separador central de 3.00 m.

As fundações do viaduto foram realizadas através de pegões ou sapatas directas, tendo sido de difícil execução. O Vale de Alcântara inclui formações calcárias e margo-calcárias cortadas por várias falhas.

O Viaduto Duarte Pacheco foi objecto de alterações em 1965 tendo o seu perfil transversal sido remodelado. Assim, no sentido Lisboa/Cascais (lado Norte) foi reduzido o passeio de 3.00 m para 1.80 m envolvendo o corte da continuidade da laje do passeio (originalmente uma laje contínua de 2 vãos de 1.65 m e 1.15 m) para

introdução de 3 vias nessa faixa. Nessa data, ou em data posterior, foi também removido o separador central inicial e introduzido um perfil tipo "Jersey".

2. SÍNTESE DA INSPECÇÃO E ENSAIOS EFECTUADOS

Em 1993 e 1994 o LNEC realizou uma inspecção visual e um conjunto de ensaios para caracterizar o estado de deterioração do Viaduto Duarte Pacheco {1}.

Na inspecção visual verificou-se a ocorrência de fendilhação em vários elementos da estrutura. Essa fendilhação apresenta-se quer orientada ao longo das armaduras longitudinais, quer sem orientação preferencial definida (tipo "craquelé").

Da análise efectuada em microscópio electrónico e de microanálise dos raios X efectuada em amostras de betão concluiu-se existirem reacções expansivas no betão. Estas observações revelaram compostos típicos de reacções álcalis-sílica e etringite. As reacções álcalis-sílica estão associadas à presença de inclusões de sílica reactiva na brita utilizada no betão (Fig. 5).

Em 2001 foi solicitada ao A2P, Lda uma inspecção complementar que teve como objectivos actualizar a avaliação da deterioração existente no viaduto e avaliar se o problema das reacções de origem interna era geral ou se estava circunscrito às áreas já detectadas no arco central. Paralelamente pretendia-se reformular as metodologias de reparação e protecção geral da ponte.

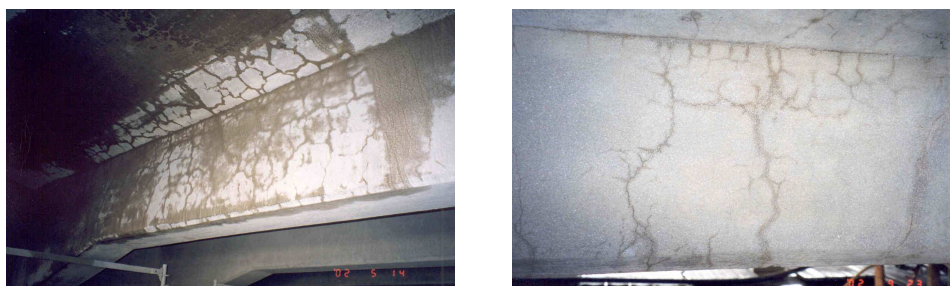


Figura 5 - Fendilhação típica das reacções alcalo-sílica no betão nas vigas do tabuleiro

No que se refere ao problema em análise importa referir que a fendilhação que se verifica nos pilares (Fig. 7) e arcos tem em algumas zonas aberturas significativas e grandes profundidades. Para além da fendilhação de geometria irregular observa-se nos pilares e arcos fendilhação orientada segundo o eixo longitudinal. Nos arcos a fendilhação ocorre com maior incidência nas faces superiores e laterais. Nas faces superiores essas fendas atingem vários milímetros. Essa fendilhação produz a despassivação das armaduras e origina a sua corrosão e subsequente delaminação do betão. O maior nível de fendilhação observado nos arcos centrais e nos pilares sobre estes arcos deverá estar associado à maior espessura destes elementos, às condições de exposição da obra nesta zona e à eventual maior concentração de inertes reactivos nestes elementos estruturais.

Os ensaios de composição do betão indicaram que existem inertes reactivos em toda a obra (Fig. 6). Os ensaios de humidade mostram que a humidade relativa no interior dos elementos estruturais é superior a 85%. Os ensaios de reactividade potencial dos álcalis permitiram concluir que estas reacções estão praticamente terminadas.



Figura 6 - Carote N2, sendo visíveis os inertes quartzíticos reactivos aos alcális

No que se refere à corrosão de armaduras salientam-se os seguintes aspectos:

- Os elementos mais afectados pela corrosão de armaduras são os pilares sobre o arco central, a face inferior das consolas do tabuleiro, a face inferior dos arcos laterais e os guarda-corpos.
- Nos pilares sobre o arco central a causa deste tipo de deterioração foi a fendilhação originada pelas reacções expansivas. Nos outros elementos da obra a causa principal da corrosão de armaduras foi o reduzido recobrimento dos varões.
- Os recobrimentos de armaduras apresentam valores razoáveis na maior parte dos elementos estruturais, com excepção da face inferior das lajes do tabuleiro e zonas locais da face inferior dos arcos onde se verificam valores muito baixos.
- A profundidade de carbonatação é pequena, com excepção dos tabuleiros onde se observaram valores superiores aos dos restantes elementos estruturais.
Este facto, associado ao menor recobrimento das armaduras nas lajes do tabuleiro, implica que nesta altura exista já uma percentagem significativa de varões despassivados nesta zona da obra.
Nas consolas o problema é mais gravoso dado que estas zonas estão sujeitas a condições de humidade elevada que conduzem a maiores velocidades de corrosão. Nos painéis interiores da laje o problema tem menor significado dado o betão se apresentar seco.
- A contaminação da estrutura por cloretos é baixa e ocorre apenas na camada superficial do betão. Este aspecto mostra que não existem problemas de corrosão originados por este agente agressivo, à excepção de zonas locais onde se verificam recobrimentos muito baixos ou zonas muito fendilhadas.

3. REABILITAÇÃO GERAL

A reabilitação geral do viaduto envolve a realização dos seguintes trabalhos:

a) Reparação local das zonas com indícios de corrosão de armaduras, reconstruindo o betão da camada superficial com microbetão ou argamassas pré-doseadas. Em zonas com extensão significativa foi previsto o reforço com malha de aço galvanizado que tem o objectivo de controlar, reduzindo, a abertura de fendas devidas a novas reacções expansivas.

b) Reparação das zonas com fendilhação acentuada (em particular em pilares e arcos) provocada pelas reacções expansivas, com ou sem corrosão de armaduras. Nas fendas de abertura superior a 1.0 mm foi realizado o seu preenchimento com calda de cimento e a selagem do bordo com poliuretano (Fig. 7). As fendas com abertura entre 0.4 mm e 1.0 mm foram somente seladas.

c) Protecção da estrutura em relação ao mecanismo de corrosão de armaduras e controlo das reacções expansivas álcalis-sílica.

Neste efeito de protecção é essencial a eficácia no controlo das trocas de humidade entre o ambiente exterior e a estrutura de betão. Assim, o sistema deverá eliminar a penetração de água para o interior do betão ao mesmo tempo que possibilita a saída de vapor de água do interior do betão para o meio exterior. Paralelamente o sistema de protecção superficial deverá ainda garantir uma adequada protecção em relação à penetração de anídrico carbónico (CO₂) e deverá possuir capacidade de deformação para absorver, sem fendilhar, as deformações expansivas (e abertura de fendas) devidas às reacções álcalis-sílica. Assim este sistema de protecção superficial multi-barreiras é composto pelos seguintes elementos:

- Impregnação hidrofugante, sistema aplicado por projecção e que penetra na estrutura porosa superficial do betão, revestindo os poros e repelindo a água.
- Barramento das fendas, incorporando malha de fibras de vidro.
- Pintura (revestimento espesso e flexível) aplicado pelo menos em duas demãos cruzadas e com maior espessura nos seguintes elementos: arcos centrais, pilares sobre os arcos centrais, pilastras dos arcos centrais e vigas exteriores do tabuleiro (espessura superior ou igual a 500 µm).



Figura 7 - Fendilhação em pilar e trabalho de injeção

d) Reabilitação de apoios

Na Fig. 8 apresenta-se o estado de alguns aparelhos de apoio os quais, embora aparentemente muito deteriorados, estavam em condições de ser reabilitados.



Fig. 8a - Reabilitação de apoios móveis



Figura 8b - Reabilitação de apoios fixos (rótulas)

e) Substituição de apoios móveis

Os apoios móveis, de roletes estavam corroídos, deformados e inoperacionais pelo que foram substituídos (Fig. 9). Para se proceder à substituição dos apoios, o tabuleiro foi levantado cerca de 5 mm através da transferência da carga para macacos hidráulicos aplicados sob as vigas (Fig. 10)



Figura 9 - Substituição de apoios móveis bloqueados e deformados

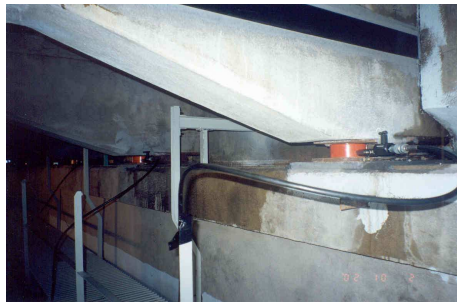


Figura 10 - Macaco hidráulico aplicado sob a viga

f) Reforço do tabuleiro

Na Fig. 11 apresenta-se o reforço das vigas externas através de colagem de laminados de fibra de carbono. Estas vigas foram reforçadas por disporem apenas de cerca de metade da armadura das vigas interiores visto estarem originalmente localizadas sob o passeio e sujeitas a menores esforços.



Figura 11 - Reforço das vigas e controlo de qualidade

g) Reconstrução das lajes consola dos passeios

A laje consola tinha apenas uma espessura de 0.07 m o que dificultaria a sua reparação. Assim foi considerado que a sua reconstrução seria mais apropriada tendo então a espessura da nova laje sido de 0.10 m. Na Fig. 12 ilustram-se os trabalhos de reconstrução dessas lajes.



Figura 12 - Reconstrução das lajes consola dos passeios

Para além destes trabalhos foram ainda reconstruídos os topos das pilastras (Fig. 13) e zonas de apoio das vigas (Fig. 14), foi refeito o sistema de drenagem das águas pluviais, repavimentado o tabuleiro e introduzido um sistema de impermeabilização e realizados outros trabalhos de beneficiação geral. Na Fig. 15 apresenta-se o aspecto geral do viaduto após a reabilitação.



Figura 13 - Reconstrução dos topos das pilastras



Figura 14 - Reconstrução dos topos de vigas

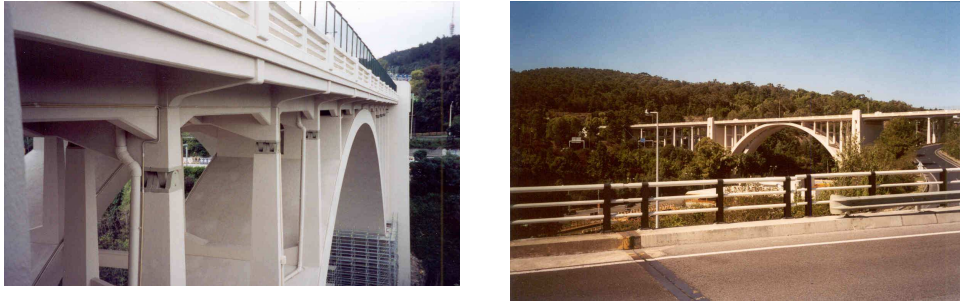


Figura 15 - Aspecto geral do viaduto após a reabilitação

4. REFERÊNCIAS

- {1} LNEC - Viaduto Duarte Pacheco - Diversos Estudos, Inspeção e Ensaios - Rel. 123/94 NAB, Rel. 65/96 NQ, NT 61/01 DMC, Rel. 252/02 - NQ
- {2} Carmona, João Alberto Barbosa - Projecto do Viaduto Duarte Pacheco, 1966
- {3} Gaspar, Manuel A. Duarte - "Projecto de Reabilitação e Beneficiação Geral do Viaduto Duarte Pacheco", Lisboa, Julho de 1997
- {4} A2P, Lda - "Inspeção Complementar e Actualização do Projecto de Reabilitação Estrutural", Julho 2001
- {5} Appleton, J. - "Caso de Estudo - Viaduto Duarte Pacheco em Lisboa", Curso "Degradação de estruturas por reacções expansivas de origem interna", LNEC - LCPC, Dezembro 2001