

A utilização do aço inox na reabilitação das infraestruturas da Ponte Eiffel sobre o Rio Lima, em Viana do Castelo

Inspecção e Reabilitação

Júlio Appleton

A2P Consult, Lisboa

João Saraiva

A2P Consult, Lisboa

Rita Moura

Bel, SA

Filipe Rodrigues

REFER, EP

RESUMO

A presente comunicação refere-se à reabilitação das infraestruturas da Ponte Eiffel sobre o Rio Lima em Viana do Castelo.

A Ponte rodoferroviária apoiada em pilares de alvenaria através de aparelhos de apoio metálicos.

A reabilitação das infraestruturas inclui o reforço dos pilares e fundações com microestacas encabeçadas num maciço de betão com armaduras em aço inox.

PALAVRAS-CHAVE

Reabilitação

Reforço

1. INTRODUÇÃO

1.1 DESCRIÇÃO DA OBRA

A Ponte Eiffel rodo-ferroviária sobre o Rio Lima foi executada pela Casa Eiffel e C^{ie} segundo projecto de Gustavo Eiffel e Théophile Seyrig aprovado em Agosto de 1876. A obra iniciou-se em Março de 1877 e ficou totalmente concluída em Maio de 1878. Está classificada como Património Municipal.

A ponte foi construída por lançamento do tabuleiro através de uma plataforma de trabalho e um sistema de roletes apropriado.

A ponte tem dois tabuleiros sobrepostos estando o tabuleiro ferroviário da linha do Minho ao km 80,323 apoiado na parte inferior das vigas treliçadas principais e o tabuleiro rodoviário apoiado na parte superior das mesmas vigas.

O tabuleiro é constituído por duas vigas treliçadas principais rectas e contínuas com 7,5m de altura afastadas de 5,20m. São do tipo rótula múltipla com diagonais cruzadas dispostas a 45º formando painéis com 2,70 m de lado. Os passeios têm 0,85m de largura, apoiados através de consolas nas vigas principais.

Longitudinalmente a ponte apresenta um desenvolvimento total de 10 vãos (Fig. 1) com a seguinte distribuição:

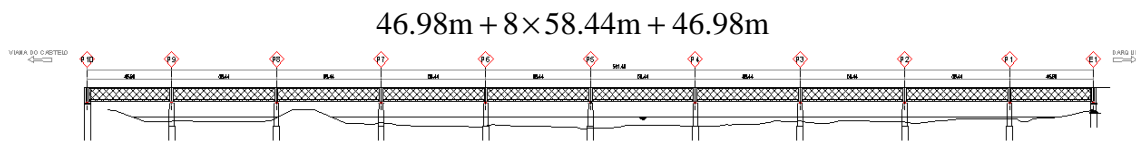


Fig. 1 – Alçado longitudinal da ponte

O tabuleiro apoia em 11 pilares de alvenaria de granito aparelhado constituindo os 2 extremos pilares encontros, que servem também de apoio aos viadutos de acesso (fig. 2).



Fig. 2 – Ponte Eiffel. Vista da Margem esquerda.

O apoio do tabuleiro nos pilares é feito através de aparelhos de apoio do tipo móvel na direcção longitudinal em todos os pilares e encontros à excepção do pilar P5 em que esses apoios são fixos (ver Fig. 3).



Fig. 3 – Aparelhos de apoio do tipo móvel e do tipo fixo.

Os pilares são rectangulares, cujos topos consistem em meios-círculos. A face recta tem sempre 5.56m de comprimento. Os topos têm um raio de 1.32m no cabeçote, 1.20m na zona das cantarias imediatamente abaixo do cabeçote e 1.41m na base do pilar (embasamento). Na Fig. 4 é apresentada a geometria dos pilares.

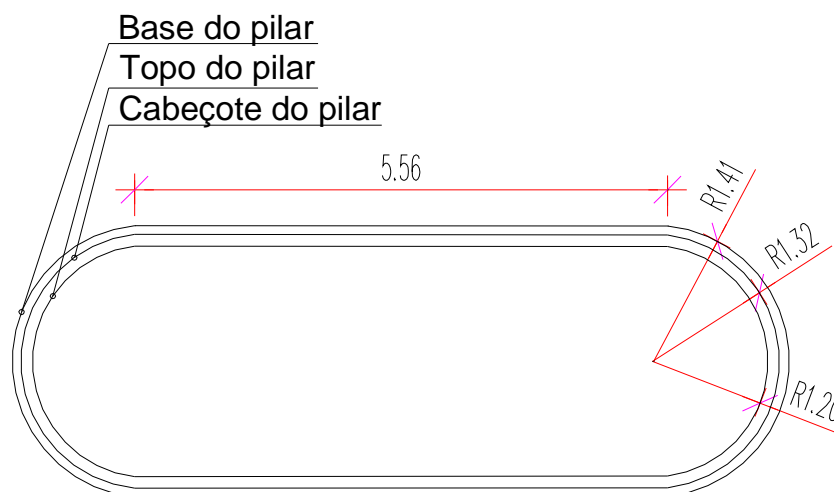


Fig. 4 – Geometria dos pilares (Planta).

Foram os pilares fundados entre 7m e 22m abaixo do leito do rio através da técnica de ar comprimido.

Em 1960 a CP reforçou o tabuleiro ferroviário para o adequar à carga de 22,50 t/eixo e foram efectuados trabalhos de consolidação dos pilares em 1985 e 1986.

Em 1994 foram reforçadas as vigas principais através da introdução de um sistema de pré-esforço, de acordo com projecto elaborado pelo Engº José Luís Câncio Martins.

O sistema de pré-esforço consiste na introdução de dois conjuntos de barras Ø32 mm de alta resistência (Dywidag) pré-esforçadas a cerca de 50% da carga de rotura. Nos tramos extremos as barras pré-esforçadas são equilibradas através de ancoragens pré-esforçadas com a zona de selagem no bed rock.

Para além do sistema de pré-esforço foram ainda reforçadas algumas diagonais.

Em 2006 realizaram-se trabalhos de beneficiação e alargamento do tabuleiro rodoviário.

O presente trabalho refere-se à inspeção, avaliação e reabilitação das infraestruturas apoios e pilares) realizado em 2007/2008.

1.2 Inspeção

1.2.1 Batimetria

Da batimetria realizada na zona da Ponte conclui-se o seguinte:

- A cota do leito do Rio na zona dos pilares é variável atingindo a profundidade máxima de 5.24m e ocorre na zona do pilar P5 (cota referida ao zero topográfico).
- Na zona a jusante dos pilares observam-se fossas de erosão que atingem uma profundidade média da ordem dos 2m a uma distância de cerca de 10m dos pilares.

1.2.2 Inspeção Subaquática

Da inspeção subaquática verificou-se que os pilares apresentam um embasamento (alargamento de $\approx 0.30\text{m}$) a nível inferior ao da baixa mar (≈ 7.50 a 11.00m do topo do pilar).

Abaixo desse embasamento verifica-se ainda a existência da cofragem metálica utilizada na construção dos pilares. A cota a que se observa essa cofragem é variável de pilar para pilar. Na parte superior essa cofragem apresenta-se danificada. Nalguns pilares observa-se uma abertura no que se presume ser a junta vertical entre chapas dessa cofragem.

A fendilhação nas cantarias e a abertura das juntas prolonga-se até ao nível superior do embasamento, concentrando-se essencialmente na zona montante e jusante (topos) dos pilares.

1.2.3 Pilares

- Observa-se de forma sistemática que os pilares apresentam fendilhação dos blocos de cantaria e juntas abertas com remoção parcial do material de preenchimento da junta. Estes danos concentram-se em geral nos topos a montante (e jusante Fig. 5).

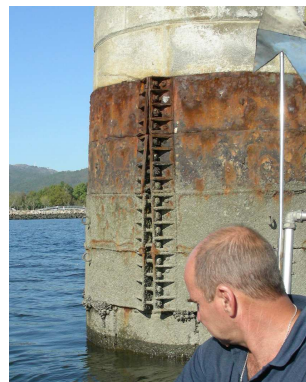


Fig. 5 – Abertura de juntas e fendas em blocos de cantaria

Fig. 6 – Chapas de confinamento para reforço dos pilares de alvenaria

- Os pilares no topo são dotados de um tirante (vergalhão de ferro $\approx \varnothing 60$ mm) que se julga ter sido instalado na altura da execução da ponte. Esse tirante apresenta alguma corrosão localizada (Fig. 7).
- Na face superior do topo dos pilares observa-se fendilhação num plano vertical (direcção longitudinal da ponte) entre apoios.

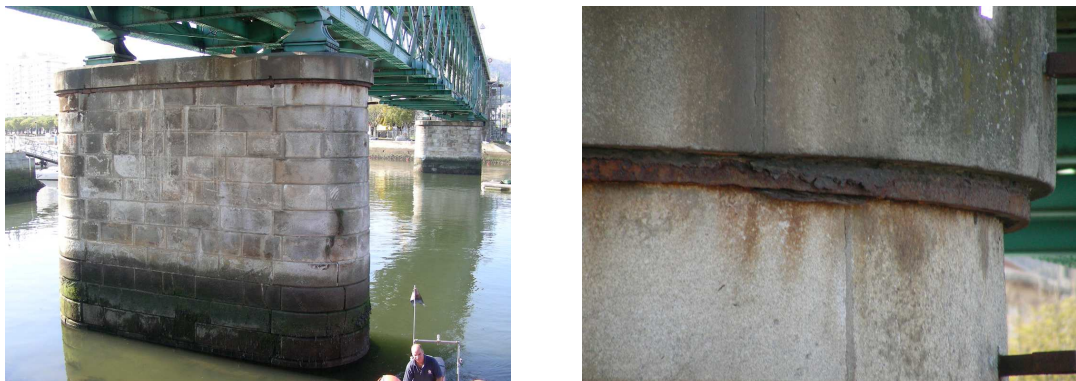


Fig. 7 – Tirantes com topo do pilar

Nalguns pilares observam-se no topo varões corroídos que se julga terem sido colocados em intervenções recentes de reforço.

- Nos pilares P2 e P3 foram colocados em 1986 (?) chapas de cintagem do pilar (P3 na base (zona de maré) e Pilar P2 no topo em substituição do referido vergalhão) (fig. 6). Essas chapas apresentam corrosão significativa e encontram-se abertas na secção de união.
- Os pilares que apresentam maior extensão de fendilhação são os pilares P1 e P2 os quais apresentam também juntas muito abertas e alguns blocos deslocados.

1.2.4 Encontros

O pilar de transição P10 não apresenta danos significativos e estava quando da inspecção parcialmente obstruído pelos andaimes da obra da plataforma rodoviária.

O Encontro Sul também não apresenta anomalias relevantes, verificando-se que foi introduzido em 1993 pela TEIXEIRA DUARTE uma viga metálica de cintagem no topo da viga de estribo ancorado ao interior do encontro com barras de aço de pequeno diâmetro.

1.2.5 Aparelhos de Apoio

Os aparelhos em "ferro fundido" são do tipo móvel (apoios de rolamento) com excepção dos apoios do pilar P5 que são do tipo fixo.

Os aparelhos de apoio são constituídos por um coxim superior e um coxim inferior ligado por uma rótula cilíndrica que permite a rotação do tabuleiro na direcção longitudinal.

Nos apoios móveis sob o coxim inferior existem 6 balanceiros metálicos que, funcionando como pêndulos, permitem o movimento horizontal na direcção longitudinal. Esses balanceiros estão travados por 2 conjuntos de chapas superiores e inferiores que impedem o movimento transversal relativo dos balanceiros. Os balanceiros de extremidade apresentam uma saliência que permite a fixação do coxim inferior (nos apoios dos encontros).

Estas chapas apresentam alguns apoios evidências de corrosão. Os apoios estão em geral em bom estado de conservação. Julga-se no entanto que os balanceiros já não estarão completamente operacionais devido à sua deformação e esmagamento.

1.2.6 Prospecção Geotécnica e caracterização das alvenarias

Verifica-se que o interior dos pilares foi executado com uma alvenaria de blocos de granito argamassados (tipo betão ciclópico) concluindo-se que entre 4.40m a 7.30m a argamassa é desagregável e pouco compacta. Verificou-se também a existência de vazios ($D_{\text{máx}} = 80\text{mm}$) no interior dos pilares. Na base dos pilares foi identificado um enrocamento de blocos de granito ligados por argamassa.

Os pilares estão fundados na camada aluvionar numa formação arenosa uma vez que o substrato rochoso só ocorre a muita profundidade. Os pilares estão actualmente enterrados na referida formação aluvionar cerca de 6.10m.

Verifica-se que o pilar P1 é aquele que na sua base tem uma maior espessura de camada aluvionar (16.50m) e atravessa uma formação de areia lodosa com cerca de 10m de espessura.

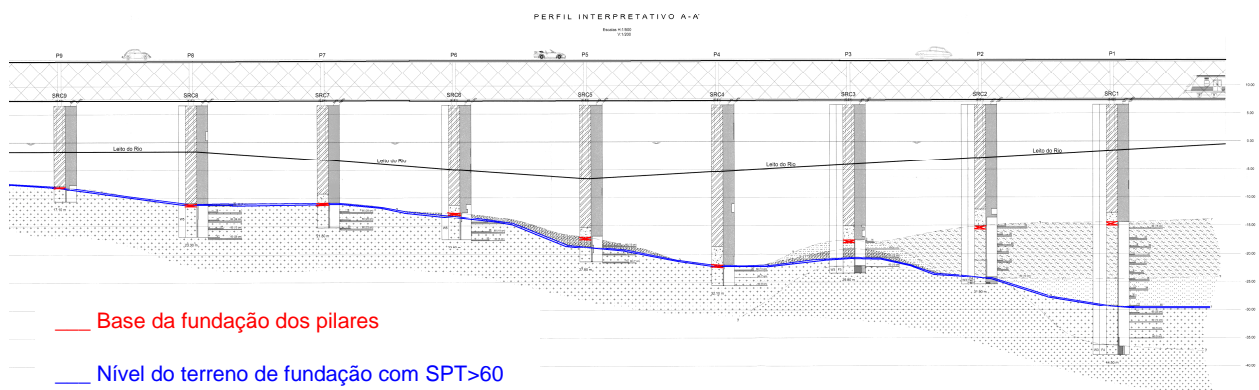


Fig. 8 – Perfil longitudinal à cota de fundação

1.2.7 Conclusões da inspeção

- Os pilares P1 e P2 apresentam um nível de anomalias mais graves que os restantes pilares. Julga-se que para além do agravamento das sobrecargas ao longo anos (que afectam todos os pilares), as condições de fundação destes pilares terão originado assentamentos que justificam essa diferenciação;
- Todos os pilares apresentam fendilhação em cantarias e juntas abertas e deterioradas, observáveis até ao nível do embasamento;
- A cofragem metálica abaixo do embasamento encontra-se nalguns casos corroída e com juntas abertas;
- Os aparelhos de apoio estão em bom estado de conservação. No entanto, os balanceiros e respectivas chapas de guiamento requerem reabilitação ou substituição;
- O reforço de cintagem em chapa de aço introduzido no pilar P3 (base) está muito corroído e com abertura nas juntas, requerendo intervenção. O reforço do mesmo tipo no topo do pilar P2 apresenta alguma corrosão;
- Os tirantes do topo do pilar que se julgam datar da altura da construção da ponte apresentam nalguns casos corrosão e perda de secção significativa.

2. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E HIDRODINÂMICA

A extensão do artigo não permite descrever com pormenor os estudos efectuados mas apenas indicar as principais conclusões.

- Da análise para as acções horizontais na direcção horingitudinal da ponte concluir-se que, estando a ponte apenas fixa no pilar P5 este deveria suportar na totalidade essas acções. A força de frenagem foi estimada de acordo com os artigos 43 e 54 do RSA em $0.25 (4 \times 250 + 80 \times 23.6) + 120 \text{ kN} = 722 \text{ kN}$. Para esta acção geram-se tracções no pilar pelo que se considerou no projecto de reforço a necessidade de introduzir um conjunto de microestacas executadas desde o topo do pilar, para além de outras microestacas amarradas na cinta de reforço da base do pilar. Estas microestacas foram dimensionadas e ensaiadas para resistirem às forças de tracção de calculo.

- Da análise dos efeitos das cargas verticais transmitidas pelos aparelhos de apoio conclui-se que se gera uma tracção horizontal no topo de pilar, razão por certo da adopção dos vergalhões já atrás referidos (Fig. 6). Dado o estado de deterioração desses vergalhões a sua substituição deve também incluir a possibilidade de introdução de um pré-esforço para aperto da nova cinta contra o pilar. Nos modelos efectuados realizou-se um estudo de sensibilidade variando a rigidez das alvenaria e cantaria para estimar a força de tracção em causa. Esta intervenção foi realizada em todos os pilares.

- Atendendo às condições de fundação dos pilares P1, P2 e P3 e à deterioração das cantarias (abertura de juntas e fendilhação de blocos de cantaria) decidiu-se proceder neste pilar ao encamisamento da base dos pilares e introdução de microestacas encabeçadas nessa cinta de betão.

- Como referido no capítulo 1 os balanceiros foram substituídos por novos aparelhos de neoprene, estudados especificamente para esta obra, por forma a ligá-los ao coxim inferior dos aparelhos de rótula existentes e a manter.

- Em resultado do estudos hidráulicos realizados (batimetria, modelo matemático de hidrodinâmica do estuário do Rio Lima e estudo da protecção contra erosão localizada junto aos pilares) que revelaram que as fossas de erosão poderão atingir uma profundidade da ordem dos 6 m, foi implementada a introdução de uma protecção do leito do rio com enrocamento (e geotextil) dos pilares. P1 a P7.

3. DESCRIÇÃO DAS INTERVENÇÕES

3.1 A utilização do aço inoxidável

Conforme atrás referido os pilares P1, P2, P3 e P5 foram reforçados através da introdução de microestacas encabeçadas numa cinta de betão que envolve a alvenaria dos pilares e cuja cota superior se localiza sensivelmente ao nível da preia mar.

A necessidade do dotar este elemento de betão armado da adequada durabilidade conduziu à adopção das seguintes armaduras:

- Para as armaduras não pré-esforçadas ($\varnothing 12$ e $\varnothing 20$) adoptou-se o aço inox tipo duplex (1.4462) com resistência $f_{0.2} \geq 550 \text{ MPa}$ (Fig. 9).

- Para as armaduras pré-esforçadas (de aperto da cinta de betão em relação à alvenaria do pilar) adoptou-se o aço inox S1030 do Macalloy (martensitic nickel-chromo alloy) com uma resistência de $f_{0.1} = 835 \text{ MPa}$ ($\varnothing 32 \text{ mm}$) (Fig. 9).



Fig. 9 – Armaduras em aço inox

Além das armaduras da cinta de betão, atrás referidas, foi também substituído o vergalhão do topo do pilar por uma cinta, também pré-esforçada, em chapa de aço inox com 4 mm de espessura e 0,60 m de largura nos pilares P1 a P9, do tipo duplex 1.4462 com a resistência de $f_{0.2} = 510 \text{ MPa}$.

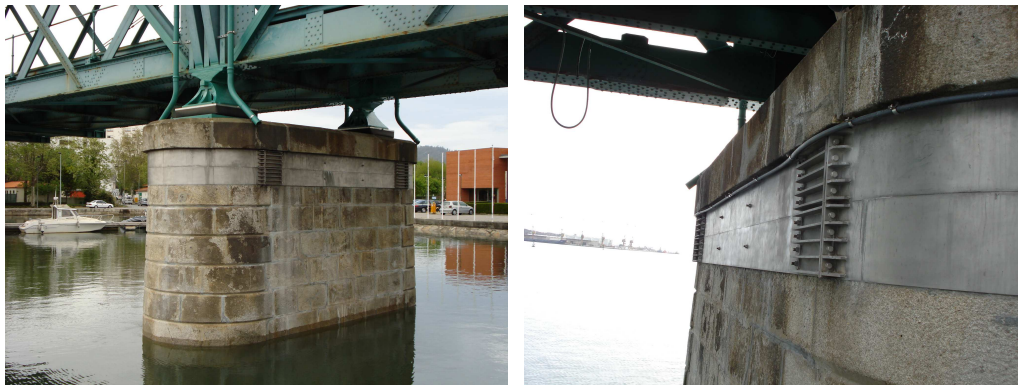


Fig. 10 - Chapa inox da confinamento do topo do pilar

3.2 Outros trabalhos

Para além do reforço dos pilares com microestacas e cinta de betão armado em aço inoxidável, foram ainda realizados os trabalhos de reabilitação geral referidos em 2.

Para a reparação das alvenarias e refechamento das juntas situadas abaixo da zona de maré foi adoptada a argamassa Subcoat S (uma argamassa de epoxy especialmente formulada para aplicação submersa), e a argamassa Emaco S88 tixotrópica nas restantes juntas.