

Reabilitação das Pontes Metálicas General Teófilo Trindade, Raposa, e Sta Margarida do Sado

António Costa
A2P Consult

Júlio Appleton
A2P Consult

RESUMO: Neste artigo apresentam-se as soluções de reforço, reparação e protecção relativas à Reabilitação das Pontes Metálicas General Teófilo Trindade, Raposa e Sta Margarida do Sado. Inclui-se neste artigo a descrição da fase prévia de inspecção e diagnóstico, a avaliação estrutural e as soluções de reparação e reforço estrutural para conferir às estruturas a segurança compatível com os regulamentos actuais.

1 DESCRIÇÃO DAS OBRAS

As pontes datam da mesma época (1928, 1932 e 1938) e apresentam uma super estrutura idêntica constituída por tramos metálicos simplesmente apoiados. A ponte General Teófilo Trindade, localizada em Coruche, destina-se a atravessar o Rio Sorraia sendo constituída por três tramos com 40 m de vão. A Ponte da Raposa sobre a Ribeira de Muge localiza-se na EN 114 ao km 95 é constituída por dois tramos com 40 m de vão. A Ponte de Sta Margarida do Sado, localizada na povoação com o mesmo nome, na E.N. 259 ao KM 20+490, destina-se a atravessar o Rio Sado sendo constituída por dois tramos com 50 m de vão.

A ponte General Teófilo Trindade apresenta uma super estrutura constituída por três tramos metálicos simplesmente apoiados. Cada tramo é constituído por duas vigas principais do tipo Pratt travadas transversalmente por treliças formando uma estrutura tridimensional com 7.0 m de altura, 6.25 m de largura a eixo dos montantes e cordas e 40.0 m de comprimento entre eixos de apoios.



Figura 1 – Ponte General Teófilo Trindade sobre o Rio Sorraia



Figura 2 – Ponte da Raposa sobre a Ribeira de Muge



Figura 3 – Ponte de Sta. Margarida do Sado sobre o Rio Sado

As vigas principais estão ligadas inferiormente por uma grelha de vigas metálicas sobre a qual apoia o pavimento constituído por uma laje de betão armado.

Os elementos principais das vigas Pratt, assim como a grelha inferior são constituídos por perfis compostos realizados com chapas rebitadas. Os contraventamentos superiores e inferiores em cruz são realizados por cantoneiras. Além destes contraventamentos as vigas principais são ligadas superiormente na direcção transversal por meio de vigas metálicas treliçadas. As ligações entre todos os elementos dos tramos metálicos são realizadas por meio de rebites.

A faixa de rodagem tem 5.0 m de largura e os passeios, exteriores às vigas principais, têm 1.0 m de largura e são constituídos por uma chapa estriada apoiados numa estrutura metálica em consola.

Os pilares e os encontros são de alvenaria e estão assentes em sapatas de betão. Estas sapatas assentam por sua vez em conjunto de estacas verticais de madeira com diâmetro da ordem de 0.22 m e cerca de 10 m de comprimento médio.

O tramo adjacente à margem esquerda foi objecto de substituição por uma nova estrutura metálica em resultado do colapso da estrutura original motivado por um acidente ocorrido em 1979/04/24.

A ponte da Raposa apresenta uma super estrutura constituída por dois tramos metálicos simplesmente apoiados idênticos aos da ponte anterior.

A corda superior das vigas Pratt é constituída por perfis compostos realizados com chapas rebitadas. A corda inferior, montantes e diagonais são constituídos por perfis metálicos laminados (perfis H e I). A utilização de perfis laminados constitui a principal diferença face à ponte General Teófilo Trindade.

A ponte de Sta Margarida do Sado é semelhante à ponte da Raposa diferindo no comprimento dos tramos e na dimensão dos elementos das vigas principais.

O tabuleiro destas duas pontes é constituído por laje de betão armado apoiada numa grelha inferior constituída por perfis laminados, figura 4. Sobre a laje de betão armado existe uma camada de betão de enchimento com o objectivo de realizar as pendentes para drenagem do tabuleiro.

O pilar central e os encontros são de alvenaria assentes em estacas de madeira. Os apoios do tabuleiro são constituídos por aparelhos de apoio metálicos fixos no pilar central e móveis nos encontros, figura 5.



Figura 4 – Grelha inferior do tabuleiro e encontro em alvenaria da Ponte de Sta Margarida do Sado



Figura 5 – Aparelhos de apoio móveis e fixos da Ponte da Raposa

De acordo com o indicado nos cálculos justificativos dos projectos foram considerados os requisitos do regulamento das Pontes Metálicas de 1929 e do Regulamento de Betão de 1918.

O regulamento das Pontes Metálicas especificava, para efeitos de dimensionamento da estrutura, uma sobrecarga aplicada à faixa de rodagem constituída por comboios compostos cada um por dois autocamiões. Os comboios de veículos supor-se-iam a par e no mesmo sentido no maior número possível.

As características dos veículos são as seguintes:

Peso total de cada veículo -	16 000 kg
Peso do eixo traseiro -	12 000 Kg
Peso do eixo dianteiro -	4 000 Kg

Os veículos constituídos por 4 rodas com distância entre rastros de 1.50 m na direcção transversal e 4.0 m na direcção longitudinal. As sobrecargas nas faixas de rodagem foram afectadas por um coeficiente dinâmico $\varphi = 1.30$.

Para além desta acção era considerado simultaneamente uma sobrecarga uniformemente distribuída de 400 Kg/m² nos passeios. No cálculo da vigas principais deveria ser considerada, em alternativa à carga dos veículos, uma sobrecarga uniforme, em kg/m², $p=820-4l$ sendo l o vão em metros. Para as pontes com tramos de

40m a sobrecarga uniforme seria $p=660\text{kg/m}^2$ e $p=620\text{kg/m}^2$ para as pontes com tramos de 50m.

2. SÍNTESE DA INSPECÇÃO

2.1 Anomalias

As principais anomalias observadas nas pontes foram as seguintes:

i- Deterioração da pintura de protecção e corrosão dos elementos metálicos afectando, essencialmente, elementos secundários da estrutura e as zonas das ligações inferiores da estrutura metálica principal onde ocorria acumulação de água ficando, conseqüentemente, sujeitas a elevada humidade.



Figura 6 – Corrosão dos elementos metálicos secundários - guardas

ii- Corrosão de armaduras na laje de betão armado do tabuleiro. Esta anomalia apresentava um significado reduzido no contexto geral das obras.



Figura 7 – Corrosão de armaduras na face inferior da laje

iii- Na ponte General Teófilo Trindade e na ponte da Raposa verificou-se que as cantoneiras das treliças do travamento superior, em particular as cantoneiras inclinadas (esquadros) de ligação desse travamento ao montante, estavam frequentemente empenadas ou cortadas devido ao embate de camiões com transporte

de grande altura. Importa referir que o gabarito junto à berma na ponte General Teófilo Trindade é de apenas 4.25 m

iv- A camada de betão de enchimento no tabuleiro apresentava uma degradação significativa, mais acentuada nas pontes General Teófilo Trindade e Sta Margarida do Sado.

v- Os aparelhos de apoio, nomeadamente os dos encontros, apresentavam-se envolvidos por detritos provenientes do tabuleiro devido à ausência de elementos cobre-junta nas juntas de dilatação.



Figura 8 – Danos nas treliças de travamento das cordas superiores na Ponte General Teófilo Trindade



Figura 9 – Camada de betão de enchimento no tabuleiro deteriorada



Figura 10 – Aparelhos de apoio envolvidos por detritos na Ponte de Sta Margarida do Sado

2.2 Ensaaios Realizados

Foram realizados ensaios de tracção, dobragem, choque, fadiga, análises químicas e análise da soldabilidade para caracterização do aço da estrutura metálica, nomeadamente na Ponte de Sta Margarida do Sado, tendo-se obtido os seguintes resultados:

Ensaaios de tracção:

Perfil DIL -	$f_y = 291 \text{ MPa}$	$f_u = 411 \text{ Mpa}$
Perfil DIN -	$f_y = 278 \text{ MPa}$	$f_u = 401 \text{ Mpa}$
Barras treliça -	$f_y = 320 \text{ MPa}$	$f_u = 419 \text{ Mpa}$
Cantoneira -	$f_y = 278 \text{ MPa}$	$f_u = 355 \text{ Mpa}$

Nos ensaios de fadiga não foram observadas situações de rotura ou fissuração dos provetes submetidos a 2×10^6 ciclos de variação de tensão da ordem de 200 MPa

A análise química indicou que se trata de aços de carbono não ligados característicos de aços estruturais. A composição química indica que os aços são soldáveis. A análise da soldabilidade realizada através de ensaios mecânicos e metalográficos mostrou que os aços são soldáveis utilizando eléctrodos revestidos básicos.

O ensaio de dobragem foi realizado de acordo com a norma EN 910, tendo-se adoptado o valor do diâmetro do mandril igual a 4 vezes a espessura do provete. Nos ensaios de dobragem não foram detectadas deficiências para ângulos de dobragem de 180° . Nos ensaios de choque alguns provetes apresentam valores inferiores a 27J, enquanto outros provetes apresentam valores significativamente superiores. Todavia, dadas as características dos aços, considerou-se não existir o perigo de rotura frágil.

3. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL

A verificação da segurança foi realizada de acordo com a regulamentação portuguesa em vigor, RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas e Pontes, 1983, REAE – Regulamento de Estruturas de Aço Para Edifícios, 1984 e, complementarmente, o Eurocódigo 3.

A análise estrutural foi realizada com base em modelos tridimensionais que simulam o comportamento dos tramos simplesmente apoiados. Dado que as ligações entre os diversos elementos das vigas principais são rebitadas e apresentam chapas cobre juntas para transmissão de esforços entre elementos, considerou-se uma continuidade total em todas as ligações.

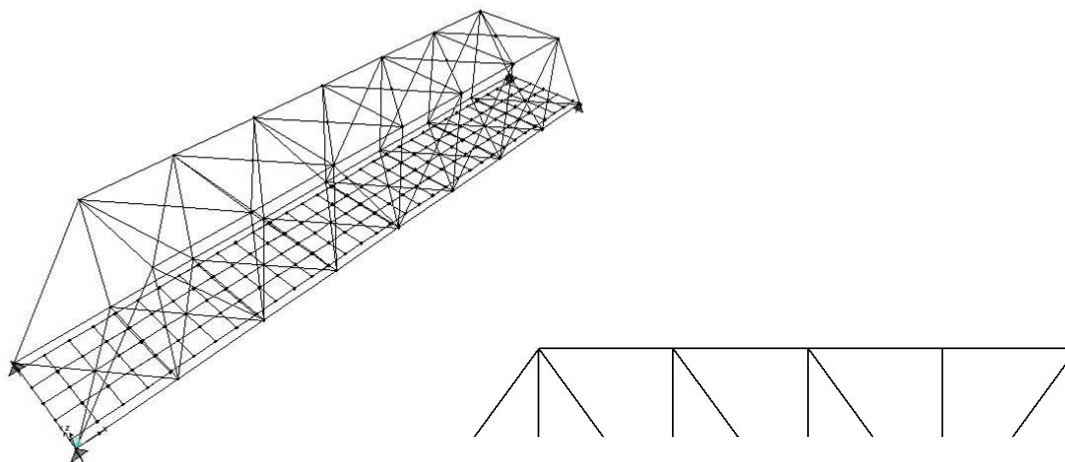


Figura 11 – Modelo estrutural tipo dos tramos simplesmente apoiados

Verificou-se a segurança dos elementos estruturais das vigas principais e do tabuleiro, das ligações rebitadas e dos aparelhos de apoio obtendo-se as seguintes conclusões principais:

i- A segurança das estruturas sob as acções verticais da regulamentação actual é, em geral, satisfeita com excepção de algumas situações particulares indicadas a seguir. Este aspecto revela que os efeitos das acções considerados no regulamento das pontes metálicas de 1929 são idênticos, embora ligeiramente inferiores, aos da actual regulamentação para as pontes com vãos semelhantes aos das obras em causa. A principal diferença refere-se à acção do veículo tipo da actual regulamentação que induz esforços locais na estrutura superiores aos das cargas do regulamento de 1929.

ii- Nas vigas principais verificou-se que alguns elementos apresentam capacidades inferiores aos esforços resistentes. Com excepção dos montantes da ponte General Teófilo Trindade essa deficiência é pouco significativa pelo que a situação foi considerada satisfatória. Verificou-se que os cinco montantes verticais centrais das vigas apresentam esforço axial de compressão. Na ponte General Teófilo Trindade este aspecto não terá sido devidamente analisado conduzindo a problemas de verificação da segurança em virtude da elevada esbelteza dos montantes adoptados. Estes elementos necessitaram de uma intervenção de reforço. Nas outras pontes este problema foi resolvido não se observando esta deficiência estrutural.

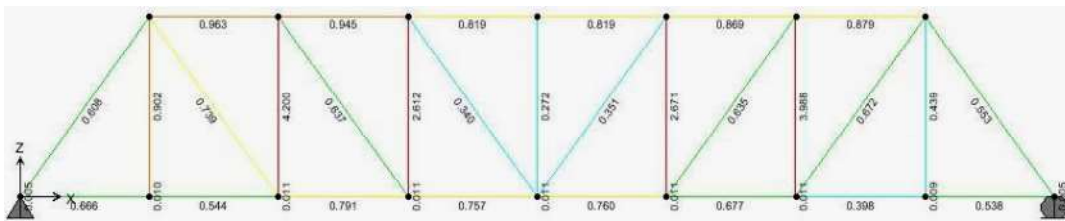


Figura 12 – Ponte General Teófilo Trindade - Razão esforços actuantes/esforços resistentes

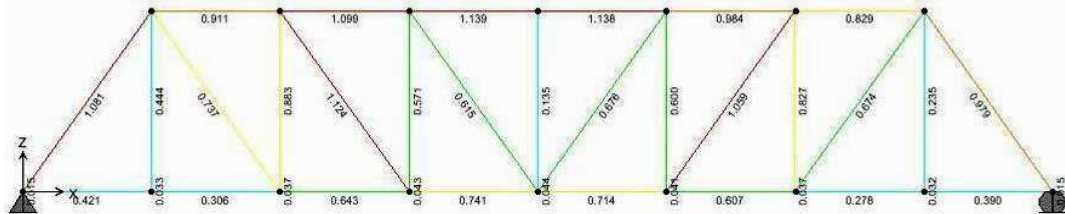


Figura 13 – Ponte da Raposa - Razão esforços actuantes/esforços resistentes

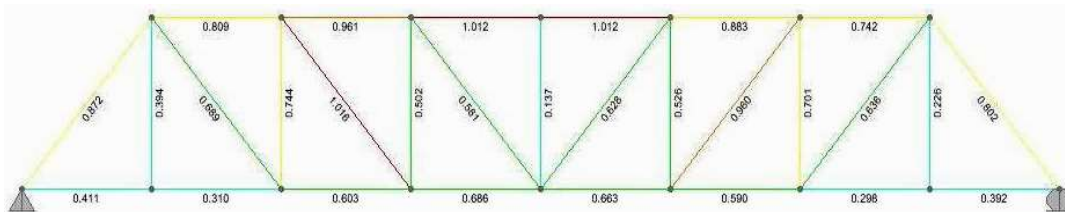


Figura 14 – Ponte de Sta Margarida do Sado - Razão esforços actuantes/esforços resistentes

iii- Os elementos metálicos da grelha do tabuleiro apresentavam, em geral, esforços máximos actuantes idênticos às capacidades resistentes verificando-se alguns casos em que estas capacidades eram ligeiramente ultrapassadas embora sem grande significado pelo que a situação foi considerada satisfatória. Todavia, na ponte

da Raposa verificou-se uma deficiência de resistência nas longarinas laterais do tabuleiro que conduziu a uma intervenção de reforço.

iv- As ligações rebitadas entre os elementos constituintes das vigas principais não apresentavam deficiências na ponte General Teófilo Trindade. Na ponte da Raposa verificou-se uma capacidade resistente deficiente nas ligações da 2ª diagonal coincidente, também, com uma capacidade insuficiente do elemento. Na ponte de Sta Margarida do Sado as ligações da 1ª diagonal e do 1º montante apresentavam capacidade resistente insuficiente. Nesta ponte verificou-se, também, que as ligações das carlingas do tabuleiro às cordas e montantes das vigas não apresentavam a necessária capacidade resistente ao esforço tansverso dado ter sido adoptado uma quantidade de rebites substancialmente inferior ao verificado nas outras pontes.

v- Os apoios das vigas, constituídos por aparelhos com elevada robustez, apresentam-se relativamente folgados.

O comportamento das obras face à acção sísmica foi também analisado. No que se refere a esta acção os elementos mais solicitados são os pilares e suas fundações já que o tabuleiro apresenta reduzida sensibilidade aos efeitos dos sismos. Da análise realizada verificou-se que o pilar central da ponte da Raposa apresentava deficiências elevadas de capacidade resistente enquanto os pilares das outras pontes apresentavam um comportamento aceitável. Refira-se que os pilares da ponte General Teófilo Trindade tinham já anteriormente sido objecto de reforço de fundações.

4. REABILITAÇÃO GERAL E REFORÇO

As principais intervenções de reabilitação das obras em causa foram as seguintes:

- i- Protecção geral dos elementos metálicos com um novo sistema de pintura;
- ii- Reparação das zonas com corrosão da laje de betão armado do tabuleiro e do guarda corpos de betão dos encontros;
- iii- Substituição dos elementos metálicos com danos ou corrosão significativa, nomeadamente as chapas metálicas dos passeios que apresentavam elevada deterioração;
- iv- Remoção dos esquadros dos travamentos superiores das vigas principais nas pontes General Teófilo Trindade e Raposa com o objectivo de evitar o impacto de veículos com elevada altura;
- v- Remoção da camada de betão de enchimento do tabuleiro na ponte de Sta Margarida do Sado e sua substituição por uma camada de betuminoso. Nas outras pontes procedeu-se à reparação da camada de betão de enchimento de modo a minimizar as restrições ao tráfego;
- vi- Impermeabilização do tabuleiro e introdução de novas juntas de dilatação;
- vii- Reforços dos montantes na ponte General Teófilo Trindade e das diagonais nas pontes da Raposa e Sta. Margarida do Sado por meio de chapas soldadas;
- viii- Reforço das ligações rebitadas dos montantes e diagonais nas pontes da Raposa e Sta Margarida do Sado com introdução de novos rebites;
- ix- Reforço das ligações das carlingas às cordas inferiores e montantes das vigas principais na ponte de Sta Margarida do Sado;
- x- Introdução de novos lancis em betão armado na ponte da Raposa, os quais funcionam também como vigas entre carlingas, com o objectivo de reduzir os esforços actuantes nas longarinas longitudinais laterais que apresentavam uma capacidade insuficiente;
- xi- Reforço do pilar central da ponte da Raposa com introdução de estacas e encamisamento do coroamento com betão armado.



Figura 15 – Ponte General Teófilo Trindade - Reforço dos montantes das vigas principais com cantoneiras soldadas aos banzos

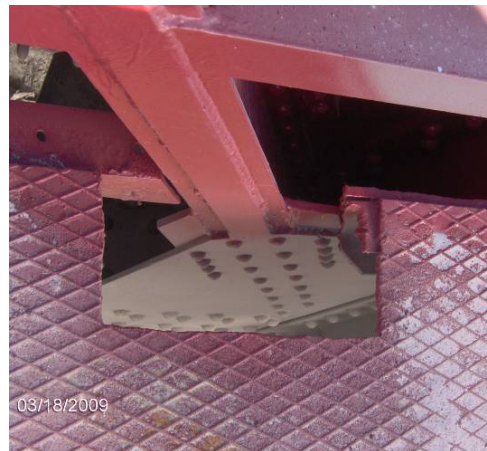
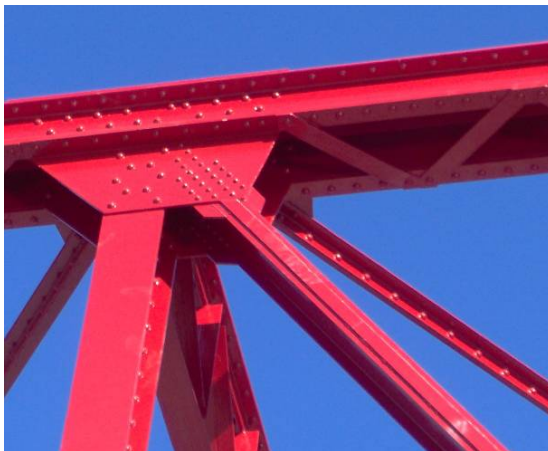


Figura 16 – Ponte da Raposa - Reforço das diagonais das vigas principais com chapas soldadas aos banzos e reforço das ligações com chapas soldadas e novos rebites nos nós superior e inferior



Figura 17 – Ponte da Raposa – Selagem das juntas entre perfis metálicos e entre perfis metálicos e betão com mastique após antes da aplicação da camada final da pintura



Figura 18 – Vista geral da Ponte General Teófilo Trindade após reabilitação



Figura 19 – Vista geral da Ponte da Raposa após reabilitação



Figura 20 – Vista geral da Ponte de Sta margarida do Sado após reabilitação