

Reabilitação da Ponte da Barra – Os Trabalhos de Reforço



Manuel Loureiro¹



Susana Bispo²



Thomaz Ripper³



Armando Rito⁴

RESUMO

A Ponte da Barra, em Aveiro, projectada pelo Prof. Edgar Cardoso em 1971, entrou em serviço em 1975. Com um desenvolvimento de 578,0 metros entre eixos de apoio extremos, é constituída por três tramos centrais, em duplo caixão, e dois viadutos de acesso, em laje com quatro vigas, com vãos correntes de 32,0 metros. O tramo central é formado por duas consolas de 34,0 metros ligadas por um tramo simplesmente apoiado. Os pilares são constituídos por pórticos que descarregam em dois poços de fundação. A Ponte foi objecto de uma obra de reabilitação profunda, incluindo a aplicação de múltiplas soluções de reforço [1 e 2] necessárias para a adequar às imposições regulamentares actuais quer no que respeita às cargas de exploração, quer quanto aos aspectos relacionados com a durabilidade [3 e 4]. A obra de reabilitação teve início em Janeiro de 2006 e foi finalizada em Maio de 2008.

PALAVRAS-CHAVE

Reabilitação, reforço, reparação, segurança, pré-esforço exterior, aço estrutural.

¹ Armando Rito Engenharia, S.A., R. Hermano Neves 22 4ºA, 1600-477 Lisboa, Portugal. manuel.loureiro@arito.com.pt

² Armando Rito Engenharia, S.A., R. Hermano Neves 22 4ºA, 1600-477 Lisboa, Portugal. susana.bispo@arito.com.pt

³ Leb, Lda, Edifício Cascais Office – Rotunda das Tojas, 1º Piso – Sala F, Alcabideche, Portugal. thomazripper@leb.pt

⁴ Armando Rito Engenharia, S.A., R. Hermano Neves 22 4ºA, 1600-477 Lisboa, Portugal. armando.rito@arito.com.pt

1. INTRODUÇÃO

A presente comunicação refere-se à Obra de Reabilitação da Ponte da Barra sobre o Canal de Mira, em Aveiro, integrada na E.N. 109-7. O projecto da ponte é da autoria do Prof. Edgar Cardoso, com data de 1971, tendo a obra entrado em serviço no ano de 1975.

O projecto de reabilitação foi concluído em Novembro de 2004 e a obra teve lugar entre Janeiro de 2006 e Maio de 2008.

Este artigo foca essencialmente os trabalhos de reforço que tiveram como objectivo corrigir algumas deficiências [1 e 2] e adequar a obra às imposições regulamentares actuais, quer no que respeita às cargas de exploração, quer quanto aos aspectos relacionados com a durabilidade [3 e 4], garantindo assim, a melhoria dos seus níveis de desempenho.

Serão apresentadas as principais fases que constituíram a execução de cada uma das intervenções de reforço, bem como alguns dos equipamentos adoptados para permitirem a realização dos trabalhos.

2. DESCRIÇÃO GERAL DA PONTE

A ponte da Barra tem um desenvolvimento de 578,0 metros, entre eixos de apoio nos encontros (Fig. 1), tendo o tramo central 80,0 metros e os viadutos de acesso, simétricos em relação ao tramo central, 249,0 metros cada, sendo constituídos por um tramo extremo de 25,0 m e sete tramos de 32,0 m.



Figura 1. Vista Geral da Ponte da Barra

O tabuleiro dos viadutos (Fig. 2) é constituído por 4 vigas longitudinais ligadas por uma laje superior. As vigas, de altura variável, são pré-esforçadas longitudinalmente. A laje, de espessura variável, é pré-esforçada transversalmente.

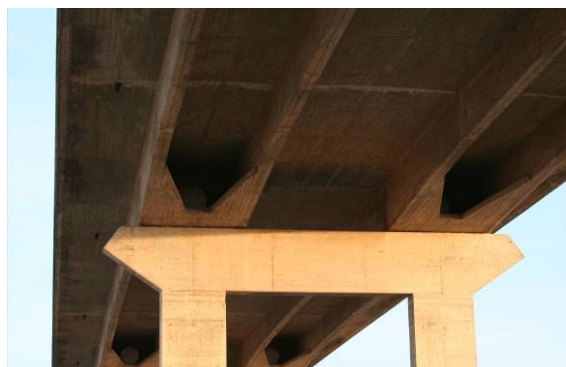


Figura 2. Tabuleiro dos tramos correntes

Nos três vãos centrais o tabuleiro é constituído por dois caixões de altura variável e almas de espessura constante. O tramo central é formado por duas consolas de 34,0 metros ligadas por um tramo simplesmente apoiado nas suas extremidades, situando-se a junta de dilatação num dos extremos do tramo apoiado. O tramo simplesmente apoiado vence um vão de 12,0 metros sendo

constituído por uma laje em betão armado e pré-esforçado, igual à laje corrente do tabuleiro, apoiada em quatro vigas longitudinais de altura variável, crescente para os apoios.

O tabuleiro está apoiado sobre as travessas dos pilares e mesas dos encontros através de placas de chumbo. O tramo simplesmente apoiado apoia-se nas consolas da estrutura contínua da ponte por meio de quatro placas de chumbo, de um dos lados, e por intermédio de quatro aparelhos móveis metálicos de rolos, do lado oposto.

Os pilares (Fig. 3), em betão armado, são essencialmente constituídos por dois pórticos sobrepostos. O primeiro pórtico, onde descarrega a superestrutura, é constituído por uma travessa e dois montantes com secção rectangular. O segundo pórtico é constituído por um lintel, onde se encastram os montantes do pórtico superior, e por dois pegões de fundação.



Figura 3. Vista dos pilares

Os encontros são constituídos por caixas ocas, fechadas em todos os lados, sendo as forças horizontais transmitidas pelo tabuleiro transferidas por escoras/tirante à laje de ensaleiramento que coroa os poços de fundação.

3. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS INTERVENÇÕES DE REFORÇO

O facto de se tratar de uma intervenção de reforço profunda, abrangendo a quase totalidade de uma obra de grandes dimensões, implicou, inevitavelmente, a introdução de ligeiros ajustes do projecto à realidade da obra. Ainda assim, a execução dos trabalhos de reforço e o seu faseamento decorreram seguindo criteriosamente o adoptado no projecto de execução, tendo-se observado em obra a viabilidade da materialização integral do que estava definido nas peças desenhadas e escritas do projecto.

Apresentam-se de seguida as principais intervenções de reforço, descrevendo as tarefas mais importantes de cada uma e as implicações inerentes à sua realização.

3.1 Reforço do tabuleiro

3.1.1 O Pré-esforço exterior

O tabuleiro foi reforçado com a adição de cabos longitudinais de pré-esforço exterior de forma a equilibrar os esforços actuantes e a eliminar as tensões de tracção, passando a garantir-se a segurança em relação aos estados limites de utilização.

Foi introduzido 1 cabo de 19 cordões de 15 mm por viga nos vãos correntes (Fig. 4) e 3 cabos de 7 cordões de 15 mm por alma nos tramos em caixa (Fig. 5). Com a adopção deste pré-esforço garantiu-se, ainda, a segurança aos estados limites últimos de resistência à flexão e ao esforço transversal nos tramos correntes.



Figura 4. Pré-esforço exterior nos tramos correntes



Figura 5. Pré-esforço exterior nos tramos em caixão

Para concretizar esta solução foram construídos, em cada vão corrente, dois desviadores em betão armado e as carlingas de apoio existentes foram devidamente reforçadas. Após a execução de sondagens, com recurso á tecnologia de georadar, para a determinação da posição real dos cabos interiores existentes, procedeu-se à furação das paredes laterais para a colocação de barras de pré-esforço e de armaduras passivas chumbadas às vigas existentes com resina epoxy, que permitiram garantir a ancoragem das novas peças de betão às existentes. Nas figuras seguintes apresentam-se as principais fases da execução destes trabalhos.



Figura 6.
Preparação das
superfícies



Figura 7. Montagem
e selagem das
armaduras passivas



Figura 8. Conclusão das
peças com introdução
das barras de pré-esforço

Para as ancoragens do pré-esforço exterior nas carlingas sobre os encontros (Fig.9), pilares adjacentes aos pilares centrais (Fig.10) e ao longo dos tramos em consola e adjacentes (Fig.11), foram construídos maciços com capacidade suficiente para resistir aos esforços introduzidos pelas ancoragens e, simultaneamente, transmiti-los eficientemente ao tabuleiro.



Figura 9. Maciços de ancoragem sobre os encontros



Figura 10. Maciços de ancoragem sobre os pilares de transição



Figura 11. Maciços de ancoragem ao longo dos tramos em caixão

3.1.2 O Reforço das lajes inferiores dos tramos centrais em caixão

A falta de área de banzo de compressão nos tramos em caixão, levou à necessidade de reforço das lajes inferiores com perfis metálicos solidarizados ao betão existente por meio de conectores de corte para garantir o seu funcionamento solidário com a laje original, e fixadores perpendiculares à laje dimensionados para anular a tendência de encurvadura dos perfis no plano vertical quando são submetidos ao esforço de compressão máximo. Para a execução desta solução, foram abertas caixas espaçadas de 2,0m na laje inferior dos caixões para encaixe dos conectores e posterior selagem (Fig. 12). A laje foi também furada para passagem dos parafusos dos fixadores (Fig. 13).



Figura 12. Pormenor da instalação dos conectores



Figura 13. Dispositivos de fixação perpendiculares à laje

Para o funcionamento eficiente do reforço, antes do refechamento das caixas onde ficam instalados e selados os conectores, os perfis foram comprimidos através de macacos planos colocados entre as extremidades dos perfis e a zona maciça de extremidade dos tramos em consola. A compressão dos perfis alivia a compressão na laje inferior e aproxima os níveis de tensão entre as duas partes, garantindo a entrada em carga do reforço para as cargas permanentes. Nas figuras 14 e 15 mostram-se as imagens do interior e exterior dos caixões já reforçados.



Figura 14. Vista do reforço pelo interior dos tramos em caixão



Figura 15. Vista do reforço pelo exterior dos tramos em caixão

3.1.3 O Reforço das almas dos tramos centrais em caixão

Devido à falta de armadura de esforço transversal ao longo dos tramos em consola e adjacentes, as almas do caixão foram reforçadas com barras de pré-esforço verticais a toda a altura, espaçadas longitudinalmente de 1,0 metros. Estas barras ficaram acomodadas em maciços ancorados às almas

através de armaduras ordinárias, de forma a permitir uma eficiente transmissão de esforços e um bom funcionamento do reforço.

Nas figuras seguintes podem ser observadas algumas das principais fases de execução destes trabalhos, constituídos essencialmente pelas demolições locais da laje superior, preparação das superfícies das almas por picagem, a montagem das armaduras e cofragens, a instalação das barras verticais, as betonagens e a aplicação do pré-esforço nas barras.



Figura 16.
Demolições locais



Figura 17. Montagem
das armaduras e
cofragens



Figura 18. Instalação
das barras de pré-
esforço

3.1.4 O Reforço do tramo simplesmente apoiado

Para garantir a segurança aos estados limites últimos junto dos apoios do tramo isostático, as consolas curtas que constituem essas zonas foram reforçadas para o esforço transversal com barras de pré-esforço inclinadas a 45° em relação ao eixo longitudinal do tabuleiro, e para a flexão com barras horizontais.

Para acomodar as barras de reforço, foram construídos maciços junto às vigas, que lhes ficaram ancorados por meio de barras de pré-esforço transversais e armaduras ordinárias seladas com resina epoxy, de forma a permitir uma eficiente transmissão de esforços e consequentemente um bom comportamento do conjunto reforço-viga existente. Nas imagens da figura 19 pode ser observado o desenvolvimento destes trabalhos.



Figura 19. Reforço dos apoios do tramo isostático

3.1.5 O reperfilamento do tabuleiro

Um dos objectivos do projecto era o de conseguir reperfilar a obra elevando a plataforma, através de reforço e enchimentos, para a sua configuração original. No entanto, tal não foi possível, tendo sido necessário adoptar uma solução de compromisso que assentava no princípio de corrigir a deformada do tramo central em cerca de 10 cm em vez dos 17 cm que eram necessários para obter o perfil original.

Com efeito, dada a muito pequena excentricidade que se conseguiu para o pré-esforço adicional no tramo central, para se conseguir introduzir uma contra-deformada suficiente era necessário aplicar níveis de pré-esforço que, além de não serem compatíveis com a capacidade resistente da estrutura não tinham eficácia adequada. Por outro lado, não era possível subir o tramo apoiado por forma a conseguir anular a totalidade da deformada já que, se tal fosse feito, as faces inferiores das consolas do tramo simplesmente apoiado, ficariam também acima das faces superiores das consolas do tabuleiro que o suporta.

A decisão tomada foi pois a de subir o tramo simplesmente apoiado de 7 cm, os quais junto com as recargas nas duas consolas que o suportam e a recarga no próprio tramo representam uma compensação que ficou, como referido anteriormente, cerca de 7 cm abaixo da rasante original.

Na figura 20 apresenta-se um gráfico onde se pode observar a diferença entre o perfil longitudinal resultante do levantamento topográfico da obra deformada e a rasante proposta pelo empreiteiro com base no princípio de reperfilamento definido no projecto de execução.

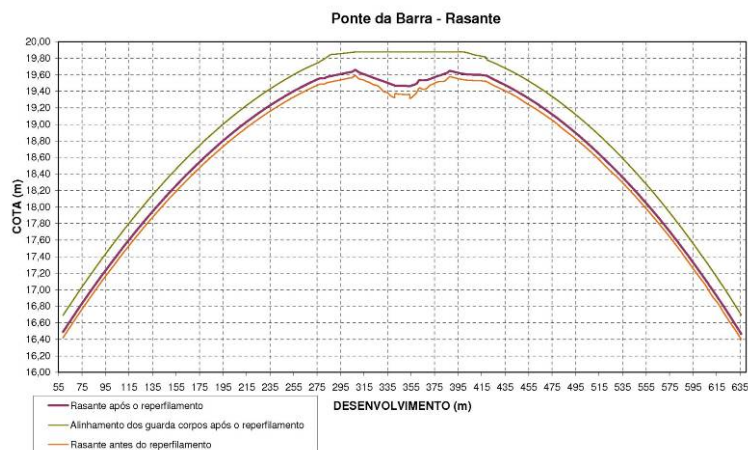


Figura 20. Gráfico comparativo entre o perfil longitudinal da ponte com deformação do tramo central e o perfil após a correcção parcial da rasante

3.1.6 O alargamento do tabuleiro

Os passeios foram alargados para permitir a circulação simultânea de peões e ciclistas. Para isso, as consolas foram aumentadas e as vigas de bordadura existentes substituídas por outras relativamente leves, de forma a não aumentar significativamente as cargas permanentes no tabuleiro. A continuidade transversal da laje foi garantida por sobreposição das novas armaduras com as existentes. Para isso, procedeu-se à demolição do betão com conservação das armaduras na extremidade da consola, com os cuidados necessários para não danificar o pré-esforço transversal existente na laje. As figuras seguintes mostram as fases mais importantes da execução destes trabalhos.



Figura 21. Demolição cuidada da extremidade das consolas



Figura 22. Consolas após o alargamento

3.1.7 A substituição dos aparelhos de apoio

Todos os aparelhos de apoio foram substituídos devido ao seu estado de degradação (Fig. 23). Para a substituição dos aparelhos de apoio, foi necessário levantar o tabuleiro de um valor máximo de 15 cm, de forma progressiva e de acordo com uma sequência estudada em projecto para minimizar os esforços introduzidos no tabuleiro devido aos deslocamentos diferenciais impostos.

Para a execução destes trabalhos, o Empreiteiro dispunha de três conjuntos de oito macacos hidráulicos (dois por viga em cada apoio) que permitiam a elevação sincronizada do tabuleiro em três alinhamentos de pilares (Fig. 24). Após o corte dos ferrolhos existentes e a elevação do tabuleiro,

procedia-se à retirada dos aparelhos originais, à reparação e regularização das mesas de apoio nas travessas superiores dos pilares, à colocação dos novos aparelhos e finalmente à descida do tabuleiro e entrada em carga dos novos apoios. Na figura 25 pode ser observada uma fase intermédia dos trabalhos e na figura 26, os novos aparelhos já em carga.



Figura 23.
Aparelhos
originais



Figura 24.
Sistema
hidráulico
de elevação



Figura 25.
Reparação
das mesas
de apoio



Figura 26.
Novos
aparelhos
de apoio

3.2 Reforço dos pilares

3.2.1 Reforço realizado em todos os pilares

Os fustes e travessas superiores dos pilares correntes e as travessas superiores dos pilares centrais foram reforçados com laminados de fibras de carbono. Sempre que possível a amarração dos laminados foi garantida por comprimento de amarração. Quando, devido à geometria das peças, tal não era viável, a amarração foi feita mecanicamente por intermédio de barras de pré-esforço e/ou da sobreposição com varões de armadura passiva.

Para um reforço eficiente da base dos fustes, os laminados foram sobrepostos a varões de armadura passiva que penetram nos lintéis de fundação através de furos devidamente selados. Essa sobreposição teve lugar no interior de um novo maciço de betão que envolve a base do fuste e que foi ancorado a este por meio de barras de pré-esforço e de armaduras ordinárias. Para amarrar as fibras no nó de ligação do topo dos fustes às extremidades das travessas superiores, foram executados cachorros ancorados aos pilares por meio de barras de pré-esforço e de armaduras ordinárias. Estes cachorros tiveram também a função de suporte dos macacos de levantamento do tabuleiro para substituição dos aparelhos de apoio. Nas figuras seguintes podem ser observadas algumas das fases de execução dos trabalhos descritos.



Figura 27. Aplicação dos laminados nas
travessas e fustes dos pilares



Figura 28. Construção dos cachorros
ancorados às travessas superiores



Figura 29. Montagem das armaduras e furação dos
pilares para instalação das barras de pré-esforço



Figura 30. Reforço da base dos fustes
concluído

3.2.2 Ancoragem do tabuleiro aos pilares de transição

Para impedir o descolamento do tabuleiro sobre os pilares de transição, adjacentes aos pilares centrais, foram instalados dispositivos de fixação do tabuleiro aos pilares (Fig. 31) sendo estes constituídos, em cada caixão, por 4 cabos de pré-esforço com 3 cordões de 15 mm. No tabuleiro, são ancorados aos maciços de amarração do pré-esforço exterior e, nos pilares, aos cachorros que serviram de suporte aos macacos hidráulicos para o levantamento do tabuleiro.



Figura 31. Ancoragem do tabuleiro aos pilares

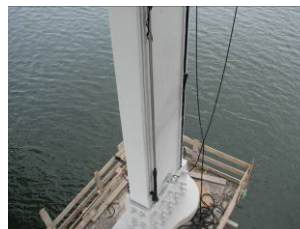


Figura 32. Pré-esforço exterior vertical dos fustes

Para anular os esforços de tracção transmitidos aos pilares pela reacção do tabuleiro, estes foram pré-esforçados (Fig. 32) entre o cachorro superior e os lintéis de fundação, também com 4 cabos de 3 cordões de 15 mm.

Os lintéis de fundação foram acrescentados de forma a garantir uma eficiente ancoragem dos cabos de pré-esforço e, em simultâneo, anular, com o acréscimo de peso, parte da reacção negativa.

Para a permitir a execução dos trabalhos de reforço e reparação dos lintéis e poços de fundação a seco, foi adoptada a utilização de ensecadeiras (Figs. 33 e 34) que consistiam em caixas constituídas por uma estrutura metálica forrada a madeira e eram dotadas, na sua parte inferior, de um sistema de fecho em torno dos pegões, constituído por anéis insufláveis, capaz de garantir a estanquicidade da ensecadeira no seu fundo.



Figura 33. Execução das ensecadeiras na margem



Figura 34. Instalação das ensecadeiras

3.3 Modificação do sistema estrutural

3.3.1 Intervenção nos encontros e no tramo simplesmente apoiado

Para reduzir as forças longitudinais introduzidas pelo tabuleiro nos encontros, os aparelhos fixos constituídos por ferrolhos e placas de chumbo foram substituídos por um sistema composto por aparelhos unidireccionais do tipo “pot bearing” e aparelhos dissipadores visco-elásticos (Fig. 35).



Figura 35. Aparelhos dissipadores na ligação do tabuleiro ao encontro



Figura 36. Dispositivos de fixação do tramo simplesmente apoiado

Foram também instalados dispositivos de fixação do tramo simplesmente apoiado às extremidades dos tramos em consola (Fig. 36). Para a instalação desses dispositivos, constituídos por chapas e barras em aço inox, foram realizados reforços locais das carlingas da extremidade dos tramos em consola, tendo-se procedido também à furação das lajes superiores para a instalação das chapas que recebem as barras longitudinais de fixação.

REFERÊNCIAS

- [1] RITO, A.; LOUREIRO, M.; BISPO, S.; RIPPER, T. – Rehabilitation of the Barra Bridge – The strengthening side. – IABMAS'06 – Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, 2006.
- [2] LOUREIRO, M.; BISPO, S.; RIPPER, T.; RITO, A. – Reabilitação da Ponte da Barra – Reforço da estrutura. – JPEE2006 – Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2006.
- [3] CARDOSO, A. [et al.] – Patologias da Ponte da Barra. A sua Identificação e Reabilitação. – Betão Estrutural – 5º Encontro Nacional sobre estruturas pré-esforçadas, 1994.
- [4] RITO, A.; NEVES, A. – As Pontes de Quintos sobre o Rio Guadiana e da Barra de Aveiro. Inspeção das estruturas. Medidas Adoptadas para a sua Reabilitação. UEM. Jornadas Luso-Moçambicanas de Engenharia de Estradas e Pontes – Maputo, 1998.