

## **Alargamento e Reabilitação do Viaduto V276 (A) da Baixa do Mondego - A1 – Sublanço Coimbra Sul/Coimbra Norte**

**Júlio Appleton**

A2P Consult, Lisboa

**António Costa**

A2P Consult, Lisboa

**Cristina Martins**

A2P Consult, Lisboa

**Marco Figueiredo**

A2P Consult, Lisboa

**João Saraiva**

A2P Consult, Lisboa

**Nuno Travassos**

A2P Consult, Lisboa

### **RESUMO**

Esta comunicação tem como objectivo apresentar o alargamento e reabilitação do Viaduto V276 (A) da Baixa do Mondego. Este localiza-se na auto-estrada A1 no Sublanço Coimbra Sul/Coimbra Norte, tendo início ao km 189+692 e destina-se à passagem superior sobre a EM 605 e ao atravessamento da Linha do Norte da REFER.

O projecto do viaduto é da autoria do Prof. Edgar Cardoso e a obra decorreu no ano de 1981. Apresenta um desenvolvimento total de 295 m e uma largura de 30.29 m, antes do alargamento. É constituído por 13 vãos, sendo os dois de extremidade de 18 m de extensão, 10 vãos de 24 m e um de 27 m, sobre a via férrea. O tabuleiro é constituído por uma laje vigada com 8 vigas de 1.20 m de altura a  $\frac{1}{2}$  vão, 1.30 m nos apoios, alma de espessura variável e apoia em pórticos de betão armado, constituídos por uma travessa e 4 pilares. As fundações dos pilares são formadas por estacas rectangulares (barretas) com um comprimento médio da ordem dos 11 m.

O projecto de alargamento do tabuleiro do viaduto integra-se no plano de beneficiação para 2 x 3 vias da auto-estrada A1. A intervenção envolve a utilização de vigas pré-fabricadas, as quais evitam a necessidade de cimbres para a execução do novo tabuleiro. As novas vigas apresentam uma secção em I com 1.30 m de altura, alma de largura variável e banzo superior com 3.00 m de largura e apoiam através de aparelhos de apoio na travessa de prolongamento dos pórticos transversais existentes. O projecto de reabilitação do viaduto surge na sequência de uma inspecção e avaliação da segurança efectuada em 2002/2003. Este projecto teve como objectivo, introduzir uma protecção geral para a estrutura de betão armado, reparar algumas deficiências localizadas e reforçar as vigas longitudinais do viaduto no tramo sobre o caminho-de-ferro.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Reabilitação

Reforço

Viaduto

## 1. INTRODUÇÃO

O projecto de alargamento do tabuleiro do Viaduto V276 (A) da Baixa do Mondego integra-se no plano do alargamento da Auto-Estrada A1 no Sublanço Coimbra Sul/Coimbra Norte. No sentido Sul-Norte além do alargamento corrente é necessário aumentar o tabuleiro para acomodar uma via de aceleração ao longo de todo o comprimento do viaduto.

Para além do alargamento realizou-se a reabilitação geral da estrutura existente. A necessidade de protecção geral da obra resultou de se ter observado no estudo de inspecção dos viadutos da Baixa do Mondego em 2002/2003, que o betão apresenta uma profundidade de carbonatação que começa a afectar uma parte significativa das armaduras e se estavam a desenvolver reacções expansivas no betão do tipo alcalis-silica. Pelo que, para retardar tais fenómenos, havia que impedir o acesso de dióxido de carbono e da água ao interior do betão através de uma pintura das superfícies.

A reabilitação envolveu, para além da protecção geral por pintura das superfícies de betão, a reparação das zonas deterioradas por corrosão das armaduras, a reparação das zonas com betão segregado, a reparação dos topos das vigas partidas sobre os aparelhos de apoio, a reparação de fendas estruturais, a reparação dos aparelhos de apoio e o reforço das vigas longitudinais no vão sobre a via férrea.

## 2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA EXISTENTE

O Viaduto V276 (A) inicia-se ao km 189+692 e destina-se a atravessar a Linha do Norte e à passagem superior sobre a EM 605. Apresenta um desenvolvimento total de 295 m e uma largura de 30.29 m, antes do alargamento. É constituído por 13 vãos, sendo 8 de 24 m de extensão, um de 27 m sobre a via férrea, dois tramos adjacentes com 20 m e dois tramos extremos com 18 m. O tabuleiro é constituído por uma laje vigada com 8 vigas de 1.20 m de altura a  $\frac{1}{2}$  vão e 1.30 m nos apoios e alma de espessura variável. O tabuleiro foi betonado in situ com excepção da zona central do tramo sobre a via férrea onde foram utilizadas vigas pré-fabricadas com 15 m. O tabuleiro é pré-esforçado na direcção longitudinal e transversal.

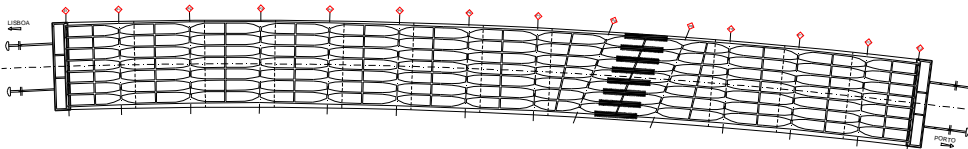


Figura 1. Planta do viaduto.

O tabuleiro apoia em pórticos de betão armado formados por uma travessa e 4 pilares. Os apoios das vigas nas travessas são constituídos por placas de chumbo excepto nos alinhamentos dos pilares P8 e P9 onde foram adoptados apoios móveis. No encontro sul os apoios são fixos enquanto que no encontro norte são móveis. As fundações dos pilares foram realizadas com estacas rectangulares (barretas) com uma profundidade média da ordem dos 11 m. Os encontros são do tipo cofre aberto no topo, com 4.65 m de extensão e cerca de 4.00 m de altura.

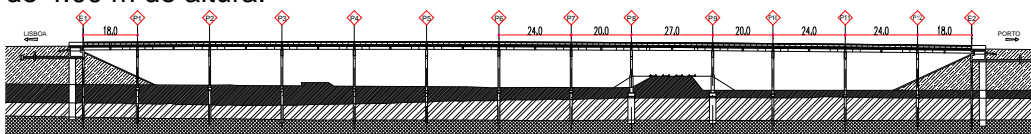


Figura 2. Corte longitudinal do viaduto.

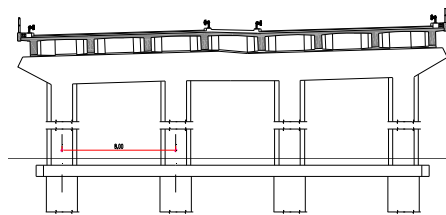


Figura 3. Corte transversal do viaduto.

No projecto original previu-se nos encontros e pilares um betão B300 e no tabuleiro B350. As armaduras para betão armado são da classe A24 nervuradas e para armaduras de pré-esforço especificou-se uma resistência superior a 1200 MPa.

### 3. INSPECÇÃO À OBRA EXISTENTE

Na inspecção in situ realizada em 2002/2003 (complementada em 2005) foi identificado um conjunto de patologias na obra existente, as quais se apresentam em seguida.

- Delaminação com exposição de armaduras em zonas com defeitos de betonagem ou em zonas com deficiente recobrimento (Fig. 4). A obra apresentava, em geral, as vigas do tabuleiro com zonas localizadas afectadas pela corrosão das armaduras, em número significativo. A extensão dessas zonas variava entre 10 a 50 cm.
- Juntas de betonagem defeituosas (Fig. 5). Estas zonas são as que mais problemas apresentavam, verificando-se, na maioria dos casos, betão deficiente com aspecto poroso e/ou segregado e em algumas situações corrosão de armaduras. Por vezes observando-se escorrências/eflorescências nas juntas, sinal de infiltração de água pela face superior do tabuleiro.
- Aparelhos de apoio fixos (Fig. 6). Estes elementos apresentam na generalidade corrosão nas placas de aço e nos parafusos necessitando de uma pintura de protecção, após decapagem.
- Aparelhos de apoio móveis deteriorados (Fig. 7). Estes aparelhos apresentam na generalidade corrosão nas placas de aço, lâminas de aço inox com deslocamentos significativos e algumas situações com a placa de neoprene deslocada da posição correcta.
- Placas de chumbo no apoio das vigas nas travessas esmagadas (Fig. 8). Estas placas apresentam-se muito deformadas o que originou em algumas situações o contacto directo betão/betão e o conseqüente esmagamento local do betão.
- Juntas de dilatação danificadas (Fig. 9). Verifica-se que a argamassa adjacente às juntas se apresenta danificada em algumas zonas. A junta do encontro móvel apresenta uma abertura muito acentuada que poderá exceder a sua capacidade de deformação.



Figuras 4 e 5. - Delaminação do betão por corrosão das armaduras (viga exterior e viga de bordadura) e Junta de betonagem na laje.



Figuras 6 e 7. - Aparelho de apoio fixo e Apoio móvel com placa de neoprene deslocada.



Figuras 8 e 9. - Placa de chumbo deformada e Junta no encontro móvel muito aberta.

#### 4. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA OBRA DE ALARGAMENTO

O alargamento do tabuleiro foi concebido tendo em conta os condicionamentos existentes. Assim a solução para o tabuleiro envolveu a utilização de vigas pré-fabricadas, as quais evitaram a necessidade de cimbragem para a execução do alargamento do tabuleiro existente. As novas vigas apresentam uma secção em I de altura igual a 1.30 m e largura de alma variável de 0.30 m no vão a 0.50 m sobre os apoios. O banzo superior tem 3.00 m de largura e o inferior varia de 0.60 m a meio vão a 0.80 m nos apoios.

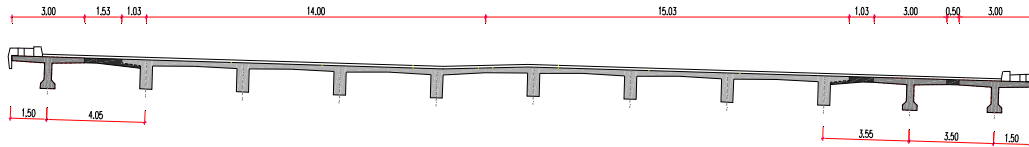


Figura 10. Corte transversal do tabuleiro após alargamento.

As vigas foram executadas em fábrica e colocadas em apoios provisórios sobre os pilares. O banzo superior das vigas constitui uma parte da laje do tabuleiro, com a totalidade da espessura desta. As vigas foram solidarizadas sobre os apoios por betonagem "in situ" do alargamento da carlinga existente e foram pré-esforçadas longitudinalmente através de cabos inseridos no banzo superior (pré-esforço de continuidade – Fig. 11). A interligação entre vigas e entre as novas vigas e o tabuleiro existente foi feita por betonagem "in situ" (Fig. 12) dos respectivos troços de laje para o que se utilizou um cimbre móvel suspenso da própria estrutura.

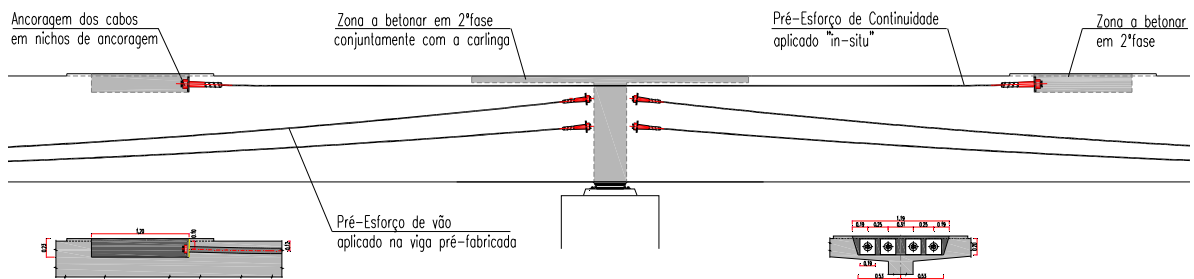
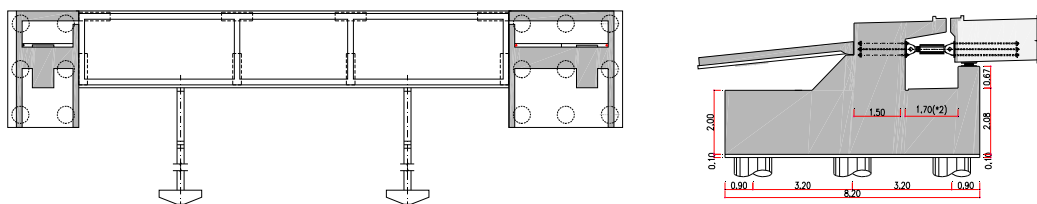


Figura 11. Pré-esforço de vão e Pré-esforço de continuidade.



Sob o ponto de vista sísmico a obra existente foi concebida com uma fixação do tabuleiro ao encontro sul, sendo todos os pilares articulados na ligação ao tabuleiro e dispendo-se de apoios móveis com guiamento no encontro norte. A fixação do tabuleiro existente foi concebida no projecto original do viaduto com um sistema de parafusos em 4 dos 8 apoios do encontro sul, os quais serão cortados (fusível) para uma força prevista de 875 kN. Com o presente alargamento concebeu-se uma solução onde a ligação do tabuleiro é feita nos dois encontros na zona a alargar (Fig. 19), através de amortecedores viscosos (Fig. 20) os quais irão controlar o comportamento sísmico do viaduto se, para um sismo intenso, os referidos parafusos/conectores forem cortados. No sentido transversal a força horizontal será absorvida igualmente pelos encontros do alargamento através da introdução de um batente lateral.



Figuras 19 e 20. Planta e Corte do Encontro sul - Existente e alargamentos.

## 5. EXECUÇÃO DOS TRABALHOS

### 5.1 Reparação, reconstrução e reforço de secções de betão armado existente

A intervenção teve como objectivo reparar as anomalias e danos estruturais e introduzir uma protecção geral para a estrutura de betão armado, para além do reforço das vigas longitudinais do viaduto no tramo sobre o caminho-de-ferro.

A protecção geral consiste num revestimento superficial que tem os seguintes objectivos:

- Impedir a penetração de dióxido de carbono que, nesta obra, constitui o principal agente agressivo que causa a corrosão das armaduras. A inspecção realizada mostrou que a profundidade de carbonatação do betão é significativa e afecta já parte das armaduras situadas junto às faces dos elementos estruturais. Desta forma, importa estancar este processo para evitar que a despassivação das armaduras progrida na estrutura, quer em extensão quer em profundidade.
- Impedir a penetração dos elementos necessários ao desenvolvimento do processo de corrosão e das reacções expansivas álcalis-silica, nomeadamente a água.
- Conferir à estrutura uma textura superficial uniforme. Após as reparações locais a superfície do betão irá apresentar um aspecto heterogéneo que é inestético.

Os principais tipos de anomalias envolvidos na reparação têm em geral associadas situações de armaduras expostas com corrosão. Correspondem a zonas com delaminação, com deterioração superficial ou com armaduras superficiais (Fig. 4 e 5). As intervenções foram ajustadas em função do volume a reconstruir e/ou adicionar, recorrendo-se a uma argamassa de reparação para intervenções com espessura até 5 cm e utilizando-se microbetões para espessuras superiores.

Em duas vigas houve necessidade de reparar os respectivos topos por estes se encontrarem partidos sobre os aparelhos de apoio fixos. Para efectuar a reparação foi necessário realizar o escoramento de cada viga na zona lateral introduzindo apoios provisórios nas carlingas. Esses apoios assentaram em macacos apoiados na viga de

estribo do encontro, seguindo-se o alívio da carga permanente através da colocação dos macacos em carga. Procedeu-se em seguida à demolição da zona da viga danificada, à limpeza de armaduras e à preparação da superfície do betão. Finalizou-se com o reforço de armaduras quando as existentes apresentavam perda de secção superior a 25% e com a reposição do betão demolido com betão auto-compactável.

Os aparelhos de apoio no encontro fixo da obra apresentam deterioração superficial devida à corrosão. Os trabalhos de reparação consistiram no saneamento e remoção dos produtos de corrosão e da pintura existente por meio de jacto abrasivo, seguida da aplicação de uma nova protecção de elevada qualidade.

Os aparelhos de apoio no encontro móvel apresentam um nível de deterioração elevado. Para efectuar a reparação foi necessário realizar o escoramento do tabuleiro sobre o encontro introduzindo apoios provisórios nas carlingas, assentes na viga de estribo, através de macacos, seguido do alívio da carga permanente pondo todos macacos em carga e levantamento do tabuleiro em 1 a 2 mm. Seguiu-se a remoção das placas de neoprene e chapas de aço inox, a limpeza e pintura das placas de aço dos aparelhos de apoio de acordo com o indicado atrás, a colocação de novas placas de neoprene com teflon e novas chapas de aço inox fixadas à placa superior do aparelho de apoio.

As vigas longitudinais do tramo sobre o caminho de ferro apresentavam capacidade resistente deficiente na zona da ligação entre os elementos pré-fabricados e os betonados "in situ". Estas zonas foram reforçadas recorrendo a sistemas CFRP (fibras de carbono) dada a maior facilidade de execução deste tipo de reforço. Refira-se que as zonas de intervenção se situam próximas das catenárias do caminho de ferro pelo que os trabalhos nestes locais tiveram de ser simples por forma a que decorressem de forma rápida. O reforço foi executado através de laminados de carbono colados à face inferior das vigas e mantas de carbono que abraçam estes laminados e se prolongam pela alma das vigas.

A alteração do funcionamento do viaduto para a acção sísmica (maiores deslocamentos) e o estado das juntas existentes implicaram a substituição das mesmas.

## **5.2 Execução do alargamento**

O principal condicionamento na concepção e execução do alargamento foi a proximidade da ribeira e a necessidade de preservação dos seus taludes.

Ao nível do tabuleiro, começou-se pela remoção da viga de bordadura existente, monolítica com a laje. Tratou-se de uma remoção parcial em virtude da existência de pré-esforço transversal no tabuleiro, cujas cabeças de ancoragem se situavam junto às vigas de bordadura (Fig. 12). Esta situação implicou a impossibilidade de demolição completa das consolas existentes, no que seria uma solução que permitia uma execução mais simples e rápida do alargamento do tabuleiro em obra. Ao invés do que se conseguiria com essa solução, houve a necessidade de uma betonagem sob a consola existente, decorrente da necessidade de melhorar a ligação entre o existente e o betão novo, já que a espessura da consola existente é diminuta na extremidade (Fig. 12). A ligação ao existente foi reforçada com conectores. Todas as superfícies de ligação entre betão novo e existente, no tabuleiro e na infra-estrutura, foram objecto de tratamento (picagem e limpeza) como é visível na Fig. 21 numa travessa.

A betonagem "in-situ" correspondente à ligação entre as vigas pré-fabricadas e o tabuleiro (Fig. 23), foi executada com um betão aditivado para redução da retracção.

Nas figuras 21 a 28 apresentam-se alguns aspectos dos trabalhos atrás referidos.



Figuras 21 e 22. – Preparação da superfície do betão para alargamento da travessa existente e Reforço das vigas com CFRP sobre o caminho de ferro.



Figuras 23 e 24. – Ligação entre viga pré-fabricada e o tabuleiro existente junto a reforço com CFRP e Aspecto de um pilar corrente e tabuleiro após o alargamento finalizado.



Figuras 25 e 26. – Pilar P7 e Pilar P10 após alargamento.



Figuras 27 e 28. – Detalhe da extremidade das travessas sobre a qual ainda está a cofragem na ligação "in-situ" entre topos de vigas e Aspecto do viaduto após alargamento (lado poente).