

# Reabilitação do Viaduto sobre o Rio Trancão

António Costa  
*A2P Consult*

Júlio Appleton  
*A2P Consult*

**RESUMO:** Neste artigo apresentam-se as soluções de reforço e reparação relativas à Reabilitação do Viaduto sobre o Rio Trancão. A intervenção de reabilitação consistiu na reparação das zonas deterioradas e protecção por pintura da estrutura de betão, eliminação das juntas de dilatação intermédias do tabuleiro e reabilitação dos aparelhos de apoio. O reforço estrutural consistiu na execução de um sistema de isolamento de base dos arcos e amortecimento sísmico, reforço das fundações, reforço de elementos com fibras de carbono, substituição dos aparelhos de apoio nos encontros e estabelecimento da continuidade longitudinal do tabuleiro. Todos os trabalhos de reforço foram realizados com a obra em pleno funcionamento.

## 1 DESCRIÇÃO DA OBRA

O Viaduto sobre o rio Trancão na A1, localizado entre o km 2+139 e o km 2+468, destina-se a atravessar o vale deste rio e foi concluído em 1959. O viaduto é integralmente de betão armado e apresenta um desenvolvimento total de cerca de 329m e uma largura de 30.29m. É constituído por 5 conjuntos de 6 arcos – 5 vãos na direcção longitudinal com 57m – funcionando cada um dos 6 arcos individuais como um pórtico em conjunto com as vigas longitudinais do tabuleiro e os montantes que ligam os arcos individuais a estas vigas. Globalmente, o tabuleiro tem funcionamento longitudinal em viga Gerber, com 6 tramos simples com 5.50m de comprimento apoiados nos extremos dos 5 arcos longitudinais, 'Figura 1'.



Figura 1 – Vista geral do Viaduto sobre o Rio Trancão

O tabuleiro é em laje vigada, com espessura variável, entre o mínimo de 0.20m e o máximo de 0.40m, junto às vigas longitudinais e transversais, as quais estão

afastadas, respectivamente, de 4.40m e 9.50m. As vigas longitudinais possuem secção transversal em T, com altura igual a 1.20m, excepto na ligação aos arcos. As vigas transversais possuem igualmente secção em T constante, com altura e largura da alma iguais a 1.00m e 0.40m, respectivamente.

Os arcos são poligonais e biarticulados. Estas articulações, materializadas por ligações entre as bases dos arcos e os maciços de estacas, são constituídas por 19 ferrolhos de aço Ø 32mm centrados e por uma placa de contacto em chumbo. A distância entre eixos das rótulas é de 51.50m. Os arcos possuem secção rectangular, com as dimensões da secção transversal variáveis em altura, com máximos de 1.50m na direcção longitudinal e de 2.00m na direcção transversal. Os 6 arcos integram-se em 6 pórticos paralelos, com afastamento a eixos igual a 4.40m, ligados por dois níveis de contraventamentos com secção circular. Os contraventamentos dos níveis inferior e superior têm diâmetros iguais a 1.00m e 0.70m, respectivamente. Nos dois níveis de intersecções dos contraventamentos com os arcos existem montantes inclinados com secção rectangular (0.60m na dimensão longitudinal e largura igual à do arco na dimensão transversal) que apoiam as vigas longitudinais do tabuleiro, completando assim os 6 pórticos longitudinais de cada vão, 'Figura 1'.

Os arcos estão apoiados em estruturas constituídas por maciços de encabeçamento de estacas. Estes elementos apresentam dimensões de 25.3 x 6.50 x 2.0 m<sup>3</sup> a partir dos quais nascem montantes curtos que apoiam a base dos arcos. Em cada alinhamento cada conjunto de seis arcos apoia-se em 18 estacas Ø 1.0 m, sendo 12 estacas inclinadas a 6° e 6 estacas verticais.

O encontro Norte é aparente, em cofre, com 26.40m de largura e 18.83m de altura até à face superior da sapata. Este encontro é constituído por abóbadas verticais ligadas a gigantes de betão armado. A fundação destes encontros é directa por sapatas de grandes dimensões. Note-se que a base Norte dos arcos do 5º vão apoiam-se sobre a sapata deste encontro. O encontro Sul é perdido, sendo constituído por um muro de testa e dois muros de avenida, de pequena altura e do tipo corrente. Este encontro está fundado sobre sapatas.

No local de implantação do viaduto os terrenos do substrato rochoso encontram-se cobertos por depósitos aluvionares constituídos por camadas de lodos, de areias lodosas e de areias. O vale fóssil atinge a profundidade de 55 metros na zona central do vale.

Trata-se de uma obra de grande qualidade estética, concebida de modo a apresentar reduzida sensibilidade a deslocamentos das fundações dadas as elevadas dificuldades existentes a este nível.

## 2. SÍNTESE DA INSPECÇÃO

### 2.1 Anomalias

As principais anomalias observadas no viaduto foram as seguintes:

i- As vigas não apresentavam, na generalidade, sinais de deterioração significativos, observando-se apenas alguns casos onde ocorriam delaminações de betão como consequência da corrosão das armaduras. Estas situações concentravam-se essencialmente na face inferior das vigas sendo originadas por recobrimentos reduzidos ou deficiências de compactação do betão;

ii- Nas lajes do tabuleiro os locais que mais problemas apresentavam eram as zonas das juntas estruturais, observando-se em todas elas marcas de escorrências de água, sinal de infiltração de água pela face superior do tabuleiro 'Figura 2'. Em algumas destas zonas, o betão apresentava-se degradado e as armaduras pontualmente expostas. Nas consolas verificava-se a ocorrência sistemática de delaminações pontuais do betão, com conseqüente exposição local de varões de

armadura, em zonas de furacões executadas em intervenção anterior relativa ao alargamento das faixas de rodagem, 'Figura 2';

iii- A obra apresenta aparelhos de apoio móveis e fixos nas juntas estruturais entre arcos, nos extremos dos tramos simples apoiados, e nos encontros. Os aparelhos de apoio móveis em aço, do tipo rolete, apresentavam-se com corrosão significativa. Alguns aparelhos apresentavam deslocamentos elevados que excediam a capacidade de deformação permitida pelas chapas laterais, 'Figura 3';

iv- Os arcos individuais apresentavam em alguns pontos, dispersos ao longo da obra, delaminação local do betão causada pela reacção expansiva da corrosão. Os contraventamentos apresentavam de forma generalizada e sistemática delaminações locais de betão 'Figura 4' causadas pela reacção expansiva da corrosão das armaduras que se desenvolveu em zonas de reduzido recobrimento das cintas;

v- O betuminoso estava fendilhado na zona da junta dos apoios fixos dos tramos de ligação entre arcos, 'Figura 4'. As juntas de dilatação do tipo elastómero modificado localizadas nas juntas móveis intermédias e nos encontros evidenciavam infiltrações;



Figura 2 – Escorrências de água nas juntas estruturais do tabuleiro e delaminações locais nas consolas



Figura 3 – Aparelhos de apoio nos encontros e nas juntas intermédias do tabuleiro com corrosão



Figura 4 – Corrosão de armaduras nos contraventamentos e fendilhação do pavimento betuminoso

## 2.2 Ensaaios Realizados

Para caracterizar a deterioração foram realizados diversos ensaios entre os quais: medição do recobrimento de armaduras, profundidade de carbonatação, teor em cloretos no betão, resistência à compressão do betão. Dos ensaios efectuados concluiu-se o seguinte:

i- Os recobrimentos das armaduras são muito variáveis. Os valores mais baixos verificados são nas carlingas, arcos, contraventamentos e vigas longitudinais do tabuleiro. Mediram-se, globalmente, valores entre 5 e 67mm verificando-se uma elevada dispersão da espessura de recobrimento nos diferentes elementos estruturais;

ii- A profundidade de carbonatação é pequena, com valores médios da ordem de 5mm e máximos de 8mm. Trata-se de valores muito reduzidos face à idade da obra o que indicia um betão de elevada qualidade, embora se tenha verificado que a estrutura apresentava vestígios de um revestimento de pintura aplicado, provavelmente, na altura da execução. As profundidades de carbonatação medidas indicam que as armaduras com recobrimentos inferiores a valores da ordem de 10-13mm poderão estar despassivadas. É, assim, natural que pontualmente se comecem a observar zonas com corrosão e delaminação do betão. Por outro lado, isto significa que é necessário proceder à protecção superficial do betão para evitar a progressão do fenómeno da corrosão que de outra forma irá atingir mais regiões da obra;

iii- A resistência à compressão do betão medida em provetes retirados da obra por carotagem é relativamente elevada (valores entre 53 e 82 MPa) e o betão é de boa qualidade;

iv- Nas zonas adjacentes ao rio Trancão observa-se uma contaminação por cloretos associados ao efeito de vento na praia-mar, situação em que a água do estuário tem uma concentração de cloretos semelhante à água do mar. O teor crítico de cloretos já se verifica a uma profundidade de 2cm a 4cm.

## 3. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL

O comportamento estrutural do viaduto foi analisado para as acções gravíticas, acção do vento e acção sísmica. Para o efeito foi realizado um modelo tridimensional de todo o viaduto incluindo as fundações em estacaria.

A acção sísmica foi considerada através do espectro de resposta elástica de aceleração definido no Documento Nacional de Aplicação (DNA) do EC8 - NP ENV 1998-1-1: 2000 para terrenos do tipo C, depósitos aluvionares no presente caso, conforme requisito definido pelo Dono da Obra.

A análise realizada permitiu concluir que a estrutura apresenta um comportamento adequado para as acções gravíticas e para acção do vento. No que se refere ao comportamento sob a acção sísmica verificaram-se deficiências importantes que colocam em causa a segurança da estrutura. Refira-se que à data da execução da obra a acção sísmica não era considerada para o dimensionamento deste tipo de estruturas.

Foram verificadas deficiências relevantes a vários níveis. O primeiro tipo de deficiência é relativo aos deslocamentos da estrutura induzidos pelos sismos. O facto da ligação entre os diferentes vãos do viaduto ser realizada com tramos simplesmente apoiados ao nível do tabuleiro, incorporando uma junta de dilatação, confere um comportamento independente a cada uma das estruturas associada a cada vão. Isto significa que os diferentes módulos estruturais entre juntas podem movimentar-se em contra-fase sob a acção sísmica como ilustram alguns dos modos de vibração da obra 'Figura 5'. Dado que os aparelhos de apoio nas juntas não apresentam capacidade de deformação transversal e longitudinal suficiente, as vigas dos tramos simplesmente

apoiados poderão sair do lugar originando uma situação gravosa relativa à segurança envolvendo uma provável queda destes tramos.

O segundo tipo de deficiência é relativo à capacidade resistente da estrutura. Verifica-se, de uma forma generalizada, que os elementos estruturais apresentam uma resistência muito inferior aos esforços induzidos pela acção sísmica o que significa que a estrutura sofrerá danos elevados para sismos de média intensidade e, provavelmente, colapsará no caso da ocorrência de um sismo de elevada intensidade.

Os elementos que apresentam maiores deficiências de resistência são as estacas, os arcos e montantes e as travessas circulares inferiores de travamento dos arcos, verificando-se que a integridade dos três primeiros elementos é fundamental para garantir a estabilidade da obra.

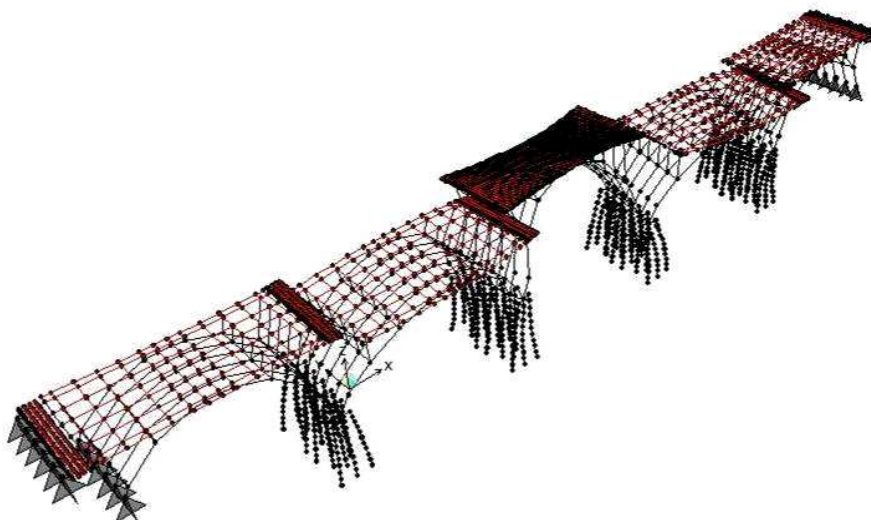


Figura 5 – Configuração relativa ao 1º modo de vibração (transversal).

Na figura 6 apresenta-se de forma esquemática a relação entre os esforços actuantes e os esforços resistentes para a combinação de acções que envolve o sismo.

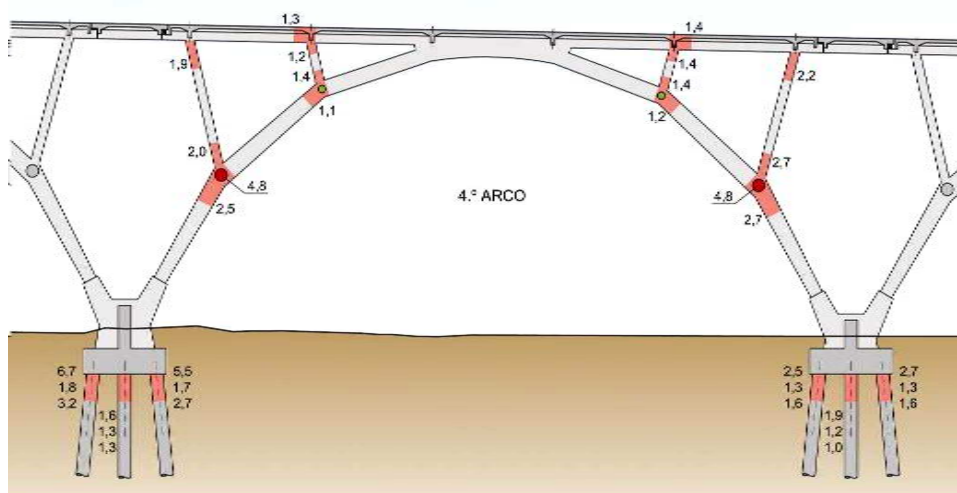


Figura 5 – Razão entre esforços actuantes e resistentes.

Os valores apresentados são relativos ao 4º arco, os quais são representativos do que se passa na restante estrutura. Para as estacas apresentam-se três valores do parâmetro acima referido dado que existem diferenças significativas entre os vários

alinhamentos de estacas dum mesmo maciço de fundação devido às diferentes inclinações destes elementos estruturais. Os esforços actuantes foram calculados assumindo um coeficiente de comportamento de 2.0, valor que se considerou adequado face à pormenorização de armaduras existente e à apreciação da ductilidade dos elementos estruturais, embora em algumas situações pontuais este valor não pudesse ser garantido devido a roturas precoces por corte.

Tratando-se de uma obra localizada numa via de acesso estratégica importa garantir a sua funcionalidade após a ocorrência de um sismo de elevada intensidade.

#### 4. REABILITAÇÃO GERAL

As principais intervenções de reabilitação da obra em causa foram as seguintes:

- i- Protecção geral da obra com um novo sistema de pintura de base acrílica de elevado desempenho;
- ii- Reparação das zonas com corrosão dos elementos de betão armado;
- iii- Reabilitação dos aparelhos de apoio dos tramos simplesmente apoiados do tabuleiro;
- iv- Substituição das juntas de dilatação nos encontros por juntas móveis nas duas direcções;
- v- Substituição do pavimento betuminoso e impermeabilização do tabuleiro na zonas das juntas intermédias;
- vi- Introdução de juntas de elastómero betuminoso nas juntas intermédias do tabuleiro;
- vii- Reabilitação do sistema de drenagem do tabuleiro;
- viii- Reabilitação dos guardas corpos e guardas de segurança.

#### 5. REFORÇO ESTRUTURAL

As possíveis metodologias de intervenção a implementar na obra devem ter por objectivo resolver ou atenuar as duas principais deficiências detectadas na análise relativa à avaliação da segurança:

- i- Controlar os deslocamentos relativos nas juntas de dilatação dos diferentes módulos estruturais da obra;
- ii- Melhorar de forma global o comportamento dos elementos estruturais aumentando a sua capacidade resistente e ductilidade ou reduzindo os esforços actuantes nesses elementos de modo a atenuar os danos induzidos pelos sismos.

Foram estudadas diversas metodologias procurando atingir os objectivos acima referidos tendo por base, também, o objectivo de minimizar a intervenção na estrutura. As soluções estudadas consistiam no aumento da capacidade resistente da estrutura reforçando os elementos existentes ou introduzindo novos elementos estruturais e, em alternativa, reduzindo os efeitos da acção sísmica com soluções de isolamento de base.

Estudou-se a implementação destes tipos de sistemas à obra em causa concluindo-se que a metodologia mais eficaz consiste na introdução de isolamento na base dos arcos complementada com amortecimento viscoso. O simples isolamento de base, embora resolva parcialmente o problema relativo à capacidade resistente dos elementos estruturais, conduz a deslocamentos muito elevados da estrutura os quais são difíceis de resolver ao nível da base dos arcos e ao nível das juntas nos encontros

(deslocamentos longitudinais de  $\pm 20$  cm e transversais de  $\pm 30$  cm). Com a introdução de amortecedores viscosos colocados, também, na base dos arcos os deslocamentos são substancialmente reduzidos (deslocamentos longitudinais de  $\pm 8$  cm e transversais de  $\pm 10$  cm nas juntas dos encontros).

A implementação desta solução, embora envolva um elevado grau de complexidade, considerou-se exequível pois a base dos arcos apresenta uma elevada dimensão, permitindo a colocação de equipamentos para executar a transferência de carga para os aparelhos de isolamento de base. Sob o ponto de vista do comportamento estrutural esta solução mostrou-se viável também pelo facto da estrutura se apresentar muito bem equilibrada para as cargas gravíticas, apresentando reduzidos esforços de corte na base dos arcos. Importa referir que o isolamento de base de arcos requer os necessários cuidados relativos à avaliação do comportamento estrutural para as acções gravíticas.

A solução de reforço ao reduzir substancialmente os efeitos da acção sísmica na estrutura permite eliminar as juntas de dilatação no tabuleiro sem causar esforços inportáveis nas vigas longitudinais, acabando, desta forma, com o problema dos deslocamentos relativos entre os vários módulos estruturais da obra e passando esta a funcionar globalmente como estrutura contínua como é conveniente, e necessário, na solução de isolamento de base concebida.

A eficácia da solução em causa no controlo da acção sísmica sobre a estrutura pode ser ilustrada através dos espectros de resposta de acelerações. A Figura 6 mostra os espectros de resposta para níveis de amortecimento entre 5% e 35%.

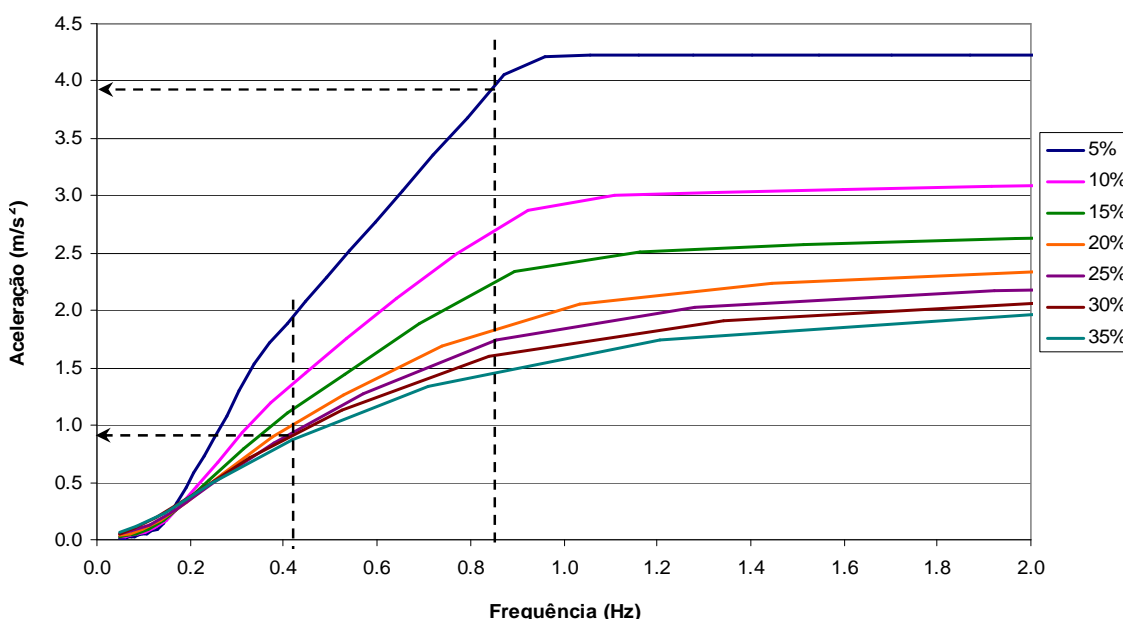


Figura 6 – Espectros de resposta para diferentes amortecimentos viscosos.

A intensidade da acção é função da frequência própria da estrutura e do amortecimento. Com o isolamento de base a frequência é reduzida para níveis aos quais estão associadas menores acelerações espectrais. Com a introdução de amortecedores viscosos na base dos arcos o amortecimento equivalente da estrutura é substancialmente aumentado e por consequência a aceleração espectral é substancialmente reduzida.

Tomando para amortecimento equivalente da estrutura isolada um valor de 25% e considerando que as características da estrutura com e sem isolamento de base são as seguintes (frequências relativas ao 1º modo de vibração):

- sem isolamento de base:  $f = 0.84\text{Hz}$ ;  $\xi = 5\%$

- com isolamento de base:  $f = 0.42 \text{ Hz}$ ;  $\xi = 25\%$

O valor da aceleração será reduzido de  $3.9 \text{ m/s}^2$  para  $0.9 \text{ m/s}^2$ , isto é, a acção passará para cerca de 25% do valor associado à estrutura sem isolamento e amortecimento viscoso, o que traduz a elevada eficácia desta solução, mesmo partindo de uma frequência relativamente baixa na estrutura não isolada.

A avaliação do comportamento da estrutura foi realizada efectuando uma análise não linear no tempo com acelerogramas artificiais.

Nas Figuras 7 e 8 apresentam-se as configurações dos modos de vibração transversal e longitudinal da estrutura com isolamento de base os quais traduzem um comportamento estrutural mais simples e fiável que o da estrutura original caracterizado na Figura 5.

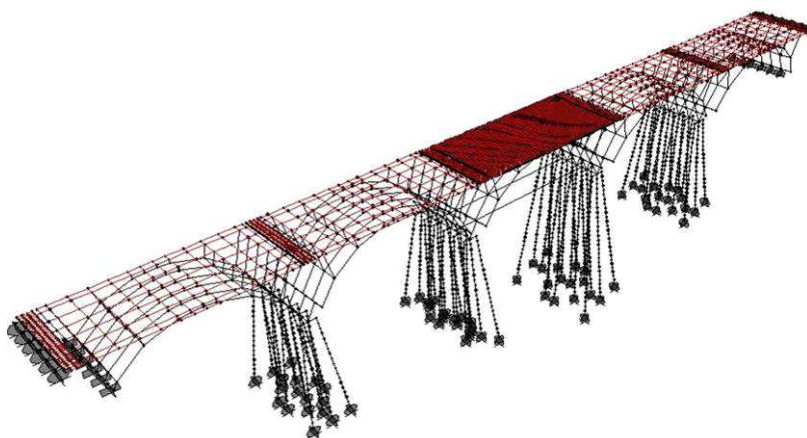


Figura 7 – Configuração relativa ao modo de vibração transversal.

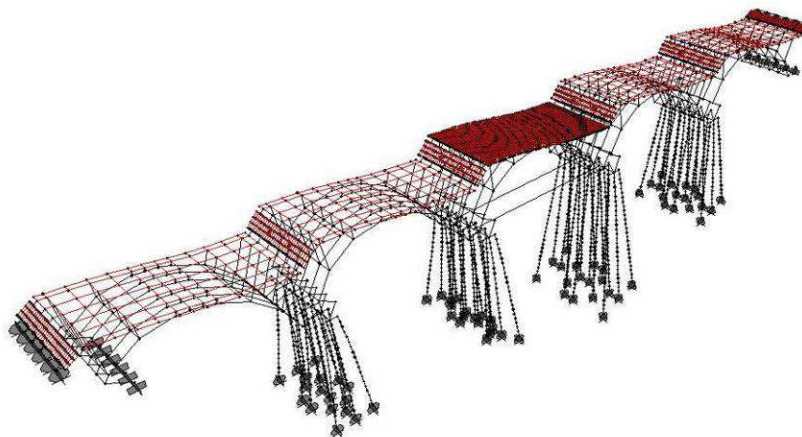


Figura 8 – Configuração relativa ao modo de vibração longitudinal.

A solução de reforço concebida para o viaduto consistiu nos seguintes aspectos principais:

i- reforço das fundações por cortinas de colunas de *jet grouting* na envolvente dos maciços de encabeçamento de estacas. Esta intervenção tem como objectivos principais conferir maior rigidez lateral às fundações, maximizando a eficácia do sistema de amortecimento e isolamento de base, e reduzir as deformações e os esforços transversais nas estacas;

ii- eliminação das juntas de dilatação intermédias garantindo a continuidade longitudinal do tabuleiro e a transmissão de esforços axiais e transversais. A



intervenção consistiu na introdução de barras de pré-esforço ligando as vigas longitudinais adjacentes às juntas e elementos metálicos para transmissão de esforços transversais;

iii- substituição dos aparelhos de apoio do tabuleiro nos encontros de modo a permitir os deslocamentos longitudinais e transversais da estrutura isolada. Substituição das juntas de dilatação de modo a permitir os mesmos deslocamentos. Nesta intervenção foi necessário realizar o corte parcial do espelho dos encontros de forma a ser possível acomodar os deslocamentos longitudinais;

iv- reforço dos travamentos transversais inferiores dos arcos. Esta intervenção foi necessária dado que os esforços nestes elementos excediam a capacidade resistente mesmo na situação da estrutura com isolamento de base. O reforço consistiu no confinamento do betão de modo a aumentar a ductilidade e a resistência ao esforço transversal destes elementos;

v- introdução do isolamento de base e amortecimento viscoso.

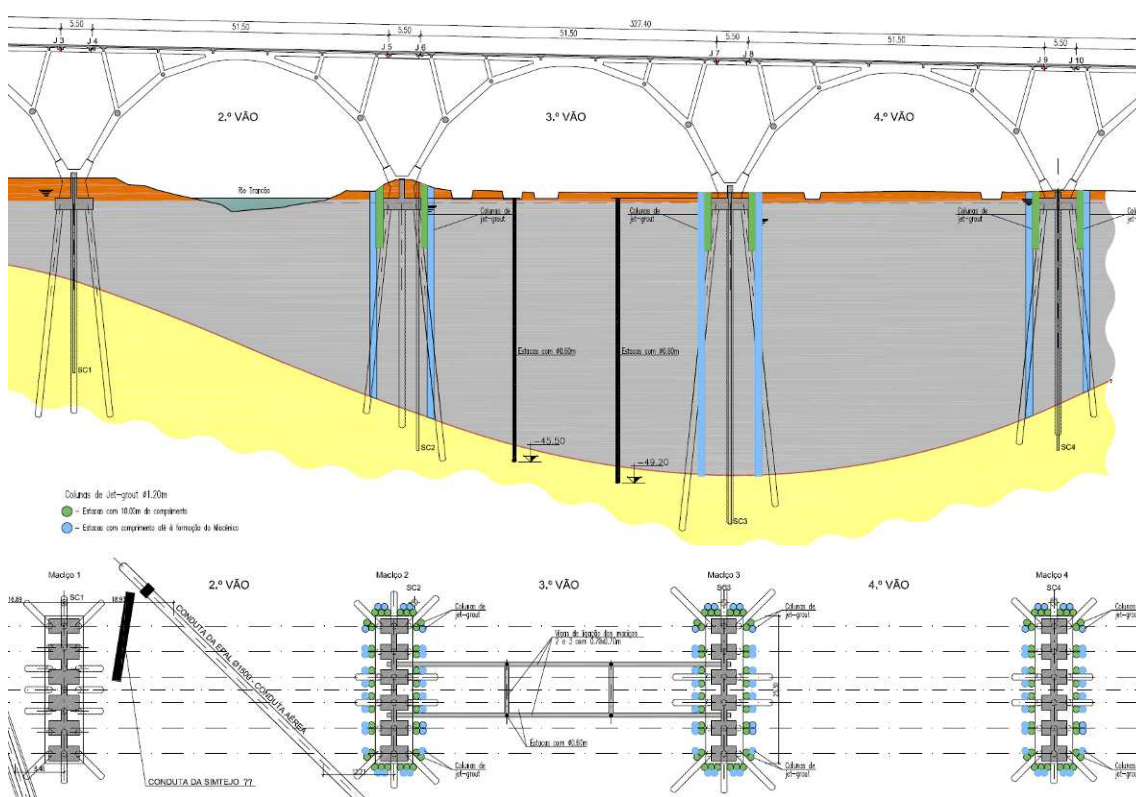


Figura 9 – Reforço das fundações com colunas de *jet grouting*.

Embora o sistema de isolamento de base e amortecimento viscoso apresente um funcionamento que é relativamente simples no seu conceito apresenta uma elevada complexidade na sua implementação em obras existentes e nesta em particular. De facto, quer a concepção do sistema relativamente ao seu funcionamento, de modo a permitir de forma controlada o movimento dos arcos em qualquer direcção, quer a sua introdução na base dos arcos levantam dificuldades que requerem uma análise, planeamento e detalhe muito exigentes. Importa ainda referir que a intervenção teve que ser realizada com a obra em pleno funcionamento dado ser inviável a interrupção do tráfego.

Para introduzir o sistema de isolamento e amortecimento foi necessário cortar o topo dos montantes que apoiam os arcos numa espessura da ordem de 0.32 m.

Apresentam-se seguidamente algumas fotografias que ilustram os trabalhos realizados.



Figura 10 – Sistema de levantamento do tabuleiro para substituição dos aparelhos de apoio nos encontros e reabilitação dos apoios dos tramos simplesmente apoiados do tabuleiro.



Figura 11 – Reforço das travessas circulares de contraventamento dos arcos com mantas CFRP e impermeabilização do tabuleiro na zona das juntas intermédias.



Figura 12 – Vista dos sistemas de isolamento de base e continuidade do tabuleiro