

REABILITAÇÃO E REFORÇO DA PONTE AÇUDE SOBRE O RIO MONDEGO E VIADUTOS DE ACESSO

Tiago Mendonça¹, Tomás Faria², Vítor Brito³

¹ Betar Consultores, Lda, Av. Elias Garcia nº53, 2ºEsq, 1000-148 Lisboa, Portugal

email: consultores@betar.pt <http://www.betar.pt>

² Betar Consultores, Lda, Engº civil

³ Betar Consultores, Lda, Engº civil

Sumário

Neste artigo descreve-se os principais aspectos de projecto e de execução referentes à Reabilitação e Reforço Estrutural da Ponte Açude sobre o Rio Mondego e Viadutos de Acesso, localizados em Coimbra. Esta obra emblemática, quer pela sua importância na rede viária regional (IC2) e local quer pela sua dimensão e concepção singular, apresentava diversas anomalias relacionadas com durabilidade dos materiais e inadequado comportamento estrutural.

A intervenção incluiu alterações estruturais na estadia da obra, substituição de pilares, reforço de encontros e fundações e diversas actividades de reparação: injeção de fendas, desempenamento e impermeabilização do tabuleiro, substituição de juntas de dilatação, pintura de guarda-corpos.

Palavras-chave: Reabilitação e reforço, obra de arte, substituição de pilares.

1 INTRODUÇÃO

A obra global designada de Ponte Açude sobre o Rio Mondego e Viadutos de Acesso à Ponte Açude em Coimbra (Fig.1a), foi construída em duas fases distintas. A primeira fase, da responsabilidade da Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos – actual INAG – data de 1980. A obra foi construída sobre o Açude, então criado para regularização do Rio Mondego. Foi designada Ponte Açude de Coimbra e Ramos de Acesso (Fig.1b).

A segunda fase de construção da obra, da responsabilidade da extinta JAE, teve início em 1990 e designou-se por Viaduto Norte de Acesso à Ponte Açude. Os projectos de ambas as fases são da autoria da empresa Enarco.

Em relação à ponte Açude, a reabilitação da infraestrutura, constituída pelo açude e pelos pilares do tabuleiro da ponte, foi excluída do âmbito desta intervenção, estando sob jurisdição do INAG.



Fig.1. Vista aérea de toda a extensão da obra de arte e vista geral da Ponte Açude.

Como especificidades intrínsecas à realização deste projecto importa referir que se tratar de uma obra integrada em meio urbano, com vários condicionalismos importantes, nomeadamente:

- (i) A solução estrutural da obra (geometria);
- (ii) As características dos materiais adoptados;
- (iii) Rodoviários (actualmente circulam cerca de 40 mil veículos por dia);
- (iv) Ferroviários, a Linha Regional Coimbra-Figueira da Foz passa sob o Viaduto Norte do IC2;
- (v) O próprio Açude;
- (vi) A exploração das áreas sob os tabuleiros pelos serviços Municipalizados

O estudo desenvolvido pela Betar integrou a avaliação da capacidade estrutural da obra quando sujeita às acções definidas no Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), com especial incidência sobre as sobrecargas rodoviárias regulamentares da Classe I.

2 DESCRIÇÃO DA OBRA EXISTENTE – SOLUÇÃO ESTRUTURAL

A obra está dividida em 12 troços independentes, dos quais 4 troços foram executados na 1ª fase de construção e os restantes 8 troços foram executados na 2ª fase. À 1ª fase estão associados cerca de 914.0m de extensão de tabuleiro, tendo sido executados cerca de 1430.0m na 2ª fase.

A cada troço está, por vezes, associado um ou mais ramos de acesso ao IC2. Em geral, estes ramos estão ligados monoliticamente ao troço principal do IC2 – doravante designado por Viaduto do IC2.

Quadro 1. Descrição sucinta dos troços da 1ª Fase

<i>Obra construída na 1ª Fase</i>				
<i>Troço - Estrutura</i>	<i>Sub troço</i>	<i>Extensão [m]</i>	<i>nº de tramos</i>	<i>Vão máximo [m]</i>
Ponte Açude	IC2	212.4	11	18.40
Troço A	Ramo A-B- IC2	121.7	6	23.20
	Ramo C-B	120.0	5	25.00
Troço B	Ramo 1 - IC2	95.1	5	23.20
	Ramo 2	200.3	10	22.20
Troço F	Ramo de acesso	164.2	7	25.00

Quadro 2. Descrição sucinta dos troços da 2ª Fase

<i>Obra construída na 2ª Fase</i>				
<i>Troço - Estrutura</i>	<i>Sub troço</i>	<i>Extensão [m]</i>	<i>nº de tramos</i>	<i>Vão máximo [m]</i>
Troço 1	IC2	161.3	5 - Intradorso 6 - Extradorso	25.00
Troço 2	IC2	160.4	6	39.00
	Ramo D	94.2	4	25.00
Troço 3	IC2	165.0	7	25.00
Troço 4	IC2	159.7	6	25.00

<i>Obra construída na 2ª Fase</i>				
<i>Troço - Estrutura</i>	<i>Sub troço</i>	<i>Extensão [m]</i>	<i>nº de tramos</i>	<i>Vão máximo [m]</i>
	Ramo C	47.9	2	25.00
Troço 5	IC2	140.1	6	25.00
	Ramo B	86.6	4	20.40
Troço 6	IC2	70.6	2 - Intradorso 3 - Extradorso	25.00
Troço 7	Ramo B+C	115.1	5	25.00
	Ramo B	40.5	2	23.0
Troço 8	Ramo B+C	65.1	3	23.40
	Ramo B	59.4	3	23.70
	Ramo C	64.2	3	21.80

No geral, a obra foi realizada em betão armado, com tabuleiros pré-esforçados em laje maciça, apoiados em pilares circulares com 1.15m de diâmetro.

No que se refere ao Viaduto do IC2, o tabuleiro tem 22.00m de largura, albergando um perfil transversal com 2 faixas de rodagem (Fig.2). As lajes têm cerca de 0.56m de espessura e vãos máximos de 25.00m entre apoios. Cada alinhamento de apoio tem 2 pilares circulares, afastados cerca de 11.00m na direcção transversal e encimados por capitéis em parabolóide de revolução com dimensões máximas no topo de 10.00m na direcção longitudinal e 6.50m na direcção transversal.

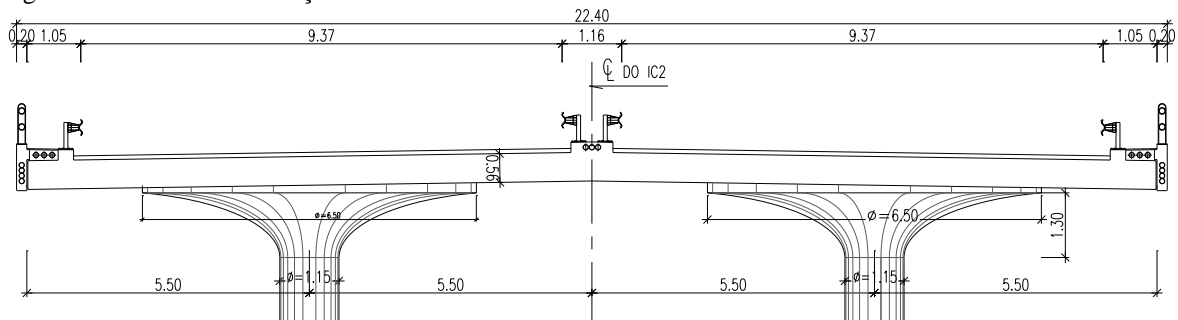


Fig.2. Secção transversal tipo do IC2 – 2 faixas de circulação.

Os tabuleiros dos ramos de acesso com uma única faixa de rodagem apresentam 9.00m de largura constante e apoiam num pilar, por alinhamento de apoio (Fig.3). A modelação dos vãos e a geometria dos pilares e dos capitéis são, em tudo, semelhantes ao descrito para o Viaduto do IC2.

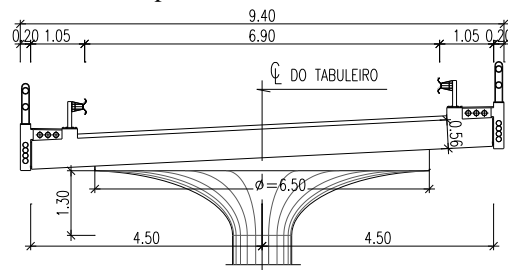


Fig.3. Secção transversal Ramos - 1 faixa de circulação.

O ramo B+C, que faz a ligação à circular externa de Coimbra, apresenta um tabuleiro com 17.40m de largura.

Está apoiado em 2 pilares por alinhamento, vencendo vãos com cerca de 25.00m. Os pilares com 1.15m de diâmetro estão transversalmente afastados de 8.00m e são dotados de capitéis semelhantes aos existentes na restante obra (Fig.4).

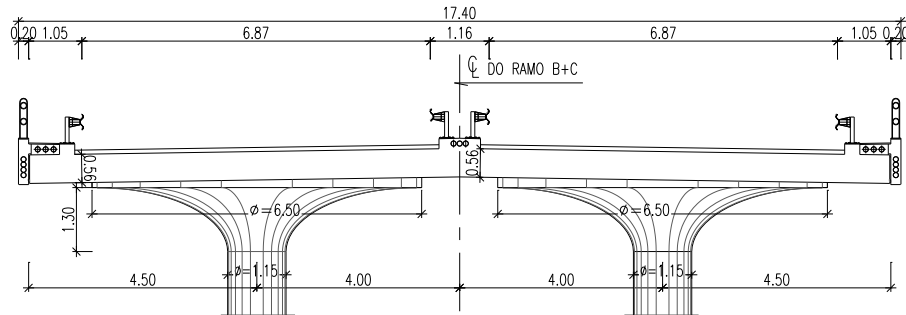


Fig.4. Secção transversal dos Troços 7 e 8 - Ramo B+C – 2 faixas de rodagem.

Existem dois casos particulares de soluções estruturais para os tabuleiros, ambos localizados no IC2, e que merecem particular referência: a Ponte Açude e o Troço 1 no vão sobre a Av. Fernão de Magalhães. A primeira apresenta uma solução em betão armado do tipo vigas Gerber, composta por tramos simplesmente apoiados de 8.40m, intercalados por pórticos formados por um tramo de 18.40m e consolas de 5.00m, que permitem o apoio dos tramos simplesmente apoiados.

Relativamente ao Troço 1 (vão sobre a Av. Fernão de Magalhães) foi adoptada uma solução em laje aligeirada em betão armado pré-esforçado que permite vencer um vão de 39.00m (Fig.5).

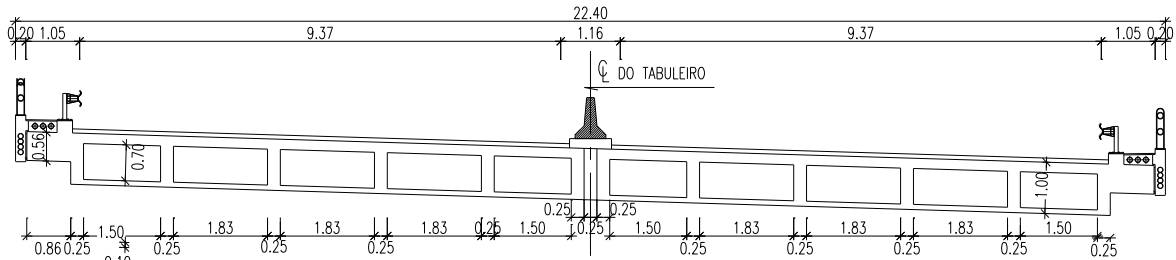


Fig.5. Secção transversal do Troço 1 sobre a Av. Fernão de Magalhães.

A divisão entre troços é realizada a cerca de quintos de vão. Cada tramo suporta através de uma consola com cerca de 5.00m o tramo adjacente. O apoio é feito num cachorro onde estão localizados os aparelhos de apoio de neoprene (Fig.6a).

Alguns dos pilares localizados nos extremos dos troços são rotulados na base. Esta rótula é materializada através da redução da secção transversal na ligação ao maciço de fundação (Fig.6b).

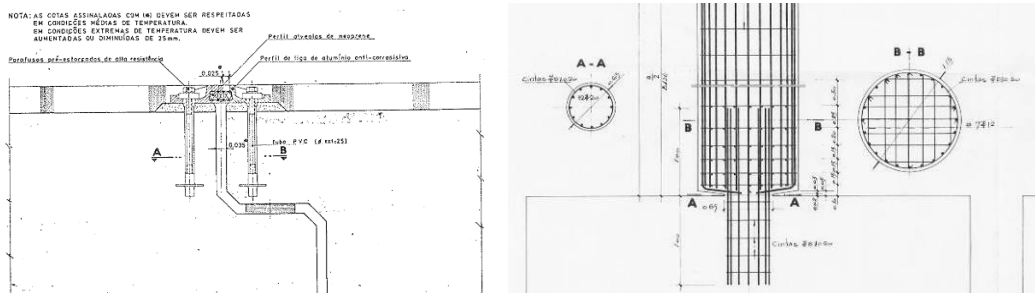


Fig.6. Cachorro de apoio entre troços; Pormenorização da “rótula” na base dos pilares - extraído do projecto original, ENARCO 1990.

Durante as inspecções às fundações observou-se que, no caso dos troços da 1ª fase, foram adoptadas barretas em betão fracamente armadas em vez de estacas moldadas, como indicava o projecto original.

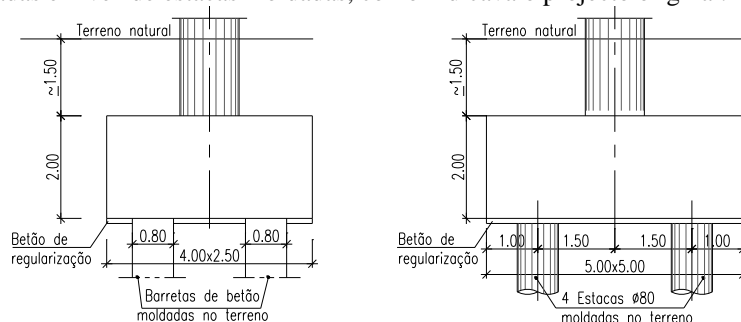


Fig.7. Maciços de fundação de barretas – 1ª fase; maciços de fundação de estacas – 2ª fase.

Relativamente aos encontros, na 1ª fase, optou-se pelo tipo perdido, com mesa sobre fustes de secção rectangular e de comprimento variável. Na 2ª fase foram adoptados encontros do tipo aparente nos tabuleiros com 2 faixas de rotação e do tipo perdido nos ramos com uma única faixa.

3 ELEMENTOS QUE SERVIRAM DE BASE À ELABORAÇÃO DO ESTUDO

O estudo teve baseou-se em diversa informação proveniente da compilação de elementos do projecto original e no resultado dos levantamentos e ensaios efectuados.

Foram realizadas as seguintes actividades para exame da obra:

- | | |
|---|--|
| a - Levantamento dos Serviços Afectados; | g - Realização de Inspecção Principal; |
| b - Levantamento topográfico à escala 1/500, da obra de arte e das zonas circundantes; | h - Realização de ensaios de caracterização do betão; |
| c - Levantamento de pormenor da obra de arte existente; | i - Mapeamento de fendas com orientação bem definida e abertura maior/igual que 0.3mm; |
| d - Execução de poços até à ligação pilar/maciço de encabeçamento para inspecção e confirmação das características geométricas; | j - Execução de poços para inspecção da ligação maciço de encabeçamento/estacas no encontro E1 – Troço A – Ramo AB - para confirmação das características geométricas; |
| e - Nivelamento longitudinal do tabuleiro da obra de arte existente; | k - Campanha Geotécnica com a realização de duas sondagens e respectivos ensaios SPT; |
| f - Execução de poços para inspecção da ligação maciço de encabeçamento/estacas nos pilares para confirmação das características geométricas; | l - Execução de 10 carotes e 20 furos no pavimento para determinação da espessura da camada de pavimento. |

4 MAPEAMENTO DE ANOMALIAS

Das principais anomalias estruturais detectadas durante as inspecções destaca-se o estado de conservação de alguns pilares, com fendas diagonais de grande abertura, e a deformação do encontro E1 – lado Sul do IC2. As principais anomalias que foram identificadas estão resumidas em seguida.

4.1 Anomalias em Encontros

- Fendas em fustes com aberturas variadas;

- Aparelhos de apoio com distorção excessiva, posicionados ou danificados (Fig.8a);
- Encosto do espelho ao tabuleiro no encontro E1, resultante de um deslocamento do encontro.

4.2 Anomalias nos Tabuleiros

- Fendilhação pontual (Fig.8b);
- Deformação vertical excessiva em vários tramos (Fig.8c).



Fig.8. Pormenor de um aparelho de apoio nos encontros com distorção excessiva; Pormenor de fendilhação em malha na face inferior do tabuleiro; Pormenor da deformação excessiva do tabuleiro.

4.3 Anomalias nos Pilares

- Fendas, por vezes com grande abertura, de desenvolvimento diagonal segundo o eixo dos fustes (Fig.9a,b);
- Fendas verticais e destaques ao nível do terreno (Fig.9c).



Fig.9. Pilares com fendas diagonais com aberturas superiores a 2mm e rejeito dos bordos das fendas; destaque do betão de recobrimento evidenciando fácil desagregação

4.4 Anomalias nos Equipamentos

- | | |
|--|--|
| a - Destaques em cornijas e passeios; | f - Início de corrosão em guarda corpos; |
| b - Juntas de dilatação com falta de módulos e desgaste acentuado; | g - Corrosão dos elementos de fixação dos candeeiros; |
| c - Guardas de segurança afectadas por vários embates; | h - Ausência de tampas nas caixas de serviço nas cornijas; |
| d - Degradação do sistema de recolha das águas do tabuleiro; | i - Desgaste e Fendilhação do revestimento betuminoso; |
| e - Destaque do revestimento cerâmico dos passeios | j - Início de corrosão em guarda corpos. |

5 PRINCIPAIS TRABALHOS DE REPARAÇÃO

As inspecções à obra permitiram identificar a origem provável das anomalias e, assim, definir as técnicas de reparação mais apropriadas. Os principais trabalhos de reparação que foram preconizados são:

- Limpeza geral da obra;
- Substituição parcial dos aparelhos de apoio nos encontros;
- Selagem e injeção de fendas no betão com abertura superior a 0.30mm com resina epoxy;
- Reparação de elementos de betão;
- Reparação do guarda-corpos existente, com decapagem e pintura anti-corrosiva;
- Substituição de juntas de dilatação;
- Reabilitação do sistema de drenagem das águas pluviais e reparação/substituição de gárgulas;
- Revestimento de todas as superfícies de betão por pintura com tinta acrílica;
- Reperfilamento da obra de arte - desempenamento do tabuleiro e impermeabilização do tabuleiro.

6 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ESTRUTURAL

A avaliação da capacidade estrutural da obra existente teve por base o levantamento de pormenor, as peças dos projectos originais e os resultados dos ensaios efectuados. Foram desenvolvidos modelos de cálculo com elementos finitos de shell e de barra no programa de cálculo automático SAP2000.

Em geral, concluiu-se que relativamente aos tabuleiros é possível garantir a segurança, tanto aos E.L.Últimos, como aos E.L.Serviço. Importa referir que, relativamente à verificação da deformação, os valores obtidos por via numérica não confirmam as flechas que, em algumas zonas, são evidentes, levando a supor que estas estarão eventualmente relacionadas com perdas de pré-esforço acima do expectável e com o eventual assentamento do cimbreiro durante a construção.

Concluiu-se que a omissão dos efeitos diferidos do betão nos cálculos do projecto original teve uma consequência decisiva no dimensionamento dos pilares e no seu comportamento estrutural. Do ponto de vista teórico é aceitável que a distribuição de esforços para a verificação aos E.L.Últimos não considere esta acção tratando-se de uma acção auto-equilibrada. No entanto, para que em serviço a estrutura apresente um comportamento satisfatório é necessário garantir uma adequada ductilidade, materializada através de armaduras de cintagem. Nos pilares da obra, as armaduras são manifestamente insuficientes e inferiores aos limites regulamentares.

7 PRINCIPAIS TRABALHOS DE REFORÇO

7.1 Reforço de pilares

Foram criados 3 tipos de reforço dos pilares em função da tipologia e dos danos que apresentavam:

- Pilares sem “rótula”, com elevado nível de fendilhação mas sem aparentarem ter perda de secção na armadura longitudinal – Reforço das armaduras de cintagem;
- Pilares sem “rótula”, com elevado nível de fendilhação e onde se observou perda de secção da armadura longitudinal - Reforço por encamisamento;
- Pilares dotados de “rótulas” – Substituição dos pilares e colocação de aparelho de apoio no topo.

Os trabalhos de reforço/substituição dos pilares requereram a suspensão do tabuleiro com estruturas metálicas treliçadas dotadas de macacos hidráulicos no topo. Nos macacos foi aplicada a carga axial estimada no pilar de

modo a controlar eventuais deformações verticais durante o processo de transferência de carga para a estrutura provisória. Este procedimento garantiu que, após a intervenção, toda a secção do pilar contribuía para a resistência, tanto para as cargas permanentes como para as sobrecargas. O processo de transferência de carga foi monitorizado através de extensómetros, colocados quer nas faces do pilar quer nos montantes da estrutura metálica.

Metodologia de reforço da armadura de cintagem mantendo o diâmetro actual

- Suspensão do tabuleiro (Fig.10a);
- Remoção do recobrimento e saneamento das zonas do pilar em condições deficitárias (Fig.10b);
- Injecção das fendas de forma a repor o monolitismo da secção;
- Colocação de armadura de cintagem complementar;
- Betonagem do pilar mantendo, aproximadamente, o diâmetro actual (Fig.10c).



Fig.10. Suspensão do tabuleiro; remoção do recobrimento, colocação de injectores e da armadura de cintagem complementar; pilar após intervenção.

Metodologia de reforço da armadura longitudinal e transversal com aumento do diâmetro do pilar

Além da metodologia descrita acima foi realizado, ainda o seguinte:

- Selagem de novos varões de armadura longitudinal ao topo do maciço de fundação (Fig.11a,b);
- Colocação de armadura longitudinal e transversal;
- Encamisamento do pilar (Fig.11c).



Fig.11. Suspensão do tabuleiro e reposição do monolitismo da secção; pormenor da selagem de varões na base do pilar; pilar após intervenção.

Metodologia de substituição de pilares de pilares

- Suspensão do tabuleiro;
- Demolição integral do pilar desde o maciço de fundação até à base do capitel (Fig.12a);
- Selagem de novos varões longitudinais ao topo do maciço de fundação (Fig.12b);
- Colocação da armadura;
- Colocação de um aparelho unidireccional de apoio no topo do pilar;
- Betonagem do pilar (Fig.12c).

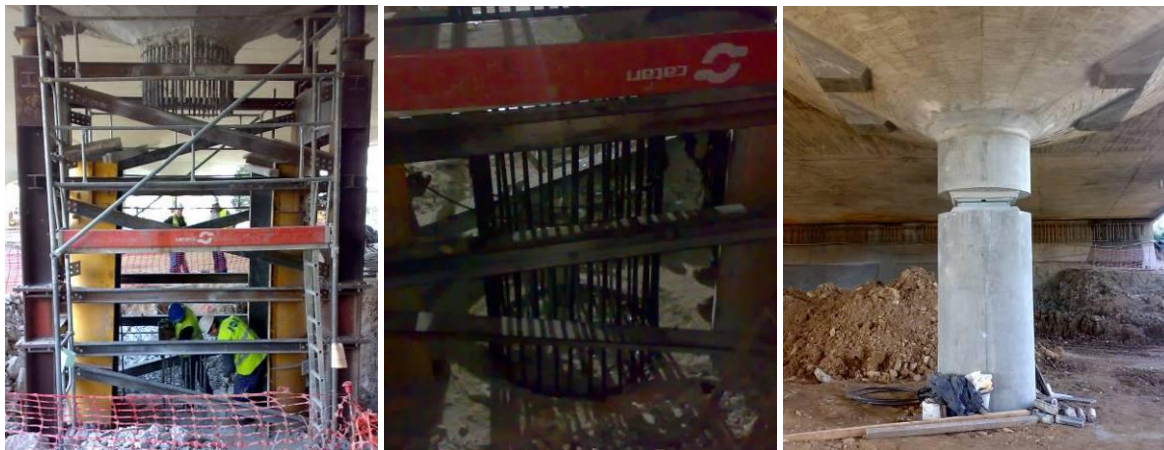


Fig.12. Pormenor da suspensão do tabuleiro após a demolição do pilar existente, pormenor da selagem de varões para o “novo pilar; pilar após intervenção.

7.2 Reforço de encontros

Encontro E1

Da observação concluiu-se que o encontro E1 terá sofrido um assentamento ao nível das fundações, fazendo com que se deformasse no sentido da acção imposta pelo impulso das terras. Executou-se a estabilização do encontro através de colunas de Jet-grouting reforçadas com perfis tubulares metálicos. As colunas são encabeçadas por um maciço em betão armado ligado ao maciço existente através de ferrolhos e barras de pré-esforço (Fig.13a).



Fig.13. Pormenor do maciço de encabeçamento das colunas de jet-grout; pormenores de execução da nova “mesa”.

De modo a substituir os aparelhos de apoio e atendendo ao espaço diminuto entre o tabuleiro e a mesa, foi realizado um novo maciço em betão armado à frente da mesa existente para colocação dos aparelhos de apoio. A ligação do novo maciço à mesa existente faz-se através de ferrolhos e de barras de pré-esforço (Fig.13b,c).

Associado ao deslocamento do encontro está, também, o seu encosto ao tabuleiro, causando fendilhação da base do espelho. A reparação consistiu na demolição do espelho existente e na sua posterior reconstrução. Esta operação obrigou à escavação no tardo do encontro e à demolição parcial da laje de transição (Fig.14a,b).



Fig.14. Pormenor no tardo do encontro E1 com selagem de armaduras do novo espelho; Vista final frontal do encontro E1; Pormenor dos batentes nos encontros Ea/ Eb/ Ef; Pormenor do bloco de neoprene.

Encontros Ea, Eb e Ef

Nos ramos com uma faixa de rodagem e construídos na 1ª fase foi efectuado um batente transversal de modo a redistribuir os esforços da acção sísmica entre os pilares e os encontros. Para tal, foi executado um maciço de betão armado fixo à mesa do encontro e ladeado por duas estruturas metálicas fixas à face inferior do tabuleiro. Estas colidirão transversalmente nos maciço (Fig.14c). As superfícies foram separadas por neoprene (Fig.14d).

8 CONCLUSÕES

Qualquer intervenção numa obra desta importância tem enorme interferência na vida de milhares de pessoas. De modo a conciliar os trabalhos de reabilitação com os numerosos condicionalismos existentes, foi necessário detalhar ao nível do projecto de execução e de forma exaustiva, todo o faseamento construtivo, com sequenciação de actividades e ocupação do solo.

As anomalias observadas nos pilares tiveram evolução repentina, com rotura frágil por esforço transverso. Tal fenómeno desencadeou uma Intervenção de Emergência nos pilares PB4 e PB5, localizados na margem Norte junto à linha de caminho-de-ferro, enquanto decorria a realização do Projeto de Execução.

A solução estrutural, a complexidade geométrica da obra e a ausência de telas finais, constituíram algumas barreiras que só puderam ser ultrapassadas com a dedicação e interesse por parte de todos os técnicos envolvidos.

A experiência acumulada da Betar Consultores em intervenções similares permitiu elaborar um estudo detalhado visando prolongar a vida da obra, bem como fazer face à gravidade das anomalias estruturais, nomeadamente em pilares, e que comprometiam a segurança da obra e dos seus utentes.