

## SUBCONCESSÃO DO BAIXO TEJO

### IC32 – PALHAIS / COINA

### TRECHO 4 – LARANJEIRAS / COINA

### VIADUTO DE COINA 1

### PROJECTO

## ÍNDICE DA MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

	Pág.
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. LOCALIZAÇÃO, RASANTE E PERFIL TRANSVERSAL.....	1
3. GEOLOGIA E FUNDAÇÕES .....	2
4. CONDICIONAMENTOS GERAIS PARA O DIMENSIONAMENTO DA OBRA .....	4
5. PROCESSOS DE CÁLCULO.....	9
6. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOPTADA .....	9
6.1. TABULEIROS .....	9
6.2. PILARES.....	10
6.3. ENCONTROS.....	10
6.4. DIVERSOS .....	11
7. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO.....	11
8. DURABILIDADE .....	12
9. MATERIAIS.....	12
10. COLABORAÇÃO .....	13

## **SUBCONCESSÃO DO BAIXO TEJO**

### **IC32 – PALHAIS / COINA**

### **TRECHO 4 – LARANJEIRAS / COINA**

### **VIADUTO DE COINA 1**

### **PROJECTO**

## **MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

### **1. INTRODUÇÃO**

Apresenta-se seguidamente o Projecto do Viaduto de Coina 1 o qual está integrado no Trecho 4 do IC32.

A solução apresentada é corrente e semelhante à de diversas obras que, com idênticos condicionamentos, foram projectadas e construídas quer para as Estradas de Portugal quer para diversas concessionárias de auto-estradas.

Nos pontos seguintes desta memória serão descritos os principais condicionamentos que foram considerados, as soluções adoptadas e os processos construtivos, tendo por base a vasta experiência do Agrupamento.

### **2. LOCALIZAÇÃO, RASANTE E PERFIL TRANSVERSAL**

A obra de arte desenvolve-se, entre eixos de apoio nos encontros, entre os Km 3+817,825 e 4+716,825 do Trecho 4 do IC32 entre as Laranjeiras e o Nó de Coina com a EN10.

Em planta a obra insere-se num alinhamento recto e numa curva circular direita de Raio = 5000 m. Em perfil longitudinal desenvolve-se numa curva vertical convexa de raio igual a 14000 metros seguida por um trainel com uma inclinação de -3,5% até ao final da obra.

A rasante do tabuleiro desenvolve-se a cerca de 16 metros de altura máxima.

A plataforma é constituída por dois tabuleiros independentes que asseguram uma largura total, na maior parte da extensão do viaduto, de 28,20 metros. Cada tabuleiro tem uma plataforma de 12,60 metros de largura, tendo do interior para o exterior, 0,50 metros de separador central, 1,00 metros de berma esquerda,  $2 \times 3,50$  metros de faixa de rodagem, 3,00 metros de berma direita, e 1,10 metros de perfil metálico de segurança, passadiço e viga de bordadura, dos quais 0,75 metros estão disponíveis para a circulação do pessoal de manutenção.

Dada a proximidade do viaduto ao nó de Coína com a EN10, ambos os tabuleiros sofrem um alargamento, junto á parte final do viaduto, correspondente á inserção de uma via adicional de aceleração ou de desaceleração com 3,50 metros. Nesta zona as bermas direitas reduzem de 3,00 metros para 2,50 metros. Assim, nesta zona, os tabuleiros terão uma plataforma de largura variável entre 12,60 até um máximo de 15,60 metros.

Os tabuleiros têm um afastamento de 3,0 metros entre si, sendo por isso dotados de redes metálicas de protecção fixadas aos perfis de segurança “New Jersey”.

Nos tramos sobre as linhas de caminho de ferro serão instalados Painéis Verticais de Protecção da Catenária de acordo com as Normas da REFER.

### **3. GEOLOGIA E FUNDAÇÕES**

De acordo com o reconhecimento de superfície e tendo por base os resultados preliminares das sondagens entretanto efectuadas identificaram-se, no local de implantação da obra, duas unidades geológicas.

#### RECENTE:

- Aterros e solos orgânicos – ao longo de todo o traçado são observáveis terrenos de aterro de natureza arenosa e solos com matéria orgânica, com espessura que no geral não ultrapassa 1 metro. No talude da Auto-Estrada A2, pode observar-se que o aterro com cerca de 5 m de altura é constituído por solos essencialmente arenosos.
- Aluviões – No fundo do vale e correspondendo ao leito de cheias, ocorrem aluviões arenosas e argilo-lodosas, por vezes com seixo rolado.

Nas sondagens efectuadas, foram detectadas espessuras máximas da ordem dos 10 m, podendo no entanto ser superiores. Tratam-se de terrenos moles a muito moles e soltos.

#### PLIOCÉNICO:

Na zona são interessadas terrenos datados do Pliocénico, designados por “Areias Felspáticas de Fonte da Telha e de Coína”. Trata-se de areias muito finas a médias, siltsosas e feldspáticas, com seixo e calhau rolado por vezes com matriz caulínica, solta a medianamente compacta, passando em profundidade a compacta e a partir dos 7-8 m de profundidade a muito compacta, normalmente com cores claras (branco, amarelo, passando por vezes por vermelho).

Nesta unidade, encontram-se frequentemente estratificação entrecruzada e estruturas convolutas. Há registos da presença de vazios de dimensão considerável no seio desta unidade, que se atribui a arrastamento da fracção mais fina.

Sob as aluviões os terrenos pliocénicos são muito compactos, mantendo a sua natureza arenosa, no geral apresentando-se como areia lavada e com tendência monogranular.

Tendo por base estas informações admite-se, nesta fase, que todas as fundações serão indirectas, realizadas por intermédio de estacas.

#### **4. CONDICIONAMENTOS GERAIS PARA O DIMENSIONAMENTO DA OBRA**

Além dos condicionamentos decorrentes do traçado da Auto-Estrada e da necessidade de conter na plataforma os dispositivos de segurança e os passadiços, conforme foi descrito em 2. e, ainda, dos derivados das condições topográficas, geotécnicas e ambientais do local de implantação da obra, são considerados também os seguintes condicionamentos:

##### **A. ATRAVESSAMENTO DA AUTO-ESTRADA A2, DO CAMINHO MUNICIPAL, DA LINHA DO SUL DO CAMINHO-DE-FERRO E DA LIGAÇÃO DO RAMAL FERROVIÁRIO DA SIDERURGIA À ESTAÇÃO DE COINA**

Para a definição dos vãos sobre os atravessamentos existentes fixaram-se os seguintes condicionamentos:

- Colocar os elementos de suporte suficientemente afastados das bermas da Auto-Estrada A2 de forma a permitir um futuro alargamento da mesma, que se prevê que seja para uma plataforma de 2×4 vias;
- Passar sobre as linhas de Caminho de Ferro existentes respeitando os gabarit`s, vertical e horizontal, exigidos nas normas da REFER;
- Garantir, no atravessamento do Ramal Ferroviário da Siderurgia à Estação de Coina, que a base do tabuleiro está acima da cota 28;
- Passar sobre as estradas existentes respeitando as distâncias mínimas entre as faces dos pilares e as suas bermas;
- Garantir uma faixa de servidão de 10 metros para cada lado do eixo do Gasoduto de 1º escalão existente junto ao Caminho Municipal.

##### **B. CONDICIONAMENTOS HIDRÁULICOS**

Não há condicionamentos hidráulicos relevantes visto que o viaduto não atravessa nenhuma linha de água e os seus apoios estão implantados a cotas superiores à planície de inundação do rio Coina. Este dado foi retirado do Estudo Hidráulico elaborado para o Viaduto de Coina 2, que define a cota 2,22 para um período de retorno de 100 anos.

### C. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E PROCESSO CONSTRUTIVO

A concepção estrutural e o processo construtivo devem permitir a execução da obra de forma a não condicionar a abertura do sublanço sem, no entanto, comprometer quer a economia quer a sua estética.

Considerou-se também essencial que cada tabuleiro fosse constituído por uma estrutura monolítica e contínua, garantindo assim a máxima segurança global e ainda um valor muito baixo das deformações diferidas e evitando as quebras do perfil longitudinal características das obras de arte com tabuleiros de tramos descontínuos.

### D. CLASSE DA OBRA DE ARTE. ACÇÕES CONSIDERADAS

A obra de arte é considerada da classe I e as acções são as estipuladas no RSA (Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes) para pontes desta classe e para a zona territorial onde se localiza.

Porém, atendendo à importância da obra e à experiência adquirida na construção e comportamento de obras semelhantes, será dada especial atenção às acções específicas que actuam durante a sua construção, sendo que o processo construtivo será integralmente simulado, passo a passo, em computador.

### E. CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

A verificação da segurança de todos os elementos constituintes da obra de arte deve respeitar as disposições do Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP) e, nos casos em que este é omissivo, a regulamentação e normas consagradas internacionalmente e em especial os EUROCÓDIGOS, nomeadamente os Eurocódigos 2 Partes 1 e 2, o Eurocódigo 7 e o Eurocódigo 8 Partes 2 e 5.

De acordo com a regulamentação em vigor serão efectuados dois tipos de verificações de segurança:

– Verificação da segurança em relação aos estados limites de utilização:

- verificar-se-á a segurança em relação ao estado limite de descompressão (nas peças pré-esforçadas) para a combinação quase permanente e o estado limite de largura de fendas para a combinação frequente:

– Descompressão:

Combinações quase-permanentes cuja forma geral é:

$$G + \sum_1^m \Psi_{2j} Q_j$$

sendo no nosso caso:

– Para a acção de base sobrecargas:

$$G + 0,2 \times Q_1 + 0,3 \times Q_2$$

– Para a acção de base temperaturas:

$$G + 0,2 \times Q_1 + 0,3 \times Q_2$$

em que:

G - Valor característico das cargas permanentes

Q<sub>1</sub> - Sobrecargas

Q<sub>2</sub> - Variações de temperatura

– Largura de fendas

Combinações cuja forma geral é:

$$G + \Psi_{j=1} Q_{j=1} + \sum_2^m \Psi_{2j} Q_j$$

Para combinações frequentes temos:

– Para a acção de base sobrecargas:

$$G + 0,4 \times Q_1 + 0,3 \times Q_2$$

- e para a acção de base temperatura:

$$G + 0,2 \times Q_1 + 0,5 \times Q_2$$

onde:

G - Valor característico das cargas permanentes

Q<sub>1</sub> - Sobrecargas

Q<sub>2</sub> - Variações de temperatura - uniforme e diferencial

- Verificação da segurança em relação aos estados limites últimos:

- verificar-se-á a segurança em relação ao estado limite último de resistência, para as seguintes combinações:

- Sem se considerarem os efeitos sísmicos, a expressão geral é:

$$\sum_1^n \gamma_{gj} G_j + \gamma_q (Q_1 + \sum_2^n \psi_{0j} Q_j)$$

- Acção de base: sobrecargas

$$1,4 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,5 \times Q_1 + 0,9 \times Q_2$$

$$1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,5 \times Q_1 + 0,9 \times Q_2$$

- Acção de base: temperaturas

$$1,4 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 0,9 \times Q_1 + 1,5 \times Q_2$$

$$1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 0,9 \times Q_1 + 1,5 \times Q_2$$

- Acção de base: sismo

A expressão geral para a combinação é:

$$\sum_1^n G_j + \gamma_q S_E + \sum_2^n \psi_{2j} Q_j$$

sendo no nosso caso:

$$1,0 (G_1 + G_2) + \gamma_E^{xx} \times S_E^{xx} + 0,3 \times \gamma_E^{yy} \times S_E^{yy} + 0,3 \times \gamma_E^{zz} \times S_E^{zz} + 0,3 Q_2$$

$$1,0 (G_1 + G_2) + 0,3 \gamma_E^{xx} \times S_E^{xx} + \gamma_E^{yy} \times S_E^{yy} + 0,3 \times \gamma_E^{zz} \times S_E^{zz} + 0,3 Q_2$$



onde:

$G_1$  - Cargas permanentes (peso próprio + restante carga permanente)

$G_2$  - Esforços hiperstáticos devidos ao pré-esforço

$Q_1$  - Sobrecargas - sobrecarga uniforme + sobrecarga concentrada ou o veículo tipo

$Q_2$  - Variações de temperatura: uniforme e diferencial

$S_E^{xx}$  - Esforços provenientes da acção sísmica quando actua na direcção xx

$S_E^{yy}$  - Esforços provenientes da acção sísmica quando actua na direcção yy

$S_E^{zz}$  - Esforços provenientes da acção sísmica quando actua na direcção zz

$\gamma_E^{xx} - 1,5 / \eta_{xx}$

$\gamma_E^{yy} - 1,5 / \eta_{yy}$

$\gamma_E^{zz} - 1,5 // \eta_{zz}$

$\eta_{xx}$ ,  $\eta_{yy}$ ,  $\eta_{zz}$  - coeficientes de comportamento para as direcções xx, yy e zz

Nos tabuleiros serão respeitados os condicionamentos regulamentares mais desfavoráveis no que diz respeito aos estados limites de utilização e aos estados limites últimos, entrando em conta com os esforços resultantes quer das acções permanentes quer das sobrecargas, quer ainda das redistribuições de esforços inerentes a cada processo construtivo e, também, com os esforços devidos aos gradientes térmicos geralmente utilizados em obras deste tipo. As verificações de segurança serão efectuadas para o início da fase de serviço e para a fase correspondente aos 10000 dias quando se podem considerar como já estabilizados os fenómenos de fluência, retracção e relaxação.

A segurança dos pilares será verificada em relação aos estados limites últimos de resistência e de equilíbrio, utilizando-se no cálculo as combinações de acções atrás indicadas. Para a análise dos pilares serão considerados os efeitos de 2ª ordem na verificação da sua segurança.

A segurança global dos encontros será verificada em relação aos estados limites últimos de equilíbrio, sendo a segurança das peças de betão armado verificada em relação aos estados limites últimos de resistência.

A segurança das fundações será realizada de acordo com o preconizado no Eurocódigo 7 - Projecto Geotécnico.

## **5. PROCESSOS DE CÁLCULO**

Na determinação dos esforços característicos e dos valores de cálculo dos esforços resistentes nos vários elementos constituintes da obra de arte serão utilizados processos matemáticos. Esses processos serão executados em computador através de programas próprios especialmente desenvolvidos para as análises estática e dinâmica de pontes.

Todos estes programas estão já devidamente validados pela sua utilização ao longo dos anos em numerosas obras projectadas e construídas.

## **6. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOPTADA**

### **6.1. Tabuleiros**

Cada tabuleiro será constituído por duas nervuras longitudinais com uma altura constante de 1,80 metros, em betão armado pré-esforçado, ligadas por uma laje de espessura constante que se prolonga exteriormente em consolas de espessura variável. As nervuras serão vazadas em todos os tramos, com um furo de diâmetro igual a 1,0 metros, de forma a cobrir, com a redução do peso morto, uma parte considerável da sobrecarga uniforme regulamentar e a minimizar o consumo de betão. Os tramos extremos são dotados de carlingas sobre os encontros.

A variação de largura dos tabuleiros na zona final do viaduto será feita á custa do aumento da largura da laje entre nervuras, mantendo-se toda a restante geometria da secção constante.

A solução adoptada tem vãos compatíveis com o aproveitamento económico do processo construtivo e com a geometria e altimetria dos atravessamentos em causa, resultando na seguinte distribuição de vãos:  $23,0 + 29,0 + 3 \times 36,0 + 6 \times 32,0 + 36,0 + 4 \times 33,5 + 35,4 + 7 \times 33,8 + 2 \times 37,5 + 30,0 = 899,0$  m.

Dado o viés com que o viaduto cruza alguns dos atravessamentos existentes, houve necessidade de dispor alguns dos pilares segundo o alinhamento desses atravessamentos de modo a não aumentar em muito os vãos que os atravessam.

Em todos os restantes apoios dispôs-se os alinhamentos de pilares ortogonais ao eixo do viaduto.

A ligação do tabuleiro aos pilares é feita monoliticamente ou através de aparelhos de apoio do tipo “pot-bearing” onde assenta o tabuleiro.

## 6.2. Pilares

Os pilares, em betão armado e em número de dois por eixo de apoio de cada tabuleiro, são de forma circular e dão continuidade às estacas de fundação, isto é, as estacas são elas próprias, os pilares. Cada fiada de dois pilares está interligada, 0,50 metros abaixo do terreno natural, por uma travessa de betão armado. Os pilares-estaca têm 1,50 metros de diâmetro.

Os pilares apresentam uma altura máxima da ordem dos 15 metros.

## 6.3. Encontros

Os encontros, também em betão armado, serão do tipo perdido constituídos por montantes ligados superiormente pela viga de estribo e inferiormente por um maciço de encabeçamento de estacas.

Ambos os encontros disporão lateralmente de muros e de pequenos muretes em consola que se destinam a suportar os acrotérios e a dar contenção aos aterros de acesso à obra de arte.

Os tabuleiros terão livre dilatação em ambos os encontros, embora sejam, como aliás nos seus restantes apoios, travados na direcção transversal.

#### **6.4. Diversos**

O viaduto será dotado dos equipamentos normalmente considerados em obras do género, tais como esgotos, caixas de visita nos passadiços, vigas de bordadura, guardas, perfis de segurança, juntas de dilatação, etc..

No betão de enchimento dos passadiços serão incorporados tubos circulares destinados à passagem de cabos e de fibras ópticas. Os passadiços são rematados no interior por lancis de betão armado aos quais serão solidarizadas as vigas de bordadura pré-fabricadas. Exteriormente, e sobre a parte superior das peças pré-fabricadas, serão dispostos os corrimãos metálicos.

Os aparelhos de apoio serão do tipo “pot-bearing” quer fixos quer deslizantes sobre teflon na direcção longitudinal. Os aparelhos fixos permitirão rotações e impedirão os movimentos horizontais relativos tabuleiro-pilares sob as acções de serviço e dos sismos em todas as direcções, e os móveis admitirão deslocamentos longitudinais em todas as situações.

Um pequeno número de aparelhos de apoio, embora móveis longitudinalmente, serão dotados de dispositivos especiais de travamento longitudinal que impedirão deslocamentos relativos pilar-tabuleiro sob a acção dos sismos.

### **7. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO**

Os processos de execução das fundações, pilares e encontros serão os usuais em viadutos de betão armado pré-esforçado, pelo que não lhes faremos aqui referência especial.

Os tabuleiros serão construídos tramo a tramo, com recurso a cavaletes apoiados no solo, pelo processo usual de construção, em cada fase, da maior parte da extensão do tramo e de uma consola do tramo seguinte.

Nos tramos que atravessam a Auto-estrada A2, o Caminho Municipal e as Linhas de Caminho de Ferro, deve-se ter especial cuidado com as estruturas a utilizar para a construção desses tramos, por forma a que não interfiram com o normal funcionamento das vias, garantindo-se os “gabarits” e larguras de circulação mínimos, a segurança dos utentes das vias inferiores e do pessoal da obra.

## 8. DURABILIDADE

Para assegurar adequada durabilidade à obra de arte serão adoptadas as medidas necessárias quanto à qualidade dos materiais e quanto à realização dos trabalhos e dos estudos dos betões que constituirão objecto de documentos próprios a desenvolver aquando da realização do empreendimento.

## 9. MATERIAIS

Os principais materiais a utilizar na construção das várias peças constituintes da obra de arte são das seguintes qualidades:

– Betões:

Estacas.....	NP EN206-1; C30/37; XC2(P); C1 0.40; D20; S4
Lintéis de fundação .....	NP EN206-1; C30/37; XC2(P); C1 0.40; D25; S3
Elevação dos encontros .....	NP EN206-1; C30/37; XC4(P); C1 0.40; D25; S3
Elevação dos pilares .....	NP EN206-1; C30/37; XC4(P); C1 0.40; D25; S3
Tabuleiros.....	NP EN206-1; C35/45; XC4(P); C1 0.20; D25; S3

– Aços:

Armaduras ordinárias .....	A500 NR SD
Armaduras activas .....	Aço de pré-esforço em cordão – EN10138-3 Y1860S7

## 10. COLABORAÇÃO

Na elaboração deste Projecto contámos com a colaboração dos seguintes técnicos:

- Análise Estrutural  
Eng<sup>a</sup> Susana Bispo
- Geometria  
Augusto Pombo
- Desenho  
João Faria  
Carlos Henriques
- Secretariado  
Sandra Dionísio

Lisboa, Setembro de 2009.



Armando António Marques Rito  
(Eng.º Civil)



Pedro Castro Caldas Cabral  
(Eng.º Civil)