

## **Ponte sobre o Rio Mondego e Viaduto de Acesso**



**Susana Bispo<sup>1</sup>**



**Armando Rito<sup>2</sup>**



**Rodrigo J. Maia<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

A ponte sobre o rio Mondego está integrada na A17 – Auto-Estrada Marinha Grande / Mira no Sublanço Lourçal / A14.

A ponte é constituída por uma superestrutura contínua, formada por dois tabuleiros, paralelos e independentes, com a seguinte modulação de vãos:  $32+9\times 41,5+56,6+2\times 100+2\times 135+84=1016,1$  m.

A obra, embora estruturalmente contínua, divide-se em duas zonas distintas consoante o método construtivo adoptado para a construção dos tabuleiros. Os tabuleiros da ponte foram construídos por avanços sucessivos e o viaduto de acesso foi construído tramo a tramo.

Na ponte, cada tabuleiro dispõe de quatro estacas por apoio. Os pilares, que dão continuidade às estacas, são ligados transversalmente por uma lâmina de betão. Os pilares do viaduto, dois por eixo de apoio de cada tabuleiro, são de forma circular e dão continuidade às estacas de fundação.

A construção da obra ficou concluída em Maio do presente ano, no âmbito do contrato de concepção, projecto e construção da Auto-estrada A17, entre Marinha Grande e Mira, elaborado entre o Estado Português e a Concessionária BRISAL – Auto-estradas do Litoral. Para a construção das obras integradas na Concessão Litoral Centro foi constituído um agrupamento de várias empresas portuguesas denominado de LACE – Litoral Atlântico, Construtores ACE.

No caso particular da ponte sobre o rio Mondego a sua construção esteve a cargo da SOMAGUE e o seu viaduto de acesso da LENA CONSTRUÇÕES.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Viga-caixão, avanços, vigado, cimbria autolanzável, avanços

<sup>1</sup> Armando Rito Engenharia, S.A., R. Hermano Neves, 22 4ª, 1600-477 Lisboa, Portugal. susana.bispo@arito.com.pt

<sup>2</sup> Armando Rito Engenharia, S.A., R. Hermano Neves, 22 4ª, 1600-477 Lisboa, Portugal. armando.rito@arito.com.pt

<sup>3</sup> Novopca, S.A., R. dos Sobreiros, 332, 4461-901 Srª da Hora, Portugal. rodrigo.jorge.maia@novopca.pt

## 1. INTRODUÇÃO

A solução adoptada para a ponte é aquela que a geometria de traçado, as condições topográficas e os obstáculos a tranpor e os condicionamentos impostos, em especial pelo INAG, pelo HIDRa e pela REFER, aconselharam como a mais favorável, quer do ponto de vista económico quer do ponto de vista estrutural quer, ainda, do ponto de vista da integração da obra no ambiente circundante.



Figura 1. Vista geral da obra.

A plataforma é constituída por dois tabuleiros independentes que asseguram uma largura total de 36,40 metros. Cada tabuleiro tem uma plataforma de 18,10 m de largura, tendo do interior para o exterior: 1,90 m de meio separador central, 1,00 m de berma esquerda, 3×3,75 m de faixa de rodagem, 3,00 m de berma direita e 0,95 m de perfil metálico de segurança, passadiço e viga de bordadura, dos quais 0,50 m estão disponíveis para a circulação do pessoal de manutenção.

Em perfil longitudinal a obra desenvolve-se num trainel com uma inclinação igual a +1,00% e em planta insere-se na seguinte sequência de elementos: curva circular esquerda de raio 900 m, clotóide esquerda de parâmetro A=400 e alinhamento recto.

A obra vence o vale do rio Mondego a cerca de 26,0 metros de altura máxima.

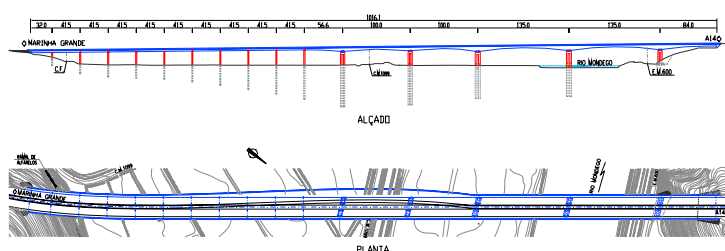


Figura 2. Alçado e planta da obra.

## 2. GEOLOGIA E FUNDAÇÕES

Os terrenos de fundação interessados são essencialmente constituídos por formações aluvionares, A campanha de prospecção executada para a análise das características geológico-geotécnicas da zona interessada pela obra compreendeu a realização de sondagens mecânicas e ensaios SPT e de ensaios de penetração estática. As formações com características geotécnicas homogéneas foram agrupadas

considerando quer a litologia quer a compactação expressa pelos resultados obtidos nos ensaios SPT. Foram, assim, consideradas três zonas geotécnicas: ZG3, ZG2 e ZG1.

A zona geotécnica 3 ocorre desde a superfície até profundidades que variam entre os 2 e os 50 metros e é constituída por aluviões formados essencialmente por lodos, argilas lodosas e areias silto-lodosas que apresentam, frequentemente, valores de SPT inferiores 10 pancadas. A zona geotécnica 2, subjacente á ZG1, ocorre a profundidades entre os 6 e os 55 metros sendo constituída por argilas margosas de forte carácter gresoso junto ao encontro esquerdo, areias finas siltosas na zona central do vale e por areais finas a médias, levemente siltosas, compactas, com seixos e calhais quartzosos na zona do leito do rio. Esta camada apresenta valores de SPT entre 30 e 60 pancadas. A zona geotécnica 1, subjacente às anteriormente referidas, apresenta valores de SPT superiores a 60 pancadas e corresponde a materiais da idade jurássica sendo essencialmente constituída por calcários gresomargosos, margas compactas rijas, areais argilo-margosas e grés argiloso muito compacto.

Face aos resultados obtidos e atendendo à litografia observada adoptaram-se fundações indirectas realizadas por meio de estacas com 1,5 m de diâmetro nos pilares P2 a P9, com 2,0 m nos pilares P10 a P12 e 2,5 m nos pilares P13 e P14. Nos encontros e nos pilares P1 e P15 adoptaram-se fundações directas por intermédio de sapatas.

As estacas têm uma penetração suficiente na zona geotécnica 1 para garantir a capacidade de suporte das fundações. Com o objectivo de reduzir o seu comprimento e, consequentemente, ter uma maior flexibilidade na escolha dos equipamentos a utilizar na sua construção optou-se por injectar a ponta das estacas.

A injeção permite aumentar a resistência de ponta e dar maiores garantias de capacidade de suporte aos terrenos de fundação, melhorando-os ao recomprimir os fundos dos furos, ao formar um bolbo injectado com calda de cimento na ponta das estacas e ao colmatar eventuais vazios na ponta destas, permitindo, assim, contar com segurança com a contribuição de toda a área de contacto para resistência.

As estacas dos pilares localizados no rio foram executadas com recurso a meios fluviais sendo que os seus embasamentos foram construídos com recurso a caixotões pré-fabricados que foram colocados na sua posição definitiva por forma a servirem de cofragem para a betonagem de todo o seu volume final.



Figura 3. Pormenores da execução das fundações no rio.

Nas execução das sapatas dos pilares P15 de forma a evitar escavações abaixo da cota da estrada E.M. 600 e, sobretudo, abaixo da cota do nível freático, que obrigaria a execução de trabalhos de contenção complexos foi efectuado o tratamento dos terrenos superficiais descomprimidos através de colunas de jet grouting onde assentam as sapatas de fundação.

### **3. CONDICIONAMENTOS DO PROJECTO**

Além dos condicionamentos que decorrem da obrigatoriedade de respeitar o traçado da auto-estrada e da necessidade de conter na plataforma quer o seu perfil transversal quer os dispositivos de segurança e os passadiços e, ainda, dos que derivam das condições topográficas, geotécnicas e ambientais do local de implantação da obra, foram tomadas em consideração também as seguintes condicionantes:

- Respeitaram-se os condicionamentos impostos pela REFER no cruzamento do Ramal de Alfarelos da linha de Caminho de Ferro;
- Procurou-se não interferir com os canais de rega e/ou drenagem atravessados. No caso do pilar P6, tal não foi possível sendo que o desvio e restabelecimento do canal interferido não ofereceu qualquer dificuldade tendo sido localmente ajustado de forma a afastá-lo definitivamente do pilar;
- O caminho agrícola interferido pelo pilar P8 foi localmente ajustado sendo que os restantes caminhos não sofreram qualquer interferência;
- Na implantação dos pilares nos leitos maior e menor do rio Mondego procurou-se que os mesmos não interferissem com os diques e seus caminhos paralelos. Acolheram-se, ainda, as recomendações do INAG no que respeita às distâncias mínimas entre os pilares e a base dos diques;
- Foi realizado um estudo hidráulico com o objectivo de averiguar os condicionamentos impostos pelas máximas cotas e velocidades de escoamento bem como avaliar a necessidade de se efectuarem protecções contra erosões localizadas nos pilares situados nos leitos de cheia e menor do rio;
- O Caminho Municipal C.M. 1099 e a Estrada Municipal E.M. 600 não sofrem qualquer interferência;
- Não houve qualquer interferência com a conduta da LusitâniaGás existente ao longo da E.M. 600;
- Foi dimensionado um sistema de drenagem de forma a cumprir com as exigências do IDRHa que impunha que as descargas de águas pluviais da obra fossem efectuadas apenas para a Vala das Areias, existente entre os pilares P10 e P11, e o rio Mondego sendo este o ponto de descarga preferencial dada a maior capacidade de diluição da eventual poluição gerada.

A concepção estrutural e o processo construtivo foram, ainda, escolhidos de forma a permitir a execução da obra no mais curto espaço de tempo. Para isso recorreu-se a soluções estruturais reconhecidamente eficazes para a construção das quais o Grupo Construtor possuía quer os conhecimentos quer os equipamentos necessários.

#### **4. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOPTADA**

A concepção estrutural teria, ainda, de ter como objectivo obtenção da máxima economia e rapidez de execução sem perder de vista os aspectos de durabilidade, funcionais, estéticos e de harmoniosa integração no ambiente. O processo construtivo deriva, naturalmente, dos condicionamentos dos atravessamentos pelo que a obra sobre o rio Mondego teria que ser executada por avanços sucessivos e o viaduto de acesso teria de ser executado tramo a tramo em toda a sua extensão.

Assim a obra tem, nos 405,5 m iniciais, uma zona com tabuleiros vigados de altura constante, e nos 610,6 m finais uma zona com tabuleiros em viga caixão de altura variável. Ambas as zonas têm uma geometria exterior dos tabuleiros idêntica de maneira a garantir a continuidade visual de toda a obra.

#### 4.1 Ponte

A superestrutura da ponte é constituída por dois tabuleiros, paralelos e independentes, afastados entre si de 0,20 metros. Cada tabuleiro é uma viga contínua de betão armado e pré-esforçado, em caixão unicelular, e foi construído a partir das aduelas de encabeçamento dos pilares por troços entre 3,50 e 5,00 m betonados em consola. Terminada a construção de cada par de consolas a continuidade dos tabuleiros foi estabelecida através da betonagem das aduelas de fecho.

O comprimento das aduelas foi adaptado de acordo com a capacidade máxima dos carros de avanços disponíveis no mercado.

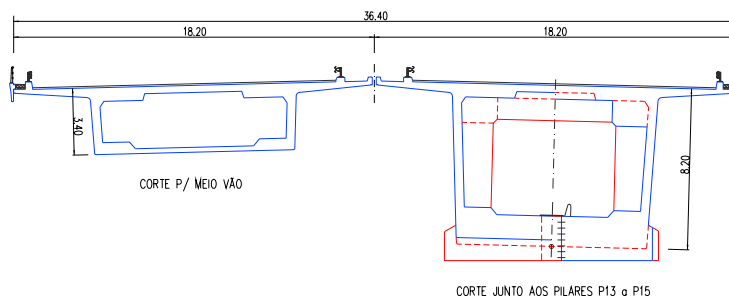


Figura 4. Secção transversal dos tabuleiros em viga caixão.

Dada a variação de vãos, devida aos condicionamentos impostos, as consolas foram construídas, em parte, de forma assimétrica segundo um faseamento imposto na fase de projecto. A construção dos tabuleiros foi objecto de um rigoroso controlo da sua geometria.



Figura 5. Execução da ponte.

Dada a extensão da ponte e o curto espaço de tempo para a sua construção, que era de 20 meses, foram utilizados 7 pares de carros de avanços na sua execução.

Prevendo a eventualidade de, no futuro, poder ser necessário reforçar os tabuleiros por aumento das sobrecargas de exploração, ou por excesso de deformação, a obra está dotada dos dispositivos necessários para a realização desse reforço através da utilização de pré-esforço interior (pré-esforço aderente) e pré-esforço exterior.

Os pilares são em betão armado e, com excepção dos pilares junto ao encontro Norte, dão continuidade às estacas de fundação. Cada tabuleiro dispõe de quatro estacas por apoio.



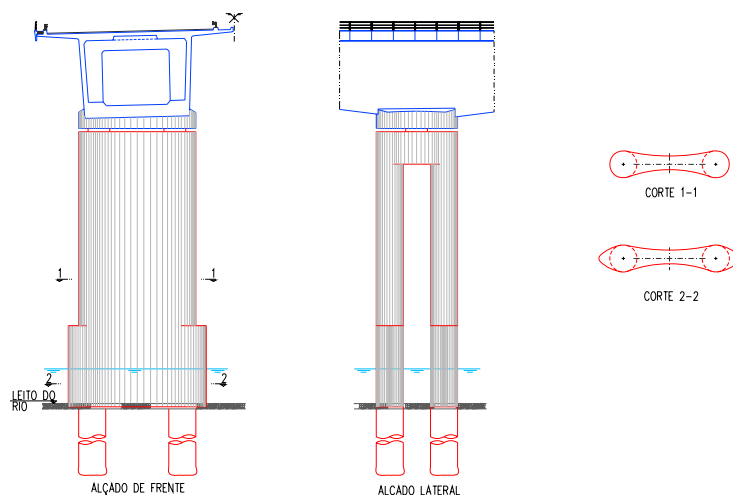


Figura 6. Alçados e secção transversal dos pilares da ponte.

Cada par de estacas está ligado, transversalmente, por uma lâmina de betão, que lhes confere maior rigidez e limita os deslocamentos. Essas lâminas ligam apenas a zona superior das estacas e, por razões estéticas, foi-lhes dada uma forma que tivesse boa qualidade visual e, ao mesmo tempo, uma forma hidrodinâmica. Dado que a obra atravessa o rio Mondego com um viés acentuado foi necessário ligar, no coroamento, as duas lâminas por uma mesa de estribo destinada a servir de apoio ao tabuleiro.



Figura 7. Pilares da ponte.

Na construção dos tabuleiros foi utilizado, em cada pilar, um sistema de equilíbrio das consolas, dimensionado de forma a garantir a segurança das mesmas durante a sua construção às acções de derrubamento, nomeadamente para a situação de acidente correspondente á queda de um dos cimbres. Cada sistema de equilíbrio era composto por 4 aparelhos de apoio provisórios e cabos de pré-esforço que ligavam o tabuleiro ao pilar e garantiam, assim, uma ligação monolítica entre ambos.

#### 4.2 Viaduto de Acesso

A superestrutura do viaduto é constituída por dois tabuleiros independentes. Cada tabuleiro é constituído por duas vigas longitudinais com uma altura constante, em betão armado e pré-esforçado, ligadas por uma laje de espessura variável, laje essa que se prolonga exteriormente em consolas, também de espessura variável. O tramo extremo é dotado de travessas sobre o encontro Sul.

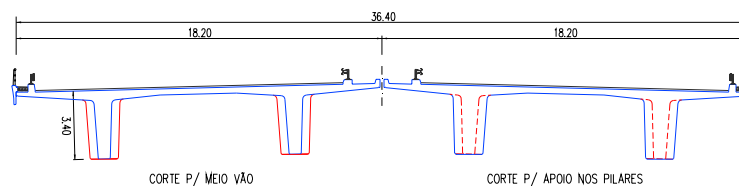


Figura 8. Secção transversal dos tabuleiros vigados.

A ligação entre a zona vigada e a zona em viga caixão é contínua e feita através da introdução de uma laje inferior a ligar as duas vigas longitudinais.

O viaduto foi construído tramo a tramo, com recurso a um cimbre auto-lançável e cavaletes apoiados no solo nos tramos junto ao encontro, pelo processo usual de construção, em cada fase, da maior parte da extensão do tramo e de uma consola do tramo seguinte.



Figura 9. Execução do viaduto de acesso.

Os pilares, em betão armado e 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, abaixo do terreno natural, por uma travessa de betão armado.

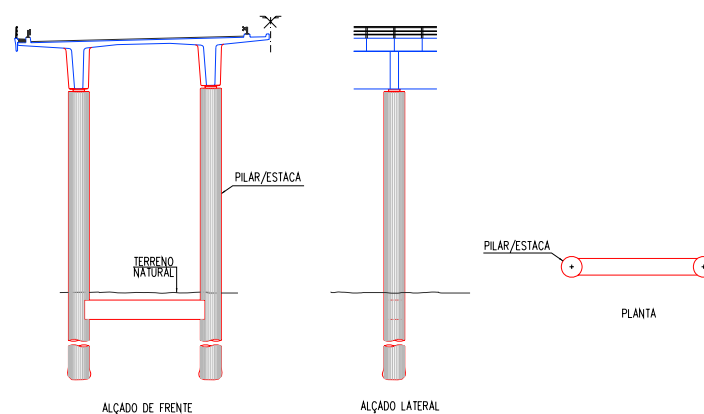


Figura 10. Alçados e secção transversal dos pilares do viaduto de acesso.

### 4.3 Encontros

Os encontros são de dois tipos. O do lado Sul é em cofre fechado, em forma de “U”, e é constituído por montantes ligados superiormente pela viga de estribo e inferiormente pela sapata de fundação. O do lado Norte é do tipo perdido, maciço. Ambos os encontros dispõem lateralmente de pequenos muretes que suportam os acrotérios e dão contenção aos aterros de acesso á obra de arte.

### 4.4 Diversos

Os aparelhos de apoio são do tipo “pot-bearing”, fixos ou deslizantes sobre teflon na direcção longitudinal. Os aparelhos de apoio dos pilares P11 a P13, embora móveis longitudinalmente, são dotados de dispositivos especiais de travamento longitudinal que impedem os deslocamentos relativos pilar-tabuleiro sob a acção dos sismos.

Foi dada particular importância ao tratamento estético da obra. Isso pode ser apreciado, por exemplo, na geometria e estereotomia dos pilares da ponte e do tabuleiro, na distribuição dos tramos, nas relações de altura das várias secções dos tabuleiros e no tratamento das vigas de bordadura que são texturadas.



Figura 11. Fotomontagens.

Os tabuleiros dispõem, ainda, de um sistema de drenagem de águas pluviais. Este sistema foi concebido para captar as águas através de sumidouros conduzindo-as por colectores que se desenvolvem suspensos do tabuleiro. A descarga das águas, efectuada em três secções da ponte, ocorre por jactos livres junto ao pilar do rio, por intermédio de prumadas para a Vala das Areias o que obriga à existência de uma pequena bacia de dissipação e, no encontro Sul, directamente para o sistema de drenagem da obra geral.

## **5. CONTROLO DE GEOMETRIA**

O tabuleiro da ponte, como atrás referido, foi construído por avanços sucessivos em consola, com as aduelas betonadas “in-situ”. No presente caso, devido à grandeza dos vãos, às grandes cargas envolvidas, à assimetria das consolas dos pilares P12 e P13 e aos gradientes térmicos que se verificam na zona, o processo construtivo obrigava a rigorosas operações de controle quer da geometria quer da segurança da obra. Para isso, o faseamento de construção dos tabuleiros foi integralmente simulado, incluindo-se nessa simulação todos os efeitos reológicos tendo-se obtidos os esforços tensões e deslocamentos carregamento por carregamento.

Na figura seguinte apresenta-se a comparação entre o comportamento real e o esperado de uma das consolas do pilar P13, sendo a assimetria na execução desta consola 20 metros. Como se pode constatar, apesar da delicadeza das operações, o desvio máximo, excepto numa situação pontual, não ultrapassou os 2 cm. Os desvios ocorridos foram devido a ocorrências fortuitas tais como erros de nivelamento associados ao comportamento errático de um dos cimbres de cada par.



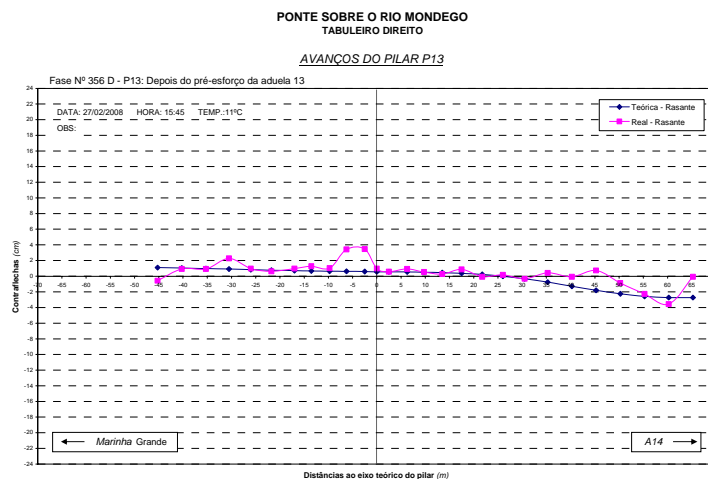


Figura 12. Controlo de geometria. Consola do pilar P13.

## 6. CONCLUSÃO

A ponte abriu ao tráfego a 15 de Maio de 2008 tendo sido executada, como referido anteriormente, em 20 meses.

Durante execução da obra foram ultrapassadas diversas dificuldades, em especial no que se refere às estacas da ponte de avanços que atingiram comprimentos da ordem dos 50-60 metros. Estas, dadas as diferenças encontradas nas profundidades a que ocorriam os terrenos interessadas na sua ponta para o mesmo alinhamento de pilares, exigiram o constante acompanhamento por parte do Projectista e Fiscalização e a consequente adaptação das cotas de pé das estacas de acordo com a realidade encontrada em obra.

A execução de consolas assimétricas obrigava, ainda, ao rigoroso cumprimento do faseamento construtivo previsto aquando da elaboração do projecto.

Considera-se que o sucesso da construção da ponte sobre o rio Mondego em tão curto prazo se deveu, em grande parte, à interacção entre o Projectista, o Construtor e o Dono de Obra sendo que todas as dificuldades encontradas foram prontamente resolvidas entre todos os intervenientes na obra.



Figura 13. Vista geral da ponte.



Figura 14. Vista geral do viaduto de acesso.