

Ponte sobre o rio Limpopo



Vasco Amaral¹



José Paulo Cruz¹



Victor D. Barata¹

RESUMO

O rio Limpopo em Moçambique, além de um recurso natural de grande valor, constitui também uma barreira ao desenvolvimento das regiões que atravessa, impondo-se como uma barreira à circulação de pessoas e bens. Como resposta a este obstáculo natural foi lançado um concurso internacional para a construção de uma nova ponte sobre o rio Limpopo em Guijá, província de Gaza. Esta obra, inserida na estrada nacional N°208, permite restabelecer a travessia que já existiu, mas que foi destruída nas cheias de 2000, evitando o desvio a que era obrigado o trânsito rodoviário.

A ponte apresentada neste artigo, projectada pela Lisconcebe e construída pela Teixeira Duarte, respeitou o conceito estrutural presente a concurso, desenvolvendo e complementando, em particular no que se refere à adaptação às condições de fundação e à definição dos métodos e meios construtivos necessários para a concretização do atravessamento.

A solução materializada em obra, apresenta um tabuleiro em betão armado pré-esforçado, contínuo com 490,0m de extensão, repartido por 8 vãos centrais de 50,0m e dois vãos extremos de 45,0m. A largura do tabuleiro é de 11,4m sendo a altura máxima dos pilares em betão armado de 12,0m. As fundações são profundas através de estacas encamisadas, de betão armado, Ø0,80m, 8 em cada pilar

Para a construção do tabuleiro, e face aos condicionamentos existentes, optou-se pelo método do lançamento incremental, sendo executado e lançando de cada vez segmentos com 25,0m de extensão, correspondendo a metade do vão corrente.

Numa zona em que os recursos materiais e humanos são escassos, a escolha dos métodos construtivos, o cuidadoso planeamento da obra, a adequada afectação de meios e a colaboração construtor/projectista/fiscalização revelaram-se factores decisivos no sucesso do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE

Ponte, caixão, betão pré-esforçado, lançamento incremental, fundações profundas.

¹ Eng. Civil. Lisconcebe S.A., Rua Dom Cristóvão da Gama, nº 1 – 1ºA/B, 1400-113 Lisboa, Portugal.
geral@lisconcebe.pt

1. INTRODUÇÃO

A ponte sobre o rio Limpopo está situada a cerca de 200km a norte de Maputo, na estrada nacional N°208, província de Gaza e liga as povoações de Chokwe e Guijá.

A antiga travessia do rio, constituída por um aterro com manilhas, foi destruída durante as cheias de 2000 pelo que a ligação entre as margens passou a ser assegurada por barco, que apenas permitia a passagem de pessoas, de algumas mercadorias e de pequenos volumes de tráfego ligeiro. Todo o restante trânsito rodoviário ficou sujeito a um desvio de várias dezenas de quilómetros, até Dezembro de 2007, data em que se inaugurou a nova ponte.

Esta era de facto uma travessia já há muito pensada para a região, sendo os primeiros estudos para a construção de uma nova ponte de 1978, tendo no entanto sido apenas em 2005 que o concurso foi lançado.

2. CONDICIONAMENTOS

2.1 Estudos preliminares

Dos elementos presentes no concurso eram vários os estudos e especificações que enquadravam a solução que deveria ser desenvolvida para a construção da ponte. Foram disponibilizados o estudo rodoviário, estudo hidráulico, relatório geotécnico, especificações de projecto, especificações técnicas do caderno de encargos, bem como os códigos aplicáveis e algumas disposições particulares.

Neste conjunto de elementos estava também definido qual o conceito estrutural a utilizar, que se constituiu assim como um condicionamento para a solução que seria desenvolvida.

2.2 Geométricos

Os principais condicionamentos geométricos foram:

- Plataforma transversal com uma largura de 11,40m (2,0 + 7,4 + 2,0);
- Extensão total da ponte – 490,0m;
- Rasante constituída por três curvas circulares;
- Directriz em recta.

2.3 Estruturais

Os principais condicionamentos relativos à solução estrutural a adoptar que se encontravam nos elementos presentes a concurso são:

- Tabuleiro em viga-caixão em betão armado pré-esforçado, com vãos de 40m a 50m.;
- Fundações profundas através de estacas Ø0,80m (6 por pilar);
- Maciço de estacas com forma oval do lado de montante por forma a reduzir a acção hidrodinâmica;
- Batente transversais nos pilares e encontros para resistir a uma força de 1.5MN.

2.4 Geológico-geotécnicos

Através da interpretação das condições de fundação com base nas sondagens disponíveis para concurso, caracterizou a solução para as fundações:

- Estacas moldadas com camisa metálica perdida;
- Diâmetro mínimo Ø0,80m;

- Comprimento das estacas a determinar com base em campanha de prospecção geotécnica e ensaio de carga estáticos, após adjudicação da empreitada

2.5 Hidráulicos

Os condicionamentos hidráulicos resultantes dos estudos efectuados definiam:

- Tirante de ar de 1,0m em 70 % da extensão da ponte (330m);
- Velocidade máxima do escoamento = 4,0m /s;
- Acção hidrodinâmica sobre os pilares para a situação de cheia centenária;
- Efeito de erosão hidrodinâmica com infraescavação do fundo do rio numa profundidade de 6,0m;
- Não utilizar protecções para as fundações dos pilares;
- Prever dispositivos que garantam a estabilidade do tabuleiro durante uma cheia;
- Prever dispositivos que permitam garantir o funcionamento e durabilidade da obra, quer para as condições normais de exploração, quer para a acção de cheia;

3. ESPECIFICAÇÕES

As seguintes especificações particulares foram definidas nos elementos do concurso, e foram seguidas no desenvolvimento do projecto.

3.1 Códigos estruturais

Os seguintes códigos estruturais foram seguidos para o dimensionamento e verificação da estrutura:

- Draft Code of Practice for Design of Road Bridges and Culverts, SATCC September 1998, - Part 1: General Statement;
- Draft Code of Practice for Design of Road Bridges and Culverts, SATCC September 1998, - Part 2: Specification for Loads (herein referred to as “SATCC – Part2”);
- TMH7 – Part 3 – 1989: Code of Practice for the Design of Highway bridges and culverts in South Africa;
- BS 5400 – Part 9 – Section 9.1 1983: Code of Practice for Design of Bridges Bearings.
- BS 8004 – 1986: Code of practice for foundations;
- BS 8002 – 1994: Earth Retaining Structures.

3.2 Materiais

Para os materiais a utilizar em obra foi seguida a especificação presente nos elementos do concurso:

- Betão estrutural:
 - $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$;
 - recobrimentos entre 30 e 50 mm;
 - instante de pós-tensão $f_c > 0,85 f_{ck}$;
- Armaduras ordinárias:
 - $f_y = 450\text{ MPa}$;
- Armaduras de pré-esforço (cordões)
 - máxima força de puxe $0,80f_u$
 - máxima força instantânea na ancoragem $0,70f_u$

3.3 Acções

Algumas especificações particulares foram igualmente definidas para este projecto, algumas das quais em articulação com a regulamentação exigida.

- Peso próprio – betão armado $g = 26,5 \text{ kN/m}^3$;
- Restantes acções permanentes – sobrecarga de repavimentação: $0,8 \text{ kN/m}^2$;
- Assentamentos – inclinação transversal dos pilares = $1/1000$;
- Assentamentos diferenciais entre pilares = 20mm ;
- Cheia centenária:
 - cota $30,3\text{m}$, $v = 4,0 \text{ m/s}$
 - ângulo de ataque -5° ; 0° ; 5° ;
 - caudal sólido no topo do pilar, $F = 180 \text{ kN}$;
 - erosão – infraescavação de $6,0\text{m}$.

4 SOLUÇÃO ADOPTADA

4.1 Introdução

A solução adoptada segue de perto o conceito estrutural definido nos estudos preliminares, desenvolvendo-o e adaptando-o às condições locais.

4.2 Métodos construtivos

Como método construtivo para a construção do tabuleiro adoptou-se o lançamento incremental do tabuleiro através do método “lift-push”. De entre outros métodos construtivos possíveis este foi aquele que, da análise realizada pelo grupo projectista/empreiteiro, se revelou o mais competitivo, apresentando as seguintes vantagens:

- Segurança na execução dos trabalhos;
- Garantia de cumprimento dos prazos;
- Elevados ritmos de execução;
- Possibilidade de trabalhar em condições adversas;
- Garantia de qualidade;
- Economia de meios;

Salienta-se a possibilidade de, e desde que os pilares já tivessem sido executados, ser possível avançar com os trabalhos do tabuleiro, mesmo numa situação de cheia, situação que se veio a verificar durante a execução da obra.

A utilização deste método construtivo teve impacto no projecto da ponte, salientando-se os seguintes aspectos:

- Alteração da rasante, de três curvas circulares para uma única curva circular;
- Adaptação da geometria do Encontro Oeste de onde o tabuleiro foi lançado, para poderem ser instalados os equipamentos e para resistir às forças de lançamento;
- Execução de um banco para fabricação e lançamento do tabuleiro atrás do Encontro Oeste;
- Concepção de um sistema de pré-esforço adequado aos esforços da fase construtiva;
- Adaptação da carlinga de extremidade para ligação ao nariz metálico frontal;
- Alargamento dos pilares para resistir aos esforços de lançamento do tabuleiro;
- Capitel no topo dos pilares para instalar os equipamentos necessários ao lançamento do tabuleiro;
- Verificação do tabuleiro para todas as posições e solicitações durante o lançamento.

A adopção deste método tornou ainda necessária a utilização de uma série de equipamentos auxiliares que foram definidos e dimensionados em conjunto com a ponte, por forma a possibilitar o faseamento construtivo. Foi assim necessário definir o banco de pré-fabricação, os equipamentos hidráulicos para

o lançamento, sistema de guiamento lateral e de deslizamento sobre os pilares e encontros e um nariz frontal, metálico, por forma a reduzir os esforços das diferentes fases construtivas.

4.3 Descrição da solução

Tendo em conta os condicionamentos apresentados desenvolveu-se o projecto de execução da estrutura com as seguintes características:

- Estrutura em betão armado pré-esforçado;
- Tabuleiro contínuo com 490m de extensão → 45m + 8 x 50m + 45m;
- Largura de 11.4m;
- Altura máxima dos pilares 12m;
- Tabuleiro sustentado transversalmente nos encontros e pilares;
- Tabuleiro fixo longitudinalmente ao encontro Oeste;

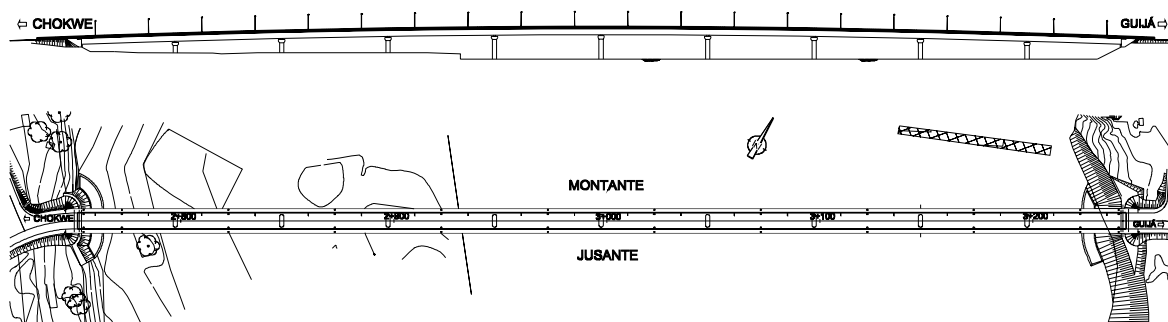


Figura 1. Alçado e Planta

4.3.1 Tabuleiro

O tabuleiro é um caixão unicelular em betão armado pré-esforçado de altura constante e igual a 3,00m. A laje superior possui duas consolas com 2,65m de balanço, variando a sua espessura entre 0,45m e 0,25m. Na zona entre almas do caixão, a laje superior possui uma espessura de 0,27m nos 1,90m centrais, passando depois para 0,45m de espessura junto às almas as quais possuem uma espessura constante de 0,40m ao longo de todo o desenvolvimento do tabuleiro.

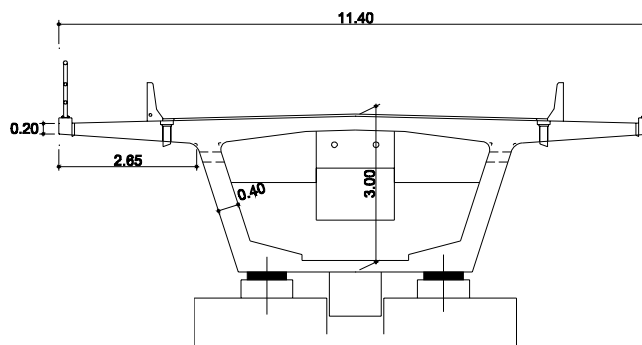


Figura 2. Secção transversal do tabuleiro

A laje inferior do caixão com uma largura total de 6,50m possui uma espessura constante de 0,225m na zona central entre almas e esquadros de reforço junto às mesmas.

Sobre os eixos dos pilares e encontros o tabuleiro apresenta-se reforçado transversalmente por carlingas simples que possuem uma abertura destinada a permitir a circulação de pessoas e equipamentos ao longo de todo o comprimento do tabuleiro, o qual possui portas de acesso ao exterior junto aos encontros.

O tabuleiro é pré-esforçado longitudinalmente por intermédio de duas famílias de cabos, pré-esforço aderente que é dimensionado para a fase construtiva de lançamento do tabuleiro e pré-esforço exterior que permite fornecer a resistência adicional para a acção das sobrecargas.

O pré-esforço aderente é constituído por cabos rectos dispostos nas lajes superior e inferior, existindo ainda cabos de reforço na laje superior na zona frontal durante o lançamento e barras de reforço na laje inferior para os vãos de extremidade.

O pré-esforço exterior apresenta um traçado poligonal, que é conferido pela existência de blocos de ancoragem junto à laje superior nas carlingas situadas sobre os pilares e encontros e septos desviadores situados a cerca de $\frac{1}{4}$ de vão.

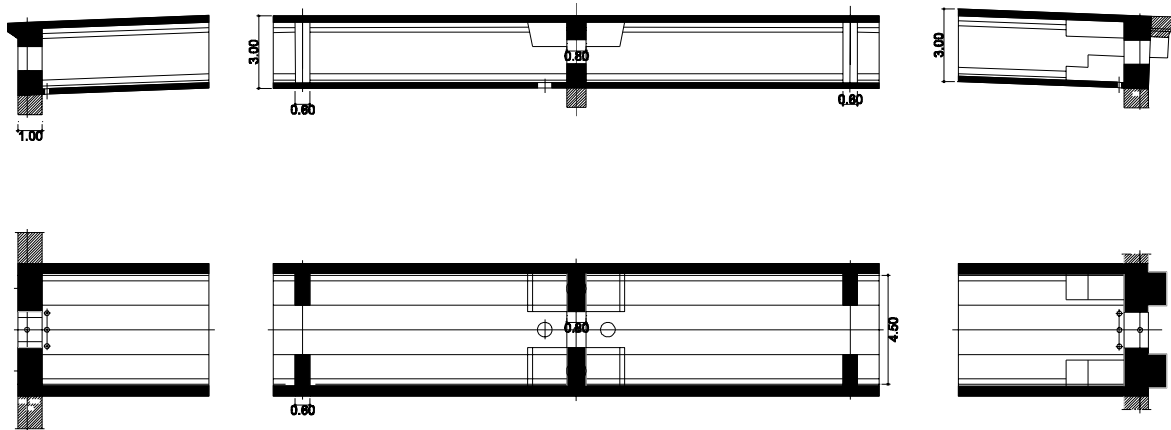


Figura 3. Corte longitudinal e horizontal do tabuleiro

4.3.2 Pilares e encontros

Os pilares são constituídos por um fuste único de secção oval 2,0m x 6,0m, vazada, com paredes de 0,25m de espessura, que dá apoio ao tabuleiro e aos equipamentos necessários para o seu lançamento, através de um capitel.

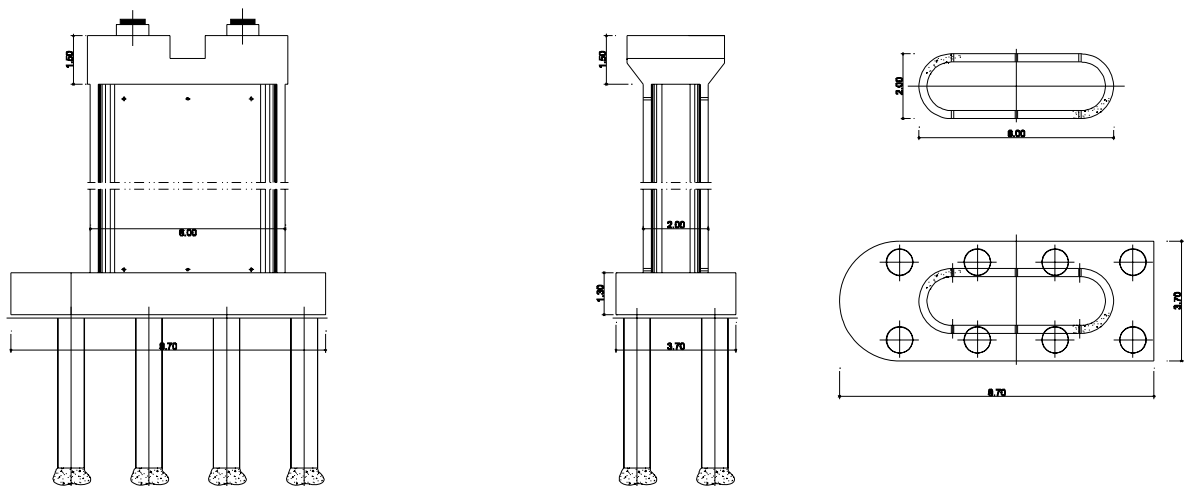


Figura 4. Dimensionamento do pilar

Os encontros são fechados em “cofre”, constituídos por uma viga estribo assente em gigantes, com uma parede frontal inclinada.

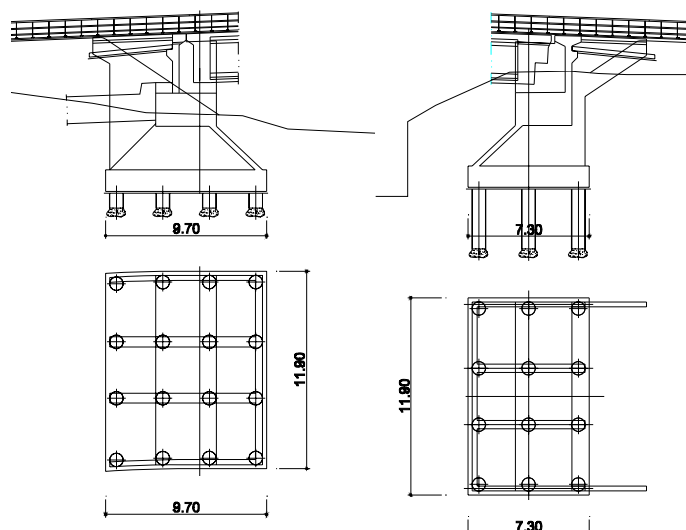


Figura 5. Dimensionamentos dos encontros

4.3.3 Fundações

Para a definição das fundações foram tidos em conta, para além do relatório geotécnico do concurso a campanha de sondagens realizada pelo empreiteiro em todos os pilares e encontros e os ensaios de carga estáticos sobre duas estacas.

Estes diferentes estudos permitiram concluir que o estrato resistente que se previa encontrar, com base nos documentos de concurso, não foi encontrado, sendo necessário, com base em toda a informação recolhida, redefinir a solução de fundações.

Assim as fundações dos pilares são indirectas através de 8 estacas Ø0,80m, encabeçadas por um maciço de estacas com 1,30m de altura e forma oval no lado de montante, por forma a reduzir a acção hidrodinâmica sobre o pilar. As estacas têm uma profundidade média de 33,0m, tendo-se em alguns casos, recorrido à injeção da ponta das estacas, por forma a aumentar a sua capacidade portante.

A fundação dos encontros é assegurada por estacas Ø0,80m, em número de 12 no caso do encontro Este e em número de 16 no encontro Oeste.

5. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

A verificação da segurança seguiu a regulamentação especificada nas disposições do concurso, quer ao nível das acções, quer ao nível dos estados limite definidos e da regulamentação aplicável, tendo-se, verificado a obra para a situação de construção e a situação de serviço ou exploração.

Para a análise da fase construtiva várias posições do tabuleiro foram consideradas, correspondendo a avanços de 1,0m, tendo-se modelado o nariz metálico, e o parque de pré-fabricação, obtendo-se os esforços e tensões no tabuleiro, cargas verticais em todos os apoios e deformações verticais na extremidade do nariz metálico e do tabuleiro.

Foram ainda consideradas as hipóteses de cheia, vento ou sismo durante o lançamento, para algumas posições, tendo-se verificado os pilares e fundações para essas situações.

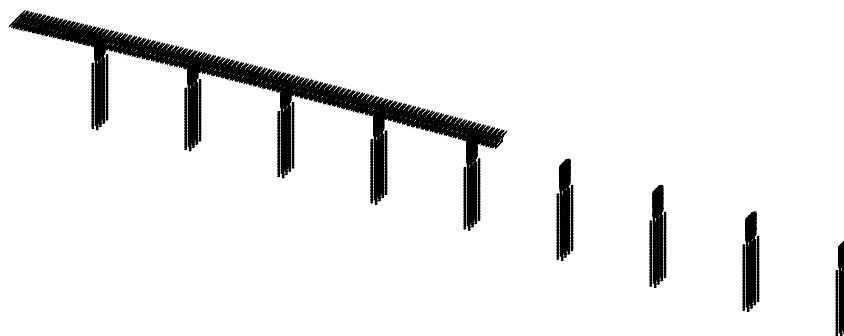


Figura 6. Modelo de cálculo global

Em fase de exploração, após a conclusão do lançamento do tabuleiro e restantes operações da fase construtiva, as verificações a efectuar tiveram em consideração, além dos esforços acumulados devidos às fases anteriores, também os esforços máximos provenientes das diversas acções variáveis.

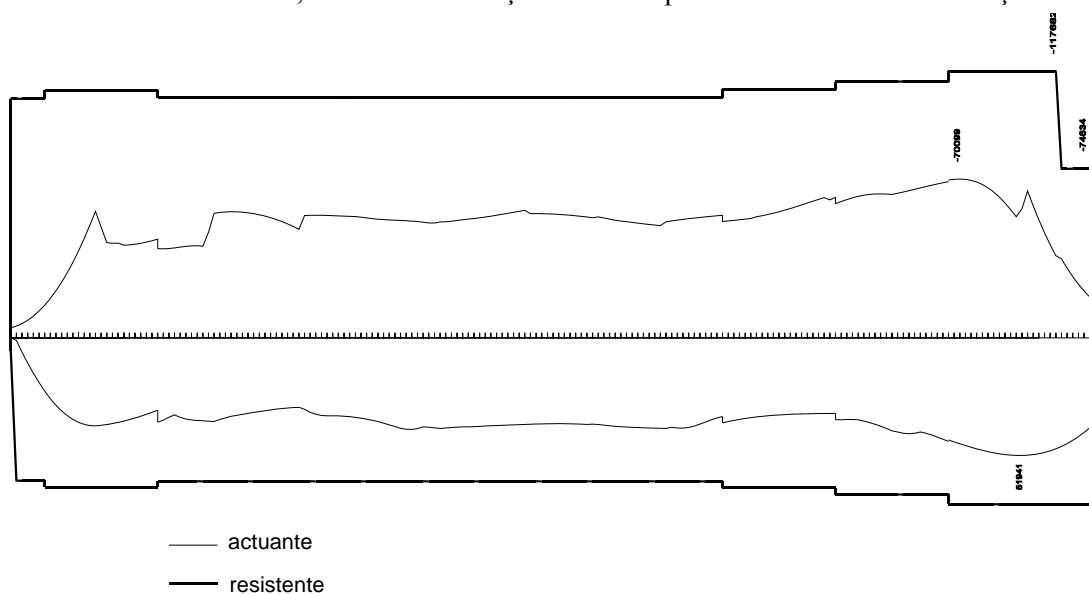


Figura 7. Momentos resistentes e actuantes durante o lançamento

Foram ainda realizados modelos locais, para a análise de introdução de forças concentradas, como seja a reacção vertical nos apoios durante o lançamento.

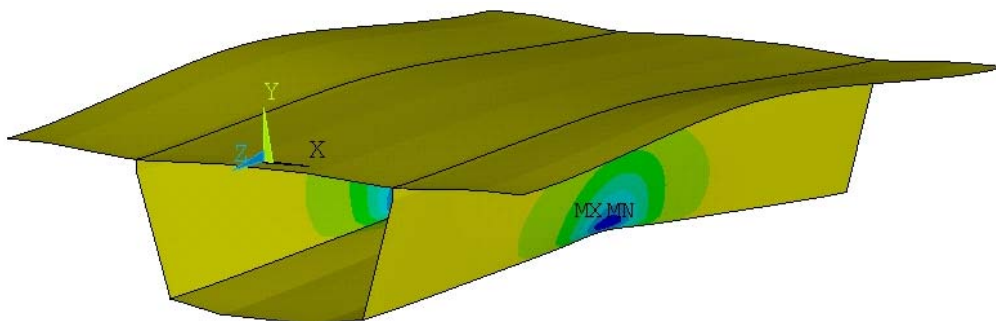


Figura 8. Modelo local

6. ASPECTOS DA OBRA

Seguidamente ilustram-se alguns dos aspectos e fase de obra já referidos.



Figura 9. Ensaio de carga das estacas



Figura 10. Banco de pré-fabricação



Figura 11. Execução das fundações



Figura 12. Sistema de lançamento



Figura 13. Lançamento do tabuleiro



Figura 14. Obra concluída

7. CONCLUSÕES

Com base na experiência adquirida no desenvolvimento do projecto e da sua materialização em obra, podemos como conclusão salientar os seguintes aspectos:

- O projecto apresentado cumpriu os condicionamentos do estudo preliminar patente no concurso, garantindo a segurança e permitindo prever um bom comportamento da obra, quer em exploração, quer face a situações extremas de cheia ou sismo;
- Face a condições de fundação difíceis, foi realizado um estudo geotécnico exaustivo, complementado por ensaios “in situ” que permitiram adaptar a solução prevista às reais condições do terreno;
- O método construtivo adoptado para o tabuleiro permitiu uma construção de qualidade, em boas condições de segurança, com controlo dos prazos e dos custos;
- Foi possível através de um cuidadoso planeamento da obra, a adequada afectação de meios e com a colaboração construtor/projectista/fiscalização realizar com sucesso este empreendimento, ultrapassando as dificuldades que sempre se colocam numa realização desta natureza.
- A solução projectada, em nosso entender, conjugou-se com os condicionamentos e necessidades do Dono de Obra, cumprindo os critérios de segurança e economia, sem deixar de apresentar um bom enquadramento estético.

8. FICHA TÉCNICA

Na construção desta obra estiveram envolvidas as seguintes entidades:

- Dono de Obra: ANE (Administração Nacional de Estradas);
- Estudos preliminares e Fiscalização: COWI / HIFAB / SECON;
- Projectista: Lisconcebe, SA;
- Construtor: Teixeira Duarte, SA.