

A Nova Ponte sobre o rio Catumbela, em Angola



Armando Rito¹



Pedro Cabral²



Luís Xavier³

RESUMO

A nova ponte sobre o rio Catumbela localiza-se na Via Rápida que vai ligar as cidades de Benguela e Lobito, em Angola. A sua construção iniciou-se em Julho de 2007 e deve terminar em Março de 2009.

A fim de resolver de uma forma flexível e económica os múltiplos condicionamentos locais desenvolveu-se uma solução constituída por uma ponte de tirantes com dois viadutos de acesso em ambas as margens do rio. Esta solução permitiu contemplar todos os condicionamentos existentes e, ainda, reduzir de forma sensível a incidência, nos custos e prazos de construção da obra, dos problemas derivados da dificuldade de execução das fundações.

Na definição da geometria da ponte, à parte as considerações de natureza estrutural, houve particular cuidado com o seu aspecto estético já que a mesma ficará inserida numa zona de forte expansão da vila da Catumbela, o que a torna numa obra urbana.

A ponte é constituída por um tabuleiro em betão armado pré-esforçado com três tramos de 64,00 - 160,00 - 64,00 metros de vão, de suspensão total a partir de duas torres, também de betão armado pré-esforçado com a forma de um "U", através de cabos múltiplos repartidos ao longo do tabuleiro.

A forma em "U" das torres foi tratada de forma a conferir-lhes grande transparência e, assim, valorizar esteticamente a obra, tendo-se simultaneamente ajustado essa forma de maneira a equilibrar as forças de desvio dos tirantes, uma vez que aquelas não têm qualquer travamento transversal.

A transição da ponte para os viadutos de acesso é feita em dois pilares de transição idênticos aos dos viadutos de acesso para os quais se adoptou a mesma geometria. Os tramos dos viadutos têm 30 metros de vão e a obra terá uma extensão total de cerca de 450 metros.

PALAVRAS-CHAVE

Ponte, viaduto, tirantes, selas, suspensão

¹ Armando Rito engenharia SA, R. Hermano Neves, 22, 4º A, 1600-477 Lisboa, Portugal. armando.rito@arito.com.pt

² Armando Rito engenharia SA, R. Hermano Neves, 22, 4º A, 1600-477 Lisboa, Portugal. pedro.cabral@arito.com.pt

³ Armando Rito engenharia SA, R. Hermano Neves, 22, 4º A, 1600-477 Lisboa, Portugal. luis.xavier@arito.com.pt

1. INTRODUÇÃO

Está a ser construída uma Via Rápida entre Benguela e Lobito, a qual atravessa o rio Catumbela a cerca de 7 km da sua foz e, também, a Vila do mesmo nome.

O atravessamento do rio e das zonas marginais é feito com significativas dificuldades de inserção do traçado no local, dificuldades essas devidas às condicionantes topográficas, à implantação das construções e às vias existentes que obrigaram à definição de um traçado com apertados raios de curvatura, a uma muito limitada extensão para o desenvolvimento da travessia e à necessidade de utilizar uma rasante muito baixa para evitar aterros significativos, mas que permitisse, no entanto, manter sob a obra os restabelecimentos locais. Além disso, as fortes cheias habituais do rio e o muito curto prazo exigido para a construção, recomendavam que se evitassem fundações no leito menor.

Após vários estudos, foi adoptada para a ponte sobre o rio Catumbela, uma obra com cerca de 450 m de extensão total em que a ponte é de tabuleiro atirantado de suspensão total com um vão central de 160 m sobre o leito menor e contínuo com os viadutos de acesso, garantindo, assim, a rasante mais baixa, a ausência de pilares no rio e a menor extensão de obra e assegurando, ainda, a manutenção das ligações locais nas duas margens entre os dois lados da Via Rápida e a sua ligação à mesma 'Fig. 1'.

A obra insere-se numa zona urbana, estando prevista, em especial na margem direita do rio, a construção de empreendimentos habitacionais de certo vulto tendo, para isso, sido as margens recentemente regularizadas e aterradas, de forma a garantir que as cheias não inundarão as zonas marginais da vila, e construída uma avenida ao longo da margem Norte.



Figura 1. Antevisão da Ponte - fotomontagem

2. CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS

As formações locais dividem-se em três zonas. A superior, constituída por formações lodosas, arenosas e argilosas ($SPT < 13$), a intermédia - topo do maciço rochoso de base muito descomprimido - constituída por calcarenitos, calcários margosos e margas ($SPT_{máx} < 50$ e $RQD < 25\%$) e a inferior - maciço rochoso de base muito compacto - constituída por calcarenitos, calcários margosos e margas ($RQD > 25\%$ e $< 75\%$).

A altimetria do maciço rochoso de base é muito irregular. Por exemplo, o comprimento das estacas de cada maciço de encabeçamento (11 m x 11 m) de cada mastro das torres vai, na torre 1, de 6 m no maciço de montante a 14 m no de jusante e na torre 2, de 10 m no de montante a 18 m no de jusante.

As fundações são indirectas, por estacas de 1,20 m de diâmetro, em C30/37, a profundidades que vão dos 14 aos 48 m. A integridade de todas as estacas foi controlada por diagragia sónica (cross-hole).

3. TRAÇADO, PERFIS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

O perfil longitudinal é composto por uma curva vertical convexa com 3 500 metros de raio, um trainel a 2,0% no lado Sul e outro a 5,5% no lado Norte. Em planta, a obra insere-se quase toda num alinhamento recto tendo, em ambas as margens, clóides de ligação às curvas circulares ‘Fig. 2’. As velocidades de projecto são de 100 km/h na Via Rápida e de 80 km/h na ponte.

A plataforma é constituída, em cada sentido de circulação, por uma berma direita de 1,20 m, duas faixas de rodagem com 3,30 m e 3,50 m, uma berma esquerda de 0,50 m, um passeio para peões com 1,50 m de largura, perfis de segurança e guarda-corpos. A largura total dos tabuleiros nos viadutos de acesso é de 22,90 m e na ponte de 24,50 m. Este acréscimo de largura deve-se à necessidade de acomodar as ancoragens dos tirantes a uma distância segura da faixa de rodagem.

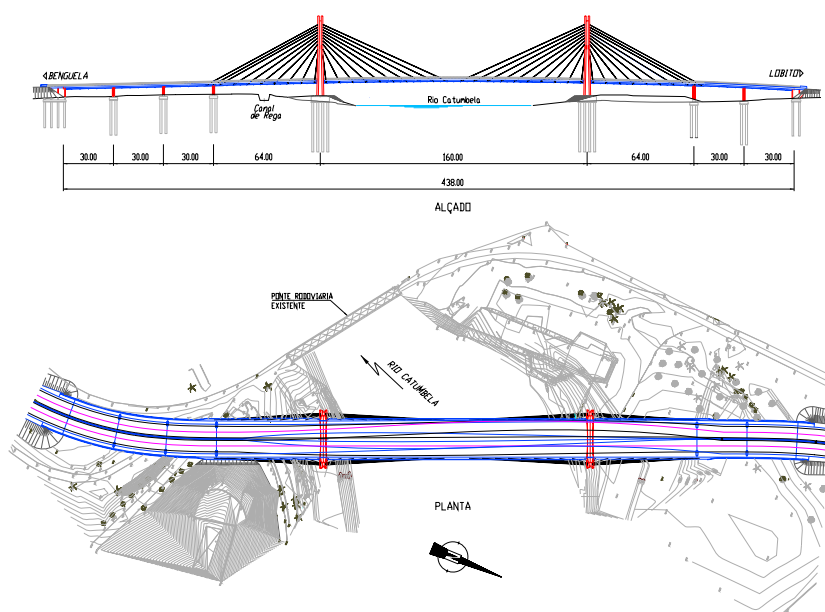


Figura 2. Alçado e Planta

4. REGULAMENTAÇÃO, ACÇÕES CONSIDERADAS. VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA

Como regulamentação aplicável seguiram-se, em geral, os Eurocódigos. As excepções são as sobrecargas rodoviárias e as combinações de acções do Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC). Nas verificações de segurança foram consideradas, separadamente, as Acções durante as fases de construção e as Acções durante a fase de serviço.

4.1. Acções durante as fases de construção

Estas acções são importantes para a verificação da segurança das torres e dos tabuleiros durante a sua construção, em todas as suas fases previsíveis, incluindo a de acidente no caso da ponte.

Para a fase construtiva da ponte, considerou-se o peso próprio do tabuleiro, o peso de 900 kN para cada um dos cimbres necessários para construir as aduelas de 4,00 m de tabuleiro, as forças nos tirantes, o pré-esforço em cada fase, as variações de temperatura e os efeitos da fluência e da retracção.

Para a situação de acidente admitiu-se a queda de um cembre durante a sua manobra e simulado o efeito dinâmico dessa acção multiplicando o peso do outro cembre pelo coeficiente 2,0.

Foi imposta a condição de que o betão esteja, em geral, sempre comprimido, apenas se admitindo tracções momentâneas inferiores a 1 MPa em determinadas fases da manobra dos equipamentos. Para

tal, são utilizadas barras de pré-esforço exterior, móveis com os avanços do tabuleiro e colocadas na sua face superior.

4.2. Acções durante a fase de serviço

Além das acções permanentes, das variações de temperatura e dos efeitos diferidos foram consideradas as seguintes sobrecargas rodoviárias:

Uma sobrecarga distribuída de valor variável (NA_1), associada a uma sobrecarga concentrada (NA_2) para cada linha de carga na direcção longitudinal 'Fig. 3'.

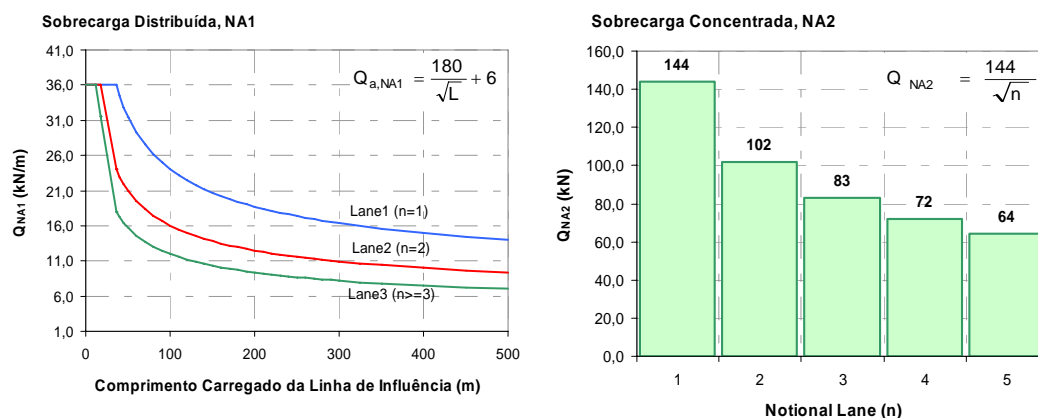


Figura 3. Lei de variação da sobrecarga NA_1 e valores da sobrecarga concentrada NA_2

Um veículo (**NB**) com dois grupos de rodados, cada um com dois eixos afastados de 2,0 m. Cada eixo tem quatro rodas espaçadas entre si de 1,0 m ao longo do eixo. A distância entre os grupos de rodados do veículo pode variar entre 6,0m e 26,0m. A carga por roda é de 90 kN e, portanto, de 360 kN por eixo 'Fig. 4'.

Um veículo excepcional (**NC**), constituído por duas cargas distribuídas com 20,0m de comprimento cada. A sua largura e afastamento são variáveis em função da conjugação que for mais desfavorável para as situações em análise. Dentro destas dimensões este veículo consiste, por conseguinte, numa carga uniformemente distribuída de 30 kN/m² 'Fig. 4'.

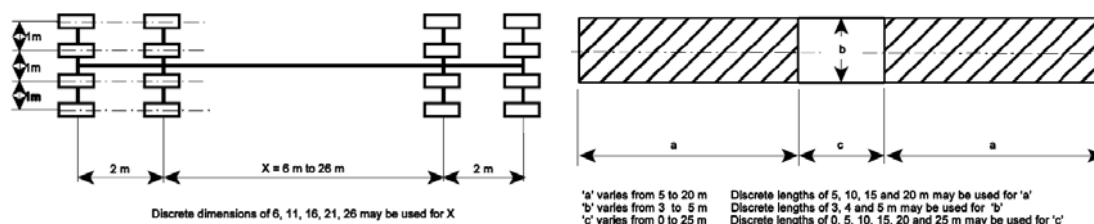


Figura 4. Veículos NB e NC

Foi também considerada de forma simplificada a acção de um sismo moderado sobre a estrutura.

No sentido de avaliar a susceptibilidade a fenómenos de instabilização devidos ao vento, foram realizados na FEUP os estudos necessários [1].

4.4. Verificação da segurança

A segurança da estrutura foi verificada para as combinações compatíveis mais desfavoráveis de acordo com os critérios do SATCC.

Os Quadros 1 e 2, apresentados a seguir, resumem as combinações de acções utilizadas.

Quadro 1. Simbologia utilizada na definição das combinações

<i>Símbolo</i>	<i>Descrição</i>
G	Esforços devido às cargas permanentes
Hp	Esforços hiperstáticos devido ao pré-esforço
F	Esforços devido aos efeitos de fluência e retracção
Q ₁	Esforços devido às sobrecargas rodoviárias (NA, NB ou NC)
Q ₂	Esforços devido às variações de temperatura uniformes e diferenciais
Q ₃	Esforços devido à acção do vento
Q _{2U}	Esforços devido às variações de temperatura uniformes
Q _{2D}	Esforços devido às variações de temperatura diferenciais
γ ₁	1.5 no caso de NA, 1.2 nos restantes casos
γ ₂	1.3 no caso de NA, 1.1 nos restantes casos

Quadro 2. Combinações utilizadas

<i>Estado Limite</i>	<i>Descrição</i>
SERVIÇO	
Descompressão	$G + 0,50 \times Q_1$
Largura de Fendas	$G + Q_1 + Q_{2U} + 0,70 \times Q_{2D}$
ÚLTIMO	
Combinação 1	$(1,20 \text{ ou } 1,00) \times G + 1,00 \times H_p + 1,00 \times F + 1 \times Q_1$
Combinação 2	$(1,05 \text{ ou } 1,00) \times G + 1,00 \times H_p + 1,00 \times F + 2 \times Q_1 + 1,00 \times Q_2 + 1,10 \times Q_3$
Combinação 3	$(1,20 \text{ ou } 1,00) \times G + 1,00 \times H_p + 1,00 \times F + 1,30 \times Q_2 + 1,4 \times Q_3$

5. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL ADOPTADA

A solução adoptada corresponde a uma aplicação dos estudos realizados, com bastante pormenor em 1994, para um concurso de concepção de uma nova ponte sobre o rio Douro 'Fig. 5.

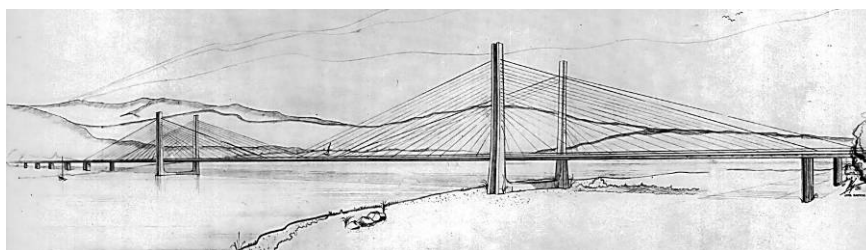


Figura 5. Solução proposta para uma ponte sobre o Douro (1994)

Após a realização da ponte do Arade, com torres fechadas triangulares, surgiu-nos na altura a ideia de adoptar, numa futura ponte de tirantes, a mesma concepção de tabuleiro muito esbelto de suspensão total mas agora com torres totalmente abertas obtendo, assim, uma grande transparência. Para isso, a geometria dos mastros, conjugada com a utilização de pré-esforço vertical, teria que conduzir, para as acções permanentes, a um equilíbrio entre os momentos flectores antagónicos devidos às componentes horizontais e verticais dos tirantes garantindo, desta maneira, a manutenção da sua forma ao longo do tempo e, do ponto de vista prático, a ausência de deformações transversais que poderiam comprometer o equilíbrio dos mastros.

A ideia manteve-se para ser aplicada quando fosse técnica e economicamente justificável tendo, com a ponte da Catumbela, surgido a oportunidade de a realizar.

A solução adoptada é constituída por uma ponte de tirantes que vence o leito menor do rio com um vão de 160,00 m e por dois viadutos de acesso com continuidade estrutural com o tabuleiro da ponte tendo-se tido na definição da sua geometria, junto com as considerações de natureza estrutural, muito particular cuidado com o seu aspecto estético.

A ponte é constituída por um tabuleiro em betão armado pré-esforçado, com três tramos de 64,00 - 160,00 - 64,00 metros de vão, com suspensão total através de cabos protegidos por bainhas de polietileno de alta densidade (PEHD) de cor branca e afastados de 8,00 m entre si ao longo do tabuleiro feita a partir de duas torres com a forma de um "U" em betão armado pré-esforçado.

5.1. O Tabuleiro da Ponte

O tabuleiro, em betão C35/45, é muito simplesmente constituído por duas vigas largas longitudinais, aligeiradas por intermédio de moldes cilíndricos perdidos, estanques, ligadas entre si na face superior por uma laje e, ao longo do seu desenvolvimento por carlingas pré-esforçadas dispostas de 4,00 m e colocadas de forma a não interferirem com o avanço dos cimbres e das cofragens 'Fig. 6'.

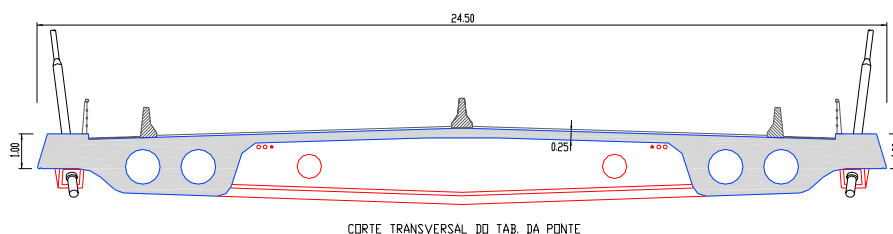


Figura 6. Tabuleiro da ponte - Secção transversal

Os tirantes são ancorados em duas zonas maciças, contínuas longitudinalmente, dimensionadas de forma a dissiparem eficientemente as grandes forças concentradas das ancoragens.



Figura 7. Tabuleiro da ponte - a aduela "0"

O pré-esforço longitudinal é reduzido, já que o tabuleiro está naturalmente pré-esforçado numa grande parte da sua extensão pela componente horizontal das forças de tracção nos tirantes.

A forma adoptada para a secção transversal teve a intenção de facilitar o processo construtivo e minimizar as consequências da acção dinâmica dos ventos, adoptando para isso bordos em forma de "cunha" e "adoçando" as faces laterais das nervuras tubulares, de forma a atenuar a formação de turbilhões e o aparecimento de grandes forças de sustentação e de torção 'Fig 6 e 7'.

5.2. As Torres

A forma em "U" adoptada para as torres fundamentou-se essencialmente em considerações estruturais, estéticas e construtivas. Esse "U" foi tratado de forma a conferir-lhe um aspecto visual agradável e,

assim, valorizar esteticamente a obra tendo-se, também, ajustado essa forma de maneira a facilitar a ancoragem dos cabos nas torres 'Fig. 8'.

As torres são em betão C35/45, armado e pré-esforçado. O pré-esforço vertical, colocado nas faces laterais exteriores dos mastros, garante que estes não terão nunca qualquer zona descomprimida.

Fica, assim, assegurada a sua rigidez e, conseqüentemente, controlada a sua deformabilidade e a sua segurança visto que, não tendo qualquer travamento transversal, esse controle é essencial.

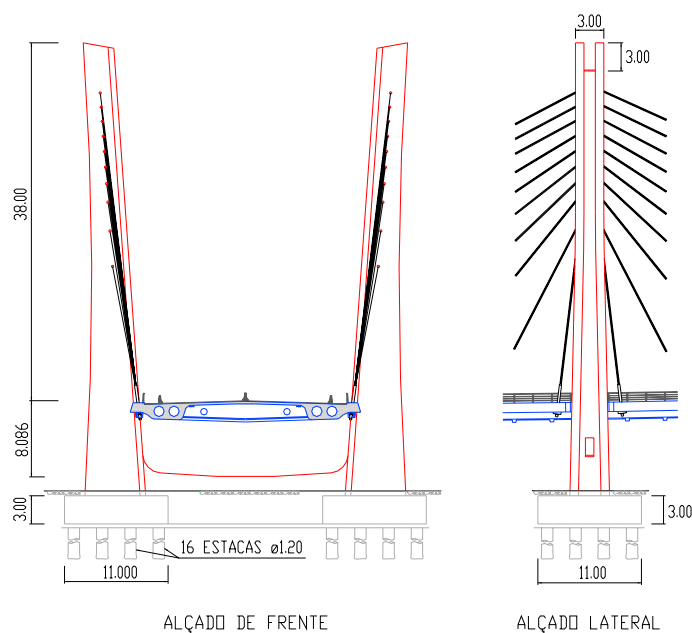


Figura 8. Torres - alçados

Os mastros são ocios, dispondo de escadas de acesso até ao topo onde estão instalados os pára-raios e as luzes de sinalização para o tráfego aéreo dos aeroportos civis e militar próximos 'Fig. 9'.

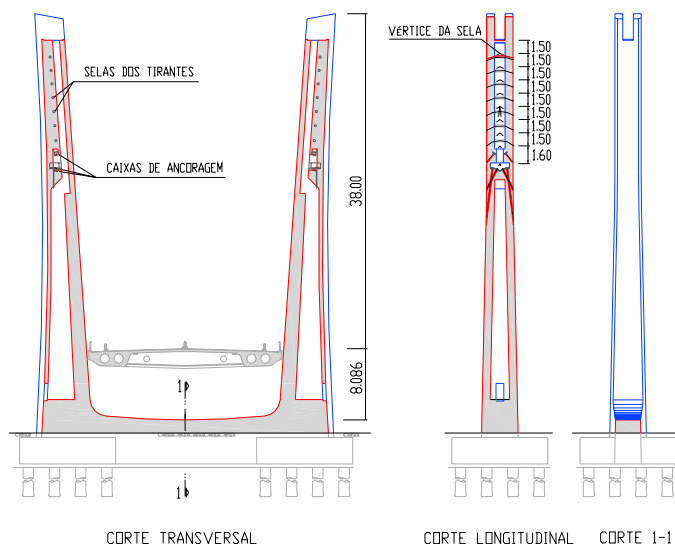


Figura 9. Torres - Cortes.

As fundações das torres foram executadas fora do rio exigindo, apenas, protecção contra eventuais cheias excepcionais que ultrapassem os diques executados recentemente para a regularização do leito.

São encimadas por maciços de encabeçamento que estão ligados por vigas transversais pré-esforçadas, destinadas a dar rigidez ao conjunto e a absorver os momentos flectores transversais e as componentes horizontais das reacções dos mastros.

5.3. A Suspensão

A suspensão é de cabos múltiplos repartidos, lateral e total 'Fig 10'. Este tipo de suspensão permite, entre muitas outras vantagens, aligeirar os tabuleiros reduzindo-os a duas vigas principais maciças ou tubulares e com alturas úteis muito pequenas, ligadas por carlingas e pela laje da plataforma. Ao dispensar o apoio nas torres, evitando, aí, momentos negativos elevados no tabuleiro, a altura da secção transversal deste torna-se muito menos dependente do vão, ficando apenas mais condicionada pela sua capacidade para resistir às forças de compressão geradas pelos tirantes e pela deformada admissível sob a acção das sobrecargas.



Figura 10. Sistema de atirantamento - Antevisão e situação actual

Os primeiros três cabos ancoram nas torres através de ancoragens idênticas às do tabuleiro. Daí para cima, os restantes sete passam nas torres através de selas que têm a vantagem de permitir dimensionar torres muito esbeltas e simples e, portanto, mais económicas e de muito mais fácil construção 'Fig 11'.

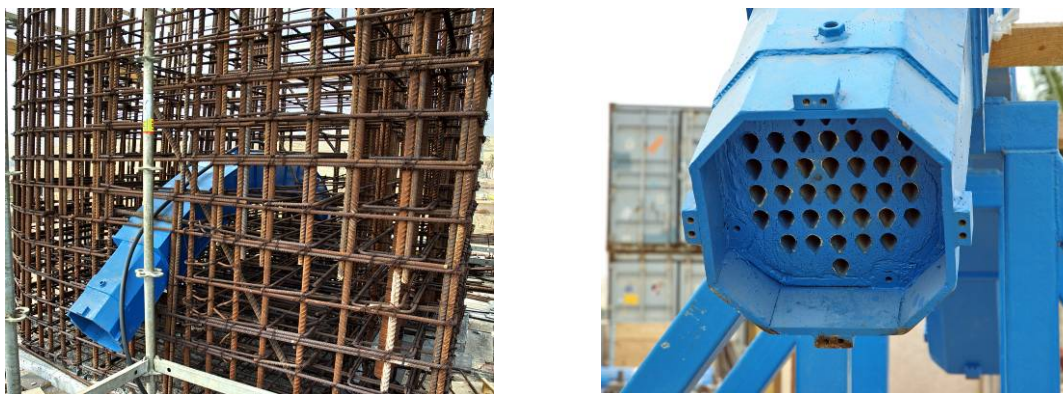


Figura 11. Selas dos tirantes - colocação num mastro e sistema de passagem dos cordões

Sendo mais económicas exigem, no entanto, maiores cuidados na sua instalação, contrariamente aos sistemas de ancoragem habituais instalados em estruturas metálicas no interior das torres.

5.4. Os viadutos de acesso

Para acesso à ponte existem dois viadutos, um com 90,00 m de extensão na margem esquerda e outro com 60,00 m na margem direita, contínuos e com vãos correntes de 30,00 m.

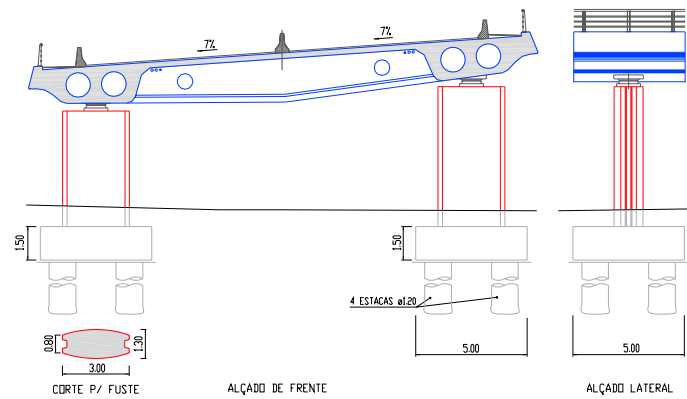


Figura 12. Viadutos de acesso - Secção transversal e pilares

Os tabuleiros são, em tudo, idênticos ao do tabuleiro da ponte de forma a permitir a continuidade estrutural e a conferir unidade visual ao conjunto da obra. Apoiam sobre os pilares e encontros através de aparelhos de apoio do tipo “pot”, deslizantes nas duas direcções ‘Fig. 12’.



Figura 13. Viadutos de acesso - Cavalete cofragem e pilares

Os pilares têm faces elípticas e são fundados sobre um grupo de quatro estacas de 1,20 m de diâmetro por pilar. Os pilares de transição ponte-viadutos são idênticos aos dos viadutos ‘Fig. 12 e 13’.

Os encontros são peças simples, em cofre, e são fundados em estacas de 1,00 m de diâmetro.

6. O PROCESSO CONSTRUTIVO

O tabuleiro da ponte é construído por avanços sucessivos em consola, utilizando dois pares de cimbres pesando 2x90 ton cada um incluindo a cofragem ‘Fig. 14 e 15’.

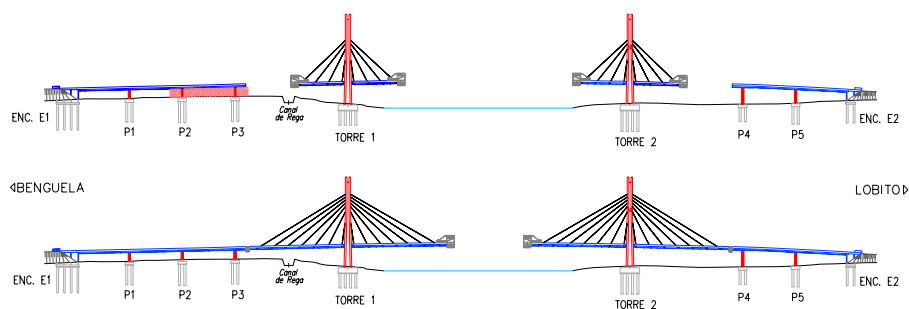


Figura 14. Processo construtivo - fases de avanço em consolas simétricas e de avanços no tramo central após fechos laterais

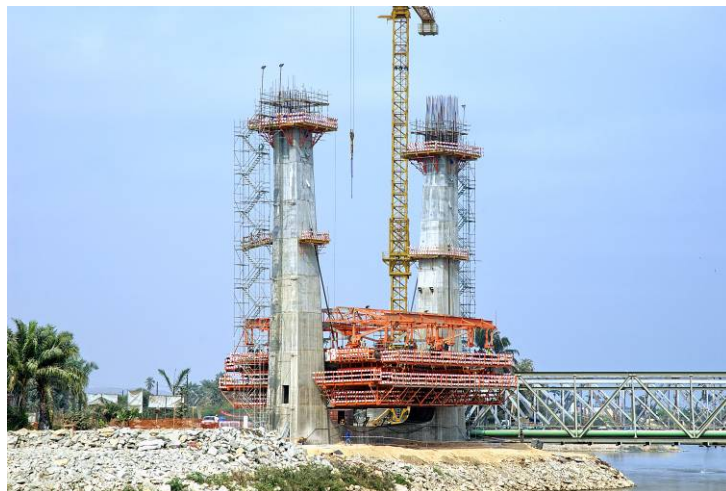


Figura 15. Cimbres de avanços - betonagem do 1º par de aduelas

Na construção, é utilizado pré-esforço provisório em barras exterior ao tabuleiro e colocado na sua face superior. Esse pré-esforço, que foi dimensionado de forma a que fique garantido que não haverá nunca tensões de tracção significativas no tabuleiro, isto é, de forma a que nunca se corra o risco de aparecer qualquer fissuração no betão, irá avançando com os cimbres, em geral ao longo das oito aduelas imediatamente anteriores à aduela em construção (aduelas de 4,00m).

A construção dos viadutos é feita tramo a tramo sobre cavalete apoiado no solo ‘Fig. 13’.

7. CONCLUSÃO

Após alguns atrasos devidos às dificuldades locais traduzidas em demoras nos aprovisionamentos a obra começa a entrar no ritmo esperado devendo ser concluída em Março de 2009.

Dadas as suas características, esta obra é, desde já, considerada como um marco de modernidade na renovação e reconstrução de Angola.



Figura 16. Vista geral da obra em 25de Julho de 2008

REFERÊNCIAS

[1] CUNHA, A. [et al.]. - Nova ponte sobre o rio Catumbela - Estudos de efeitos dinâmicos da acção do vento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/ViBest, 2007.85 p. Relatório.