

Ponte sobre o Rio Cubal da Hanha



Luís Xavier¹



Pedro Cabral²



Armando Rito³

RESUMO

A Ponte sobre o rio Cubal da Hanha situa-se junto à localidade de Cubal, na estrada que estabelece a ligação entre Benguela e o Huambo, em Angola.

Trata-se de um atravessamento com 130.00 m de comprimento, distribuídos por vãos de 20.0 m + 3 x 30.0 m + 20.0 m e que irá substituir a ponte original destruída nos tempos de guerra e restabelecer a circulação rodoviária entre as duas margens do rio.

Face aos condicionamentos geotécnicos e hidrológicos, foi adoptada uma solução de tabuleiro em laje vigada, destinado a ser construído pelo método do lançamento incremental (“*Poussage*”).

O método consiste em construir troços de tabuleiro numa zona de pré-fabricação situada atrás do encontro e, com recurso a meios mecânicos próprios e a um nariz de lançamento metálico (“*Avant-bec*”), empurrar o tabuleiro para a sua posição final, em sucessivos ciclos de fabricação-lançamento.

Dadas as características ligeiras do tabuleiro, será possível concretizar esta solução com recurso a equipamentos ligeiros. Neste caso, pelas razões de condicionamento hidráulico já adiantadas, e pelo facto de a concentração dos trabalhos nas zonas de fabricação proporcionar maior segurança, melhor controlo de qualidade, menores quantidades de mão-de-obra e a sistematização dos ciclos construtivos, espera-se obter uma elevada eficiência construtiva, viabilizando a solução preconizada.

PALAVRAS-CHAVE

Ponte, Vigas, Lançamento, Incremental, *Poussage*

¹ Armando Rito Engenharia SA, Rua Hermano Neves, nº22, 4ªA 1600-477 Lisboa, Portugal - luis.xavier@arito.com.pt

² Armando Rito Engenharia SA, Rua Hermano Neves, nº22, 4ªA 1600-477 Lisboa, Portugal - pedro.cabral@arito.com.pt

³ Armando Rito Engenharia SA, Rua Hermano Neves, nº22, 4ªA 1600-477 Lisboa, Portugal - armando.rito@arito.com.pt

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como objecto de foco a nova Ponte sobre o Rio Cubal da Hanha que se situa na estrada que liga Benguela ao Huambo, junto à localidade do Cubal, em Angola.



Figura 2. Estrada Benguela-Huambo. Localidade do Cubal.

Actualmente, a circulação rodoviária entre as duas margens do Rio Cubal da Hanha está impossibilitada devido à destruição da ponte original durante os tempos de guerra. Tal facto teve um impacto extremamente negativo na região, condicionando de forma dramática o seu desenvolvimento.



Figura 3. Situação Actual. Aspecto deteriorado da estrada Benguela-Huambo junto ao local da ponte e vista da ponte original a partir de um dos encontros.

Em virtude de estar inserida num dos principais eixos viários de Angola, o restabelecimento desta travessia revela-se crucial para o desenvolvimento regional e nacional do país.

A nova ponte a construir fica localizada no mesmo alinhamento da ponte original, o que permite minimizar os restabelecimentos da estrada que lhe dá acesso. Todavia, a nova rasante sofreu um aumento de cota, garantindo um *gabarit* superior para possibilitar a circulação fluvial.

2. TRAÇADO E PERFIS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

Tal como referido, a nova ponte insere-se no alinhamento da que existia anteriormente, apresentando um perfil longitudinal constituído por uma curva convexa, com 3000 m de raio. Em planta, a ponte insere-se totalmente num alinhamento recto. A plataforma é constituída por uma faixa de rodagem de 7.00 m com uma via de circulação em cada sentido e, em ambas as extremidades, 0.50 m de berma e 1.50 m de passeio, perfazendo uma largura total de 11.0 m para o tabuleiro.

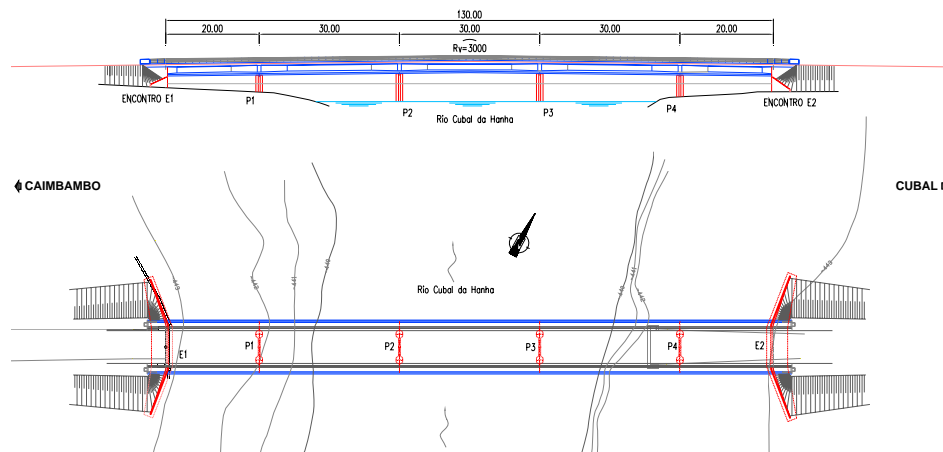


Figura 4. Alçado e Planta da nova ponte.

3. CONDICIONANTES GEOTÉCNICAS E HIDROLÓGICAS

As condições geológicas do local apresentam essencialmente dois tipos de substrato. Superficialmente, solos mais recentes constituídos por aluviões com materiais argilosos pouco a medianamente consolidados, assentes sobre um substrato rochoso de origem granítica são ou pouco alterado, com graus de fracturação reduzidos. Esta informação foi obtida com base numa campanha de ensaios geotécnicos, complementada com o projecto da ponte original e informação resultante de uma inspecção visual no local.

Com base nestes dados foram preconizadas fundações directas por intermédio de sapatas em todos os pilares e encontros, em consonância com a solução que fora adoptada para a ponte original.

No local de atravessamento, o Rio Cubal da Hanha caracteriza-se pela ocorrência de elevados caudais, em particular em épocas de cheia que, ocasionalmente, atingem níveis extraordinários. Tal facto condiciona, naturalmente, a realização de trabalhos dentro do leito do rio, constituindo um factor crucial na escolha do processo construtivo. A subida de rasante já referida procurou também precaver a submersão da ponte aquando da ocorrência destas cheias excepcionais.

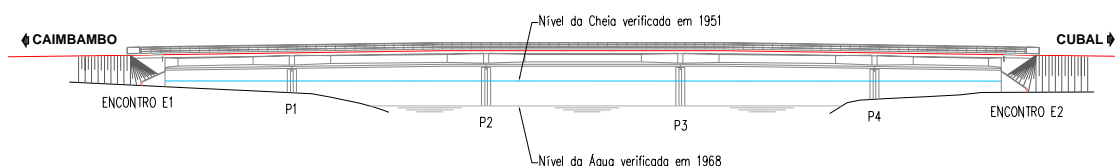


Figura 5. Implantação da nova ponte e Nível de Máxima Cheia verificada em 1951. Recentemente registou-se a ocorrência de uma cheia que atingiu níveis muito próximos.

4. REGULAMENTAÇÃO. ACÇÕES. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

Como regulamentação aplicável seguiram-se, em geral, os Eurocódigos. A excepção, são as sobrecargas rodoviárias e as combinações de acções do Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC) tendo, nas verificações de segurança, sido 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 interessam para a verificação da segurança dos pilares e do tabuleiro durante a sua construção, em todas as suas fases previsíveis.

Para a fase construtiva da ponte, considerou-se, em geral, o peso próprio do tabuleiro, o pré-esforço e os efeitos da fluência e da retracção. Em adição, foram também tidos em conta os efeitos inerentes ao processo construtivo adoptado. No caso dos pilares, foi particularmente relevante a acção de lançamento do tabuleiro, que introduz forças no topo do fuste, devido ao atrito nos aparelhos de deslizamento.

O pré-esforço foi sempre tomado com os seus valores reais, no início e no fim de cada fase, tomando em conta as perdas de tensão ocorridas (por atrito, por reentradas das cunhas, por encurtamento elástico, fluência e retracção e por relaxação dos aços e ainda pelas perdas diferidas conjugadas).

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:

NA - Sobrecarga distribuída de valor variável (NA_1), associada a uma sobrecarga concentrada (NA_2) para cada linha de carga na direcção longitudinal.

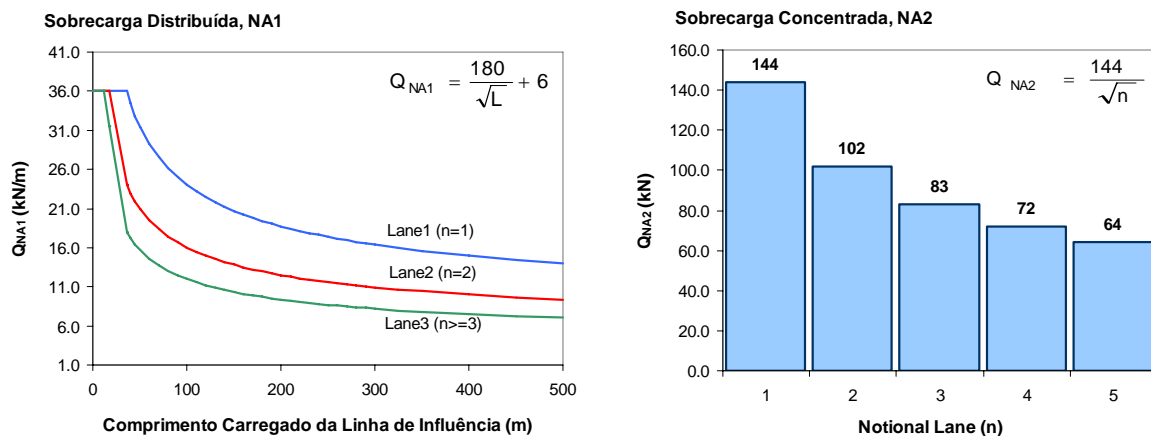


Figura 6. Lei de variação da parcela uniforme NA_1 e da parcela linear NA_2 , dependentes, respectivamente, do comprimento carregado da linha de influência e da linha de carga (*notional lane*) a carregar.

NB - Veículo com dois grupos de rodados, cada um com dois eixos afastados de 2,0m. Cada eixo tem quatro rodas espaçadas entre si de 1,0m 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.

NC - Veículo excepcional, 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.

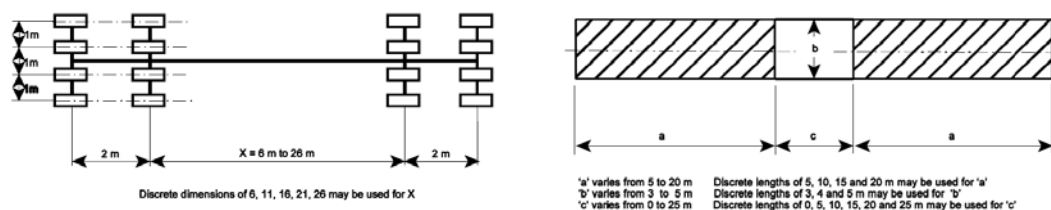


Figura 7. Esquemas ilustrativos da distribuição espacial do Veículo N_B e do Veículo Excepcional N_C .

No sentido de ter em conta os efeitos devido à acção da água das cheias e o embate de eventuais destroços que possam ser arrastados na corrente, foram consideradas acções sobre os pilares e o tabuleiro da ponte que, segundo a regulamentação utilizada, são representativas destes fenómenos – ainda que de forma simplificada.

4.3. Verificação da segurança

A segurança da estrutura foi verificada para as combinações compatíveis mais desfavoráveis de acordo com os critérios definidos no SATCC.

Um aspecto de salientar é o facto de as sobrecargas consideradas serem claramente superiores às preconizadas no Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, regulamentação que vigorava à data de construção da grande maioria das obras existentes em Angola. O crescimento económico que se tem verificado nos últimos anos potenciou o aumento da circulação de veículos pesados de mercadorias nas estradas de Angola e, em consequência, a regulamentação de outrora está agora desactualizada. A adopção do SATCC, comissão a que Angola pertence, tem-se revelado adequada, visto ter sido desenvolvida com base em registos do material circulante nas estradas do Sul de África.

5. A SOLUÇÃO APRESENTADA

A definição da solução estrutural para a Ponte sobre o rio Cubal da Hanha resultou da conjugação de diversos factores que influenciaram não só a geometria do tabuleiros e pilares, mas também o processo construtivo adoptado para a realização da obra.

Um dos aspectos mais relevantes prende-se com o contexto em que se insere a obra no panorama actual de reconstrução e revitalização da rede viária de Angola. Nessa medida, torna-se imperativa a adopção de soluções simples, de fácil e célere execução, mas que garantam eficiência estrutural, apresentando funcionalidade e segurança adequadas e mantendo-se, simultaneamente, economicamente competitivas.

A natureza hidrológica do rio no local da travessia, caracterizada por elevados caudais, especialmente agravados durante a ocorrência de cheias periódicas, apontou, desde logo, para uma solução que minimizasse as intervenções no leito do rio.

Perante estes factores, foi preconizada uma solução com um tabuleiro em laje vigada destinado a ser construído com recurso ao método de lançamento incremental (“*poussage*”).

Assim, a superestrutura da ponte é composta por um tabuleiro único, tendo na directriz um comprimento total entre as juntas de dilatação dos encontros de 130,0 metros, dividido em dois vãos extremos de 20,0 metros e três vãos centrais de 30,0 metros. A altura máxima a que se desenvolve a rasante é de aproximadamente 10,0 metros.

5.1 Tabuleiro

O tabuleiro é constituído por duas vigas longitudinais com uma altura constante e igual a 2,40 metros, em betão armado e pré-esforçado, ligadas por uma laje de espessura variável, em betão armado, que se prolonga exteriormente em consolas, também de espessura variável. As almas das vigas têm uma largura de 0,50 metros nos vãos, variando linearmente até atingirem 0,80 metros sobre os pilares e encontros, sendo esta variação feita em 6,0 metros para cada lado do eixo dos pilares. Nos encontros, esta variação realiza-se nos últimos 2,0 metros até ao eixo de apoio. Na parte inferior das vigas existe um talão com largura constante e igual a 1,10 m.

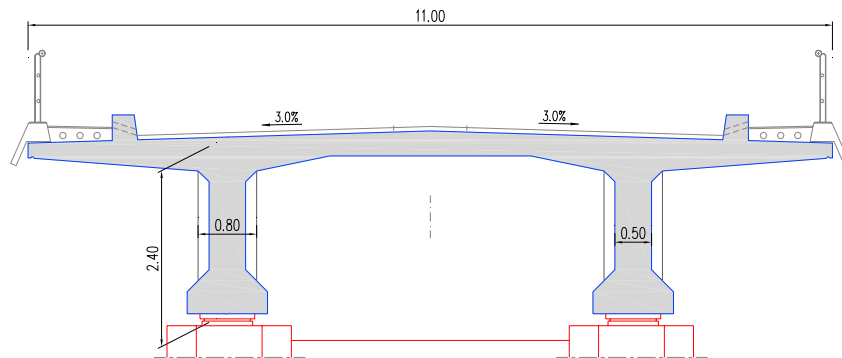


Figura 8. Secção transversal do tabuleiro da ponte. Secção de vão, sendo visível o alargamento das almas junto aos apoios.

O recurso ao tabuleiro vigado, por oposição à viga-caixão, representa uma solução menos comum em obras construídas por lançamento incremental. Procurou-se, no entanto, compensar o facto de constituir uma secção um pouco menos apropriada para o lançamento, com a maior facilidade de execução e economia que esta proporciona. Aproveitando os ensinamentos colhidos com o projecto e a construção de diversas obras com condicionamentos idênticos, foram dispensadas as carlingas de ligação entre as vigas, aumentando-se um pouco a espessura das almas para, em conjunto com o talão inferior, conferir de forma económica a adequada rigidez de torção às vigas principais. Com este processo, procurou-se facilitar significativamente a construção da obra e melhorar o rendimento do processo construtivo já que a execução das carlingas introduz sempre complexidade adicional com reflexos negativos nos prazos e nos custos, e com escassos benefícios.

A transmissão dos esforços do tabuleiro aos encontros e pilares é assegurada por aparelhos de apoio do tipo “pot-bearing”.

5.2 Pilares

Os pilares, um por eixo de apoio do tabuleiro, possuem fustes em betão armado com uma secção transversal constante, com duas zonas espessas sob cada uma das vigas do tabuleiro ligadas entre si por uma parede com 0,40 m de espessura.

Com esta tipologia pretendeu-se criar um pilar de geometria simples e de fácil execução, mas ao mesmo tempo, dotado de uma rigidez adequada para resistir aos esforços a que podem vir a estar sujeitos por estarem implantados dentro do leito do rio e sujeitos ao embate de materiais e detritos transportados nas cheias.

Como já se disse, adoptou-se para cada um dos pilares fundações directas por intermédio de sapatas fundadas nas camadas graníticas.

Os pilares são dotados, no seu coroamento, de aparelhos de apoio, unidireccionais ou fixos, onde assenta o tabuleiro.

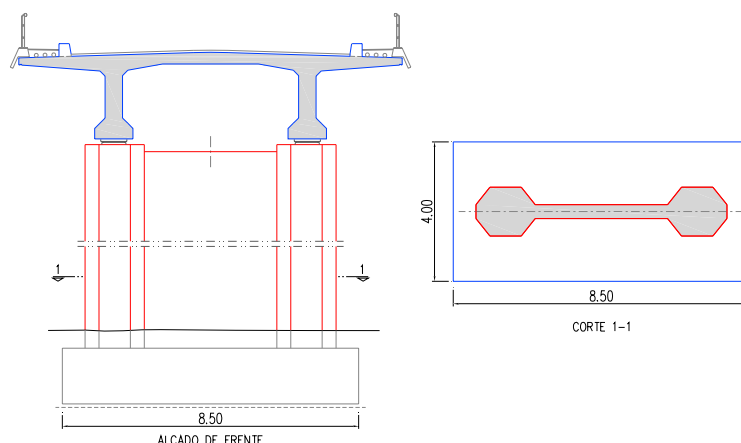


Figura 9. Alçado e corte de um pilar.

5.3 Encontros

Ambos os encontros são em betão armado e constituídos por um corpo único que recebe o tabuleiro. Os encontros dispõem ainda de muros de avenida e muros de ala laterais que se destinam a suportar os acrotérios e a dar contenção aos aterros de acesso à obra de arte.

Tal como nos pilares, adoptaram-se fundações directas nos encontros por intermédio de sapatas.

Os tabuleiros são livres de se deslocar longitudinalmente em ambos os encontros, embora sejam, como nos seus restantes apoios, travados na direcção transversal.

5.4 O Processo construtivo

O lançamento incremental, também conhecido por “Poussage”, é um método construtivo menos usual na execução de estruturas de Betão Armado Pré-Esforçado, ao contrário do que acontece em estruturas metálicas ou mistas, com o lançamento da estrutura metálica principal e posterior colocação de lajes em betão armado prefabricado ou betonadas *in situ*. Nos últimos anos, o lançamento de estruturas integralmente em betão armado pré-esforçado tem vindo a ganhar maior aceitação por parte dos Empreiteiros e Donos de Obra.

O método construtivo consiste em reunir numa área de fabricação localizada atrás dos encontros, todo o processo de fabrico, montagem e preparação e, através de meios mecânicos especializados, colocá-los na sua posição final fazendo-os deslizar sobre os pilares de forma progressiva, à medida que vão sendo executados novos troços de tabuleiro. As componentes essenciais que caracterizam este processo construtivo são:

- **Nariz de lançamento (“Avant-bec”)** – estrutura metálica acoplada ao tabuleiro que se destina a facilitar o processo de lançamento, possibilitando atingir os pilares com um menor comprimento de tabuleiro em consola e garantindo o realinhamento deste sobre os pilares. O facto de constituir uma estrutura muito mais ligeira do que o próprio tabuleiro permite reduzir os esforços resultantes do lançamento. No caso da ponte sobre o Rio Cubal da Hanha, foi adoptado um nariz com 18.0 m, correspondendo a 60% do comprimento do maior vão.

- **Estaleiro de Fabricação** – zona situada atrás de um dos encontros, no prolongamento do eixo longitudinal da obra, onde estão instalados os meios mecânicos de lançamento e onde decorrem os trabalhos de fabricação de armaduras e betonagem dos troços de tabuleiro. Para o lançamento, optou-

se por fasear o processo e dividiu-se a estrutura em troços com comprimentos da ordem de grandeza dos vãos da ponte, correspondendo a sucessivos ciclos de fabricação-lançamento.

– **Aparelhos de apoio deslizantes e guias de alinhamento** – situados no topo dos pilares, estes equipamentos constituem uma estação de controlo local para garantir o adequado alinhamento do tabuleiro na fase de lançamento. Os aparelhos de apoio foram concebidos para facilitar o deslizamento do tabuleiro – estando dotados de almofadas de neoprene e guias metálicas que impedem deslocamentos transversais indesejados – dispondo ainda de dispositivos que permitem trancar os deslocamentos do tabuleiro para a fase de exploração da obra nos aparelhos previamente definidos como fixos.

Uma das características com maior relevância é a concentração das frentes de trabalho atrás dos encontros, facto que se traduz nas seguintes vantagens:

- Maior segurança para o pessoal do estaleiro, visto que a intervenção fora deste passa a ser mínima;
- Ausência de escoramentos, apoios de cimbres ou outras estruturas na zona de atravessamento;
- Melhores condições de trabalho e acessibilidade para o pessoal de estaleiro, com um ambiente semelhante ao de uma oficina fechada, evitando os inconvenientes associados a condições climatéricas adversas;
- Repetitividade das operações a desempenhar, resultando em ganhos de eficiência de mão-de-obra e, por conseguinte, custos de construção competitivos;
- Maior rapidez de execução;
- Método permite assegurar a geometria final da obra, com boa qualidade de construção;

Em contrapartida, o lançamento incremental possui alguns inconvenientes, dos quais se podem salientar:

- Domínio de aplicação algo limitado, do ponto de vista geométrico, tanto no que se refere ao traçado, como à solução estrutural;
- Maior consumo de materiais relativamente a outros processos construtivos, nomeadamente em termos de espessuras de betão e quantidades de aço de pré-esforço;
- A natureza deste método obriga ao respeito de tolerâncias de execução e de operação apertadas, e ao controlo minucioso de um grande número de aspectos durante a construção (alinhamentos, inclinações). Trata-se de um método, em termos de execução em obra, tecnologicamente exigente e requer operadores com formação própria;

A figura 10 esquematiza algumas das principais fases do processo construtivo adoptado para a ponte sobre o Rio Cubal da Hanha.

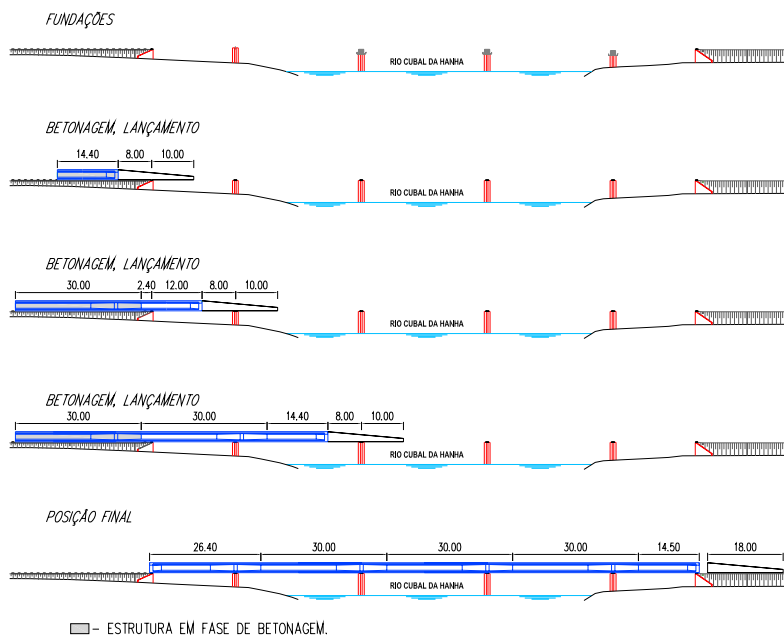


Figura 10. Faseamento construtivo. Principais fases de construção da ponte, ilustrando o lançamento e a utilização do nariz de lançamento, até à posição final do tabuleiro.

Do ponto de vista da concepção e dimensionamento, este método construtivo tem fortes implicações na solução estrutural devido ao facto de o funcionamento durante a fase construtiva diferir totalmente do da fase de exploração da obra. Com efeito, uma das suas mais evidentes características é a sucessão de inversões de momentos a que todas as secções do tabuleiro estão sujeitas. Tal facto obriga à adopção de um traçado de pré-esforço praticamente centrado, que não constitui a solução mais eficiente uma vez atingida a posição final do tabuleiro.

Uma forma tradicional de resolver este problema consistia em adoptar dois conjuntos de cabos de pré-esforço exterior com um traçado antagonista que, em conjunto, resultariam numa acção centrada. Uma vez finalizado o lançamento, parte destes cabos era desactivada, passando a funcionar apenas o traçado mais adequado para o sistema estrutural de serviço.

No caso específico do Cubal da Hanha, a solução encontrada passou por adoptar cabos de pré-esforço definitivos com traçado rectilíneo ao longo de todo o comprimento da obra, complementados, após as fases de lançamento, com cabos de traçado parabólico que conferem a resistência necessária para a fase de serviço.

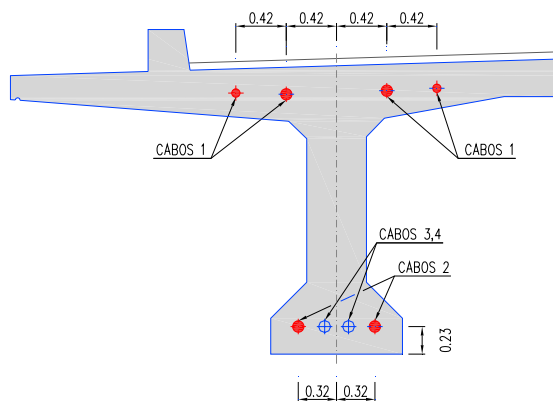


Figura 11. Traçado de pré-esforço centrado. Cabos rectos para o lançamento.

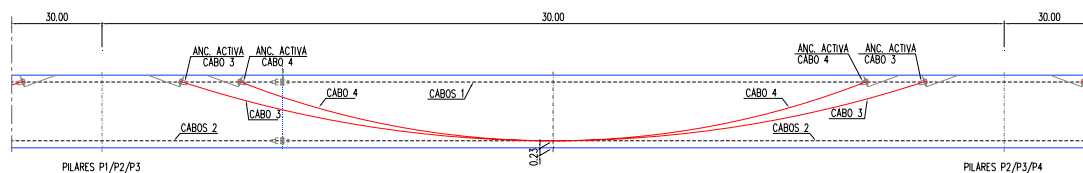


Figura 12. Traçado de Pré-Esforço. Cabos rectos para o lançamento e cabos complementares parabólicos num tramo de 30.00 m.

6. CONCLUSÕES

A travessia rodoviária sobre o Rio Cubal da Hanha foi fortemente condicionada pela intenção de reduzir ao mínimo os trabalhos dentro do leito do rio, ante o elevado risco de ocorrência de cheias.

Tirando partido dos conhecimentos adquiridos no projecto de obras com condicionamentos e tipologias semelhantes, a solução de lançamento incremental proposta procurou colmatar, com todas as vantagens inerentes à concentração da fabricação do tabuleiro atrás de um dos encontros, as eventuais lacunas existentes do ponto de vista das quantidades de materiais, quando comparada com outros processos construtivos.

Adicionalmente, houve o cuidado, na concepção da solução, em dotar os seus elementos com uma geometria simples e que facilitasse a sua execução. Destaca-se a conjugação da geometria dos pilares com a necessidade de alguma robustez, dada a sua localização no leito do rio. Por outro lado, é de referir a eliminação das carlingas de ligação entre as vigas, com benefícios do ponto de vista de economia e prazos.

Por outro lado, as dimensões do tabuleiro e da obra, aliadas à utilização de sistemas que mobilizam coeficientes de atrito baixos (da ordem de 2-3%), possibilitam a realização do lançamento com meios ligeiros, o que se revela uma vantagem do ponto de vista da acessibilidade, especialmente se se atender ao facto de que não ser necessário deslocar cavaletes para o local da obra.

Da ponderação de todos estes factores, resultou, no cômputo geral, uma solução que visou obter uma elevada eficiência construtiva mantendo-se, ao mesmo tempo, competitiva do ponto de vista económico.

Actualmente a Ponte sobre o Rio Cubal da Hanha encontra-se na fase inicial de construção, tendo sido iniciados os trabalhos de execução das fundações.