

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

O presente projecto tem como objectivo a concepção de uma ponte pedonal que liga as margens do rio Douro, junto à ponte Luiz I, no local da antiga ponte Pênsil, aproveitando os pilares já existentes.

O enquadramento histórico é, neste caso, muito importante, na medida em que a localização pretendida para a ponte em projecto é coincidente com a da antiga ponte Pênsil. Esta condicionante influenciou significativamente uma das principais decisões associadas a este projecto: a selecção do tipo de ponte propor.

Para o novo projecto foi escolhido um sistema estrutural do mesmo tipo do da antiga ponte Pênsil, que era uma ponte suspensa. A inovação principal consiste na introdução de um cabo inferior, de forma a melhorar o comportamento dinâmico da nova ponte.

Na tentativa de acompanhar o progresso tecnológico, foram adoptados materiais nobres e de elevada resistência, tais como o vidro laminado e o carbono.

O projecto foi desenvolvido com preocupações estéticas e de enquadramento num local histórico, tendo sido apoiado numa forte base científica. A intervenção proposta para o local pode ser dividida nas fases que são em seguida descritas.

1. Recuperação das Torres existentes

As torres existentes, património mundial da UNESCO, serão reabilitadas, tendo em vista a sua utilização na nova versão da ponte Pênsil. Os trabalhos necessários consistem numa limpeza exterior da pedra, na instalação de selas no seu topo e na recolocação da travessa que unia o topo das torres. Deste modo, as torres ficam preparadas para entrar de novo em serviço e suportar as acções introduzidas pelos cabos superiores da ponte.

2. Preparação das margens

Do lado do Porto, a preparação da margem inclui a demolição da plataforma existente em frente às torres, bem como das respectivas escadas de acesso. Assim é libertado o espaço necessário para a construção do apoio do tabuleiro da nova ponte. É também necessário reparar a antiga casa do guarda, criando novos acessos por trás das torres. Do lado de Gaia, não é necessário fazer alterações significativas às construções existentes.



Figura 1 – Torres existentes

3. Torres do lado de Gaia

Do lado de Gaia é necessária a construção de duas torres em betão armado, de 18m de altura e de secção quadrada com 2m de largura, afastadas entre si de 4m. No topo são instaladas selas iguais às que se prevêem para as torres da margem do Porto. As torres são também ligadas entre si por uma travessa no seu topo constituída por um perfil metálico em H, que reproduz a que existia na antiga ponte Pênsil. O revestimento exterior das novas torres é em granito, imitando assim a aparência das que se encontram do lado do Porto.

4. Ancoragens

A solução projectada inclui oito pontos de fixação de cabos, sendo todos eles realizados através de múltiplas ancoragens. As ancoragens inferiores são realizadas a uma cota 7m abaixo do tabuleiro e afastadas entre si de 10m. As quatro ancoragens superiores posicionam-se 15m atrás da respectiva torre e à cota da base da mesma. Estas ancoragens permitem o esticamento do cabo em ambas as margens, sendo assim aplicado o pré-esforço em toda a ponte, a partir dos cabos superiores e de forma simétrica.

5. Cabos principais

Na solução proposta, os cabos principais são constituídos por filamentos de fibra de carbono unidireccional e têm 15cm de diâmetro. O revestimento dos cabos é em verniz de forma a proteger o material do meio ambiente, aumentando assim

a sua durabilidade. Os cabos inferiores ficam ancorados passivamente e são pré-esforçados por intermédio dos cabos superiores.

6. Pendurais

Os pendurais que ligam os cabos principais ao tabuleiro são igualmente constituídos por fibra de carbono unidireccional. Estes ligam-se aos cabos principais e às cantoneiras do tabuleiro através de um sistema de chapas de aço, parafusos e cunhas. Pelo esticamento dos cabos principais, os pendurais são também pré-esforçados.

7. Tabuleiro

O tabuleiro é constituído por cantoneiras metálicas em Fe510. As cantoneiras são ligadas entre si por soldadura e constituem uma grelha onde se encaixam os painéis de vidro, com $2.0 \times 2.5 \text{ m}^2$. A ligação entre as cantoneiras e o vidro é constituída por uma camada de silicone de forma a permitir ligeiros movimentos do tabuleiro sem afectar a integridade do vidro. Na face inferior do tabuleiro são previstas chapas soldadas de 20mm de espessura e 20cm de largura, constituindo um conjunto de diagonais que formam o travamento horizontal do tabuleiro.

As guardas metálicas são soldadas às cantoneiras exteriores do tabuleiro.

8. Aplicação do pré-esforço

A aplicação do pré-esforço à estrutura é prevista apenas para a fase final da construção, sendo introduzido por intermédio dos cabos superiores. Esta operação é vital para o comportamento da estrutura, que depende do facto de todos os cabos estarem traccionados nas condições de serviço. O esticamento deve ser realizado simetricamente a partir de ambas as margens. No final da operação de pré-esforço, e na situação de ausência de sobrecargas, os cabos superiores devem ter instalado um esforço de tracção de 2200kN e o cabo inferior, por equilíbrio interno de forças, um esforço de 1140kN.

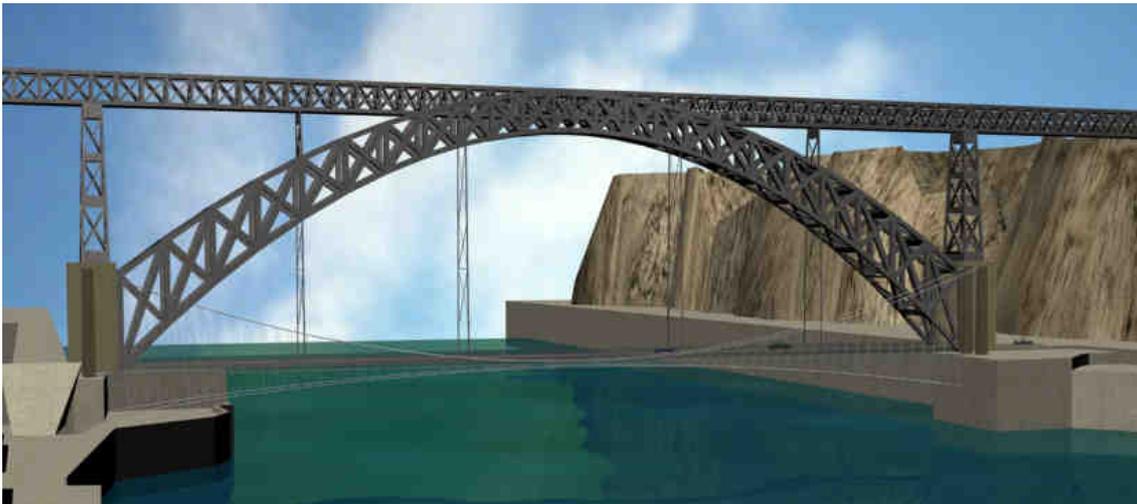


Figura 2 – Imagem virtual da solução proposta.

Conceitos e condicionantes fundamentais da concepção

Apesar de o presente projecto estar inserido num âmbito científico, a adopção de uma solução com elevada qualidade arquitectónica revela-se essencial, uma vez que não é suficiente saber se determinado material resiste às tensões instaladas, ou se foi adoptada a inclinação ideal de uma barra, interessando também questões como o impacto visual, o impacto ambiental, o enquadramento histórico, o conforto dos utentes, a caracterização conceptual da obra e até a estética da solução final.

As condicionantes encontradas sugerem a idealização de uma obra cuja principal característica deve ser a “transparência”, de forma a não provocar um conflito visual com a ponte Luiz I, que constitui um património que tem de ser respeitado. A idealização de uma obra que não se vê poderá parecer desmotivadora, no entanto, esta é uma obra “transparente” que pretende fazer parte do quotidiano dos utilizadores das ribeiras do Porto e Gaia. Esta ponte pretende ser invisível para quem a observa de longe, mas marcante para quem a atravessa. Deve ser uma ponte em que o próprio

acto de a atravessar ou utilizar é bem mais do que um meio para chegar a um fim, mas uma experiência de alguma forma diferente e agradável.

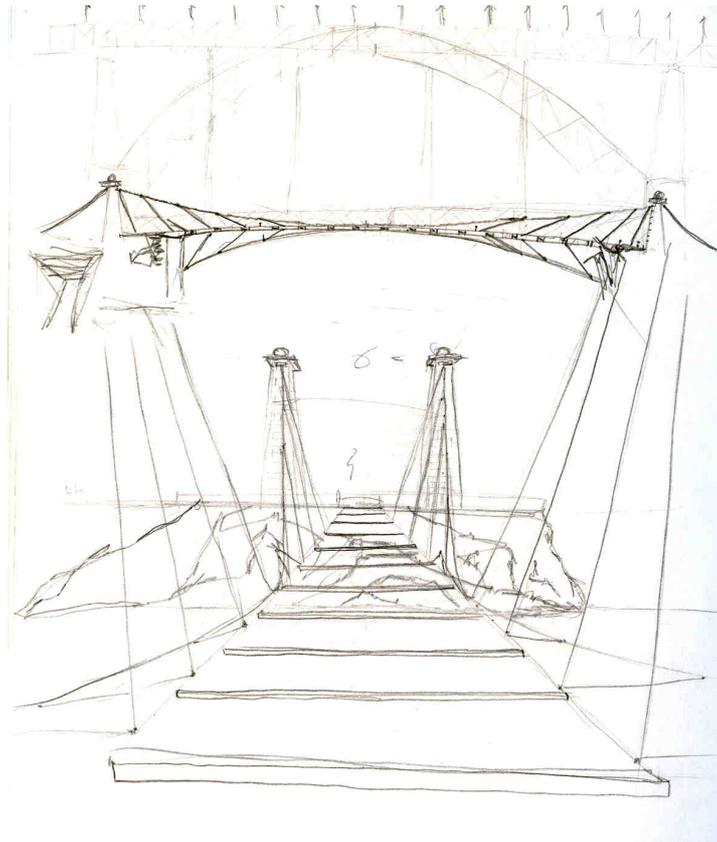


Figura 3 – Esquisso da nova ponte Pênsil.

O funcionamento estrutural duma ponte suspensa consiste na construção de um sistema de cabos apoiados em pilares, que suportam o tabuleiro através de um sistema de pendurais verticais. As cargas exteriores e os pesos próprios são resistidos pelo sistema de cabos, que transmitem as cargas às margens.

De um modo geral, as pontes suspensas apresentam alguns problemas no que diz respeito ao comportamento dinâmico, uma vez que, sendo uma ponte pedonal, têm um peso e rigidez reduzidos. Como consequência, as acções dinâmicas podem provocar movimentos na ponte que levam ao desconforto de quem sobre ela caminha, podendo mesmo conduzir à restrição da sua utilização. Numa ponte deste tipo é essencial o estudo dinâmico, uma vez que pode ser condicionante para o dimensionamento.

O problema do excesso de vibrações pode ser contornado por intermédio da adopção de um cabo “invertido”, ou seja, um cabo que contrarie os movimentos ascendentes que a ponte poderá experimentar devido às acções dinâmicas.

A forma a que se chegou causou imediatamente um impacto positivo pois reúne a “tradição” da antiga ponte Pênsil com a inovação dos sistemas estruturais actuais, de forma esbelta, sinuosa e “dinâmica”.



Figura 4 – Fotomontagem da nova ponte Pênsil.

Concepção estrutural

A solução proposta é o resultado de um processo evolutivo, que teve várias fases. Embora esta solução contenha os aspectos mais importantes da ideia inicial, várias alterações foram sendo introduzidas de forma a obter o melhor comportamento possível, quer estático, em termos de esforços e deformações, quer dinâmico, em termos de frequências de vibração.

A estrutura correspondente à solução proposta é a reunião dos pontos fortes de outras estruturas ensaiadas, tendo sido adoptados pendurais verticais, pelo seu comportamento estático, e pendurais inclinados, pela melhoria no comportamento dinâmico. Como o espaçamento entre pendurais foi reduzido, a sua secção também o foi, tendo ficado em 3cm. Para aumentar a rigidez da estrutura foi também necessário aumentar a secção dos cabos inferiores para 15cm.

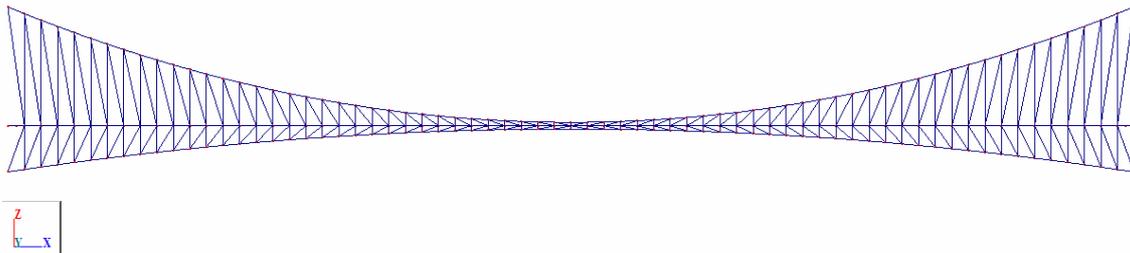


Figura 5 – Modelo estrutural planificado da solução proposta.

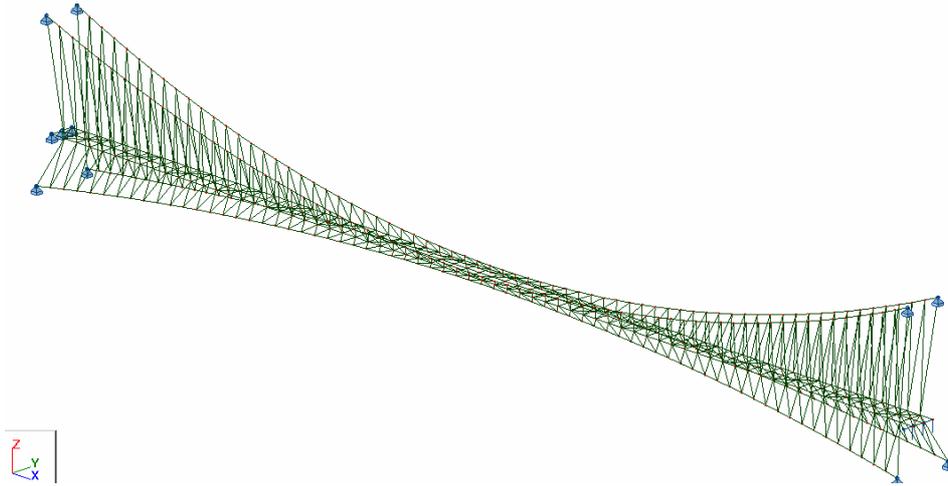


Figura 6 – Modelo estrutural 3D da solução proposta.

Das diversas estruturas ensaiadas, esta destacou-se claramente devido ao seu comportamento estático e dinâmico. Em termos estáticos esta solução apresenta flechas pequenas pois o pré-esforço, em conjunto com a orientação dos diversos elementos, faz com que a estrutura de cabos funcione como uma treliça. Em termos dinâmicos, a grande rigidez da estrutura faz com que todas as suas frequências próprias apresentem valores perfeitamente aceitáveis.

Processo Construtivo

O processo construtivo proposto consiste nas seguintes fases:

1. Regularização do terreno e construção dos pilares da margem esquerda.
2. Execução das ancoragens provisórias para espisar os pilares.
3. Execução das ancoragens no terreno para a realização dos quatro pontos de fixação dos cabos longitudinais superiores.
4. Contraventamento dos pilares através de espias.
5. Colocação dos dois cabos longitudinais suspensos entre os pilares de ambas as margens e fixos às ancoragens por intermédio de extremidades activas, instalando equipamento de medição que permita controlar o esticamento final.
6. Colocação dos pendurais superiores.
7. Montagem da grelha metálica do tabuleiro.
8. Instalação dos painéis de vidro do pavimento.
9. Colocação dos dois cabos longitudinais inferiores por suspensão dos pendurais inferiores.
10. Esticamento e ajuste das tensões nos dois cabos longitudinais superiores.
11. Remoção das espias e fixação das ancoragens activas.
12. Execução das rampas e passeios de acesso, assim como dos arranjos urbanísticos.