

## **ANÁLISE DE UMA PONTE CONSTRUÍDA PELO PROCESSO DOS SEGMENTOS EMPURRADOS**

**DIEMIS MELO SCHNEIDER<sup>1</sup>; JORGE RODRIGUES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – diemis\_schneider@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – jorger@ufpel.edu.br*

### **1. INTRODUÇÃO**

No presente trabalho apresentam-se as análises efetuadas no âmbito de um trabalho de conclusão de curso (SCHNEIDER, 2023), integrado em um projeto de pesquisa dedicado à modelação do comportamento estático e dinâmico de estruturas, promovido pelo Centro de Engenharias da UFPel, no qual se inclui a análise estrutural do faseamento construtivo de edifícios e pontes.

A construção de pontes pode ser efetuada com diversos métodos. Neste trabalho analisa-se um método construtivo menos convencional, o dos segmentos empurrados, que consiste em executar segmentos da ponte, em um ou em ambos os seus encontros, e empurrá-los para a sua posição final utilizando macacos hidráulicos. Este método tem como principal vantagem a redução do tempo e custo da construção. Além disso, a execução do tabuleiro é feita de forma mais precisa do que em outros métodos, o que resulta em estruturas com melhor qualidade de execução, mais estáveis e duráveis (ROSSIGNOLI, 2002). Neste processo de construção podem utilizar-se elementos provisórios, tais como, pilares provisórios, estais provisórios e, para a extremidade do tabuleiro que durante a execução fica em balanço, um bico metálico de peso próprio inferior ao do tabuleiro definitivo.

Na atividade da construção civil, atualmente, estão a assumir, cada vez mais, uma maior importância, as questões relacionadas com o ambiente de trabalho, a segurança no trabalho e o impacto no meio ambiente. É precisamente sob o ponto de vista destas questões, que o processo construtivo dos segmentos empurrados apresenta vantagens relativamente a outros processos construtivos utilizados na execução de pontes. De fato, o processo dos segmentos empurrados permite que as obras sejam executadas com menor impacto ambiental, uma maior segurança dos trabalhadores e uma menor perturbação do meio ambiente no local de execução das obras, em consequência da ausência de escoramentos e dos trabalhos de montagem da superestrutura serem realizados, sobretudo, em uma área concentrada com um ambiente de montagem aprimorado.

Em vários dos processos construtivos utilizados na execução de pontes é clara a necessidade de efetuar uma análise estrutural da ponte ao longo das diversas fases da sua construção, não sendo suficiente analisar a obra na sua configuração final, totalmente completa. Tal ocorre, porque há diferenças evidentes entre o sistema estrutural ao longo da construção e na obra concluída. É o caso do método dos balanços progressivos e do método dos segmentos empurrados.

Neste trabalho efetuou-se a análise dos esforços atuantes no tabuleiro de uma ponte, executado pelo processo construtivo referido, durante a construção, com o objetivo de verificar o comportamento da estrutura à medida que cada segmento é lançado até a conclusão de todo o tabuleiro, e após, na fase de utilização, quando sujeito às ações do tráfego. Para efetuar esta análise, considerou-se uma ponte com tabuleiro com seção em caixão de concreto pretendido, executado com um bico metálico com diferentes comprimentos.

## 2. METODOLOGIA

No presente trabalho analisam-se os esforços atuantes no tabuleiro de uma ponte, calculados durante a fase de execução efetuada pelo processo dos segmentos empurrados, e para a fase de utilização quando a obra já está sujeita à ação do tráfego de veículos. Como caso de estudo, foi considerada uma ponte com uma extensão total de 280 m, tendo 4 vãos internos com comprimento de 50 m e dois vãos externos de 40 m (Figura 1).

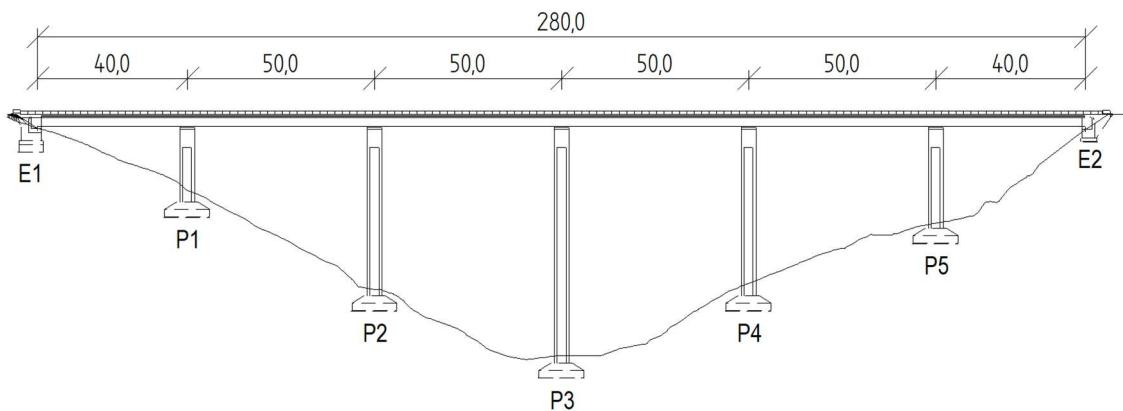


Figura 1 – Perfil longitudinal da ponte considerada como caso de estudo.

O tabuleiro da ponte é de concreto protendido e tem uma seção transversal em caixão monocelular, com 2,90 m de altura constante, pré-dimensionada tendo em conta a recomendação de utilizar L / 17, para assim não ser necessário utilizar pilares provisórios (SCHMID, 2005). Em seções em caixão é também importante que a sua altura interna facilite o acesso para a realização de trabalhos de inspeção e de manutenção que venham a ser necessários ao longo da vida da obra.

Optou-se por analisar uma ponte rodoviária e uma ponte ferroviária, ambas com o mesmo perfil longitudinal (Figura 1), para assim analisar duas situações diferentes no que se refere à relação entre as cargas permanentes e as cargas variáveis do tráfego de veículos.

Considerou-se que a protensão do tabuleiro das pontes analisadas é centrada, tendo por objetivo, eliminar as tensões de tração no concreto, garantindo a verificação da segurança em relação ao estado limite de descompressão (ELS-D) durante a execução do tabuleiro.

Admitiu-se que o lançamento do tabuleiro é efetuado com a utilização de um bico metálico, tendo-se considerado três comprimentos diferentes, 20 m, 24 m e 28 m, determinados com base na recomendação de utilizar 60 a 70% do vão-tipo da ponte, para ter maior eficiência.

Considerou-se que a construção do tabuleiro da ponte será efetuada em um dos seus encontros, onde serão produzidos os segmentos, moldados no local, com 20 m de comprimento cada um. Antes da concretagem do primeiro segmento será inserido um dispositivo de lançamento, o bico metálico, com os comprimentos considerados. Com o primeiro segmento concretado e o dispositivo de lançamento inserido, ele é empurrado em direção ao primeiro vão. Após o lançamento, é reaproveitada a fôrma e feito o segmento seguinte até concluir todo o tabuleiro.

Para cada segmento lançado analisaram-se os esforços no tabuleiro durante o lançamento. Após a análise da fase de lançamento, a análise da fase em serviço foi realizada para avaliar o efeito das cargas de tráfego consideradas de acordo com as normas da ABNT aplicáveis.

Foram desenvolvidos vários modelos de análise para diversas fases do processo de construção, definindo-se um novo modelo a cada 5 m de avanço do tabuleiro. Esses modelos foram elaborados, para a ponte rodoviária e para a ponte ferroviária, considerando diversas formas de execução do tabuleiro, sem bico metálico, com bico de 20 m, com bico de 24 m e com bico de 28 m.

Inicialmente, calcularam-se as propriedades geométricas das seções transversais do tabuleiro, considerando as dimensões para elas definidas, e das seções adotadas para o bico metálico, considerando-o constituído por duas vigas de alma cheia com seção em I de altura variável.

Considerou-se o tabuleiro constituído por um concreto C40, enquanto para o bico metálico foram adoptadas as propriedades do aço estrutural A36.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os modelos de análise desenvolvidos, calcularam-se os esforços no tabuleiro (momento fletor e esforço cortante) durante a sua execução através do método dos segmentos empurrados, tanto para a ponte rodoviária como para a ponte ferroviária. Os valores máximos obtidos, foram organizados em envoltórias, conforme se exemplifica na Figura 2, onde se apresenta a envoltória dos momentos fletores, tanto negativos quanto positivos, para a ponte rodoviária em cada situação considerada para a sua execução.

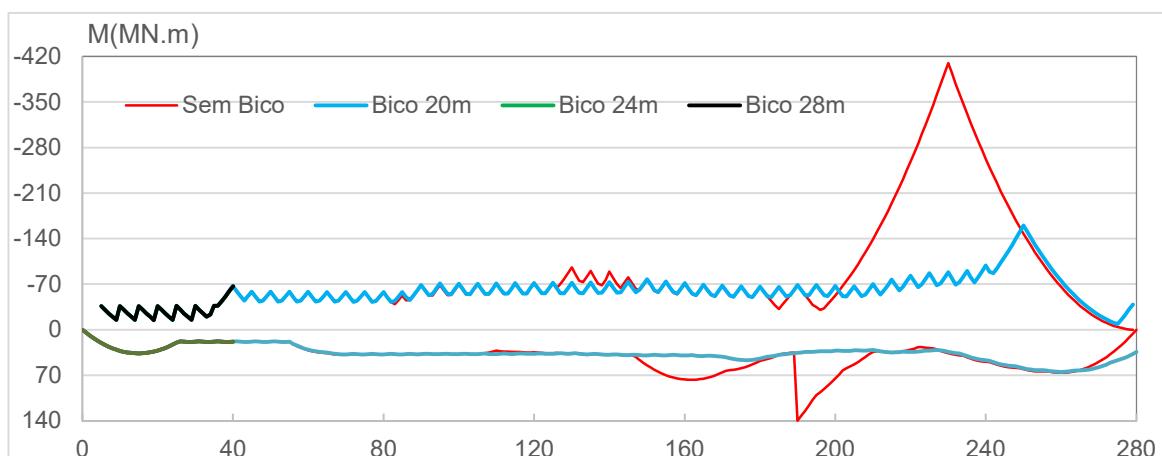


Figura 2 – Envoltória dos momentos fletores da ponte rodoviária.

Calcularam-se também os esforços no tabuleiro devidos às cargas de tráfego, os quais foram comparados com os esforços verificados durante o processo construtivo.

Analizando os resultados obtidos, constatou-se que as pontes realizadas pelo processo dos segmentos empurrados, sofrem esforços maiores durante a sua fase de construção do que os esforços provocados pelas cargas de tráfego. Isso é evidenciado, por exemplo, no caso da ponte rodoviária, onde os esforços máximos devidos às cargas de tráfego são quase 50% inferiores aos verificados durante a execução. No entanto, considerando os efeitos das cargas permanentes adicionados aos das cargas de tráfego, verifica-se que, nas zonas próximas dos apoios, obtêm-se esforços que são superiores aos que ocorrem durante a fase de construção.

Analisou-se também o traçado dos cabos de protensão e calcularam-se as forças de protensão necessárias para a fase de construção das pontes, considerando os momentos fletores calculados nas análises efetuadas.

Nos tabuleiros executados pelo processo dos segmentos empurrados, normalmente, utilizam-se traçados dos cabos de protensão que correspondem à aplicação de uma protensão centrada (SCHMID, 2005). Neste trabalho, optou-se também por essa solução, tendo-se calculado as forças e armaduras de protensão necessárias para verificar o estado limite de descompressão (ELS-D) para os momentos fletores máximos que se verificaram durante o processo construtivo. Nestes cálculos, considerou-se que as perdas totais, desde a aplicação da protensão até à conclusão de todo o tabuleiro, são de 15 %.

Para a situação final das pontes, analisou-se ainda se seria necessário colocar mais cabos de protensão de modo a verificar o ELS-D a longo prazo.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos no trabalho enfatizam a importância de analisar a fase de construção das pontes, durante a qual, pode haver esforços superiores aos que se verificam na sua situação final. Embora a fase final de utilização seja a que, de uma forma imediata, se dá maior atenção, a fase de construção também tem que ser analisada corretamente.

As análises realizadas revelam que, no caso das pontes executadas pelo processo dos segmentos empurrados, os esforços durante a fase de construção são maiores do que os provocados pelas cargas de tráfego. Isso ficou evidente na ponte rodoviária, onde os esforços de utilização foram quase 50% menores ao longo de sua extensão. No entanto, considerando os efeitos da carga permanente adicionados aos das cargas de tráfego, observa-se que nas zonas próximas dos apoios há esforços superiores aos que se verificam durante a fase de construção. Portanto, a compreensão e a otimização dos esforços durante essa fase são fundamentais para garantir a segurança e a durabilidade das pontes.

A introdução de bicos metálicos provou ser uma solução necessária para reduzir os esforços máximos durante a construção, já que a execução sem bico, se comprova ser inviável devido aos esforços elevados que se verificam, que exigiriam utilizar muita protensão, com um número de cabos que não seria possível colocar na seção, havendo também problemas de compressão excessiva no concreto. De entre as formas de execução do tabuleiro, consideradas no trabalho, as utilizações de bicos com 24 m e 28 m, mostraram ser mais eficientes, proporcionando uma menor variação dos esforços ao longo do tabuleiro, durante a construção, sendo assim, as soluções que exigem menor quantidade de protensão.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ROSIGNOLI, M. Bridge Launching.** 1<sup>st</sup> Edition, Thomas Telford, London, 2002.

**SCHMID, M. T. A construção e o lançamento de pontes pelo processo dos segmentos empurrados.** 3<sup>a</sup> Edição, Rudloff Industrial Ltda., 2005.

**SCHNEIDER, D. M. Análise de uma ponte construída pelo processo dos segmentos empurrados.** 2023. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas.