



UM ESTUDO COMPARATIVO DOS ESFORÇOS NAS VIGAS DE PONTES EM GRELHA UTILIZANDO MÉTODOS ANALÍTICOS E COMPUTACIONAIS

Adriana Correia da Silva

Lineu José Pedroso

adrianacorreiads@gmail.com

lineu@unb.br

Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte

70910-900 – Brasília – DF

Resumo: Baseando-se em estudos anteriores, este trabalho propõe a comparação entre o método analítico proposto por Courbon/Engesser com o método numérico utilizado pelo software SAP2000 – MEF- para o cálculo de tabuleiros de pontes tipo grelha. São analisados os resultados obtidos pela linha de influência das reações e dos momentos fletores em vigas que compõem as longarinas de uma ponte simplificada por uma grelha de duas longarinas e uma transversina central. Esses resultados são obtidos quando se passa uma carga pontual pelo eixo da transversina através de hipóteses simplificadoras, simulando um trem tipo. Adotando-se como condições de contorno as hipóteses do método simplificado, os resultados obtidos pelo SAP validam o método utilizado.

PALAVRAS CHAVES: Grelhas, Engerser-Courbon, Elementos Finitos, Tabuleiro de Pontes.

1 Introdução

As pontes, em um país de dimensões continentais e números de rios como o Brasil, são de grande importância para integração nacional. Entretanto, a infraestrutura rodoviária brasileira não se apresenta em bom estado, além de possuir estruturas em estado precário que exigem manutenção para continuarem em operação, há a necessidade de construir novas rodovias. Portanto, este trabalho mostra-se útil, uma vez que é preciso difundir o domínio de cálculo de estruturas como a ponte aqui analisada para que o país melhore sua infraestrutura e, conseqüentemente, sua interligação e competitividade econômica.

Na análise estrutural de uma ponte, as ferramentas computacionais nem sempre estiveram presentes para os engenheiros. Em geral, é realizada a análise da superestrutura separando-a dos demais elementos integrantes da obra: meso e infraestrutura. Nesta etapa, a superestrutura em grelhas requer uma grande quantidade de cálculos, tornando a solução manual irrealizável. Desta forma hipóteses simplificadoras e métodos aproximados (expeditos) foram criados para que fosse possível a execução de cálculos analíticos. Assim foi possível utilizar métodos analíticos simples para determinação das parcelas de carregamento sobre as transversinas e transmitidos às correspondentes longarinas. O modelo estrutural da grelha escolhida é formado por longarinas e transversinas ortogonais, admitindo-se um modelo menos rigoroso, representado por vigas biapoiadas em apenas uma direção. Com o advento da computação e de novas ferramentas, tais como elementos finitos e diferenças finitas, foi possível se obter um estudo mais fiel dos esforços atuantes na estrutura. Logo, é de interesse um estudo que permita avaliar se os métodos analíticos apresentam erros aceitáveis ou resultam em uma divergência dos métodos computacionais mais modernos. Com o avanço da tecnologia, a capacidade de processamento computacional permite uma resposta do problema mais completa e integrada com a inclusão de vários tipos de soluções de contorno e carregamentos. Este trabalho tem como finalidade analisar o comportamento da distribuição dos esforços de momento fletor pelo método de Engersser-Courbon e pelo método computacional utilizando a ferramenta de elementos finitos no software SAP2000, em pontes biapoiadas de concreto armado. A comparação será feita para averiguar a confiança do cálculo manual, pois muitas pontes foram construídas sem a utilização de computadores. A ponte analisada é do tipo grelha com longarinas e transversinas posicionadas ortogonalmente.

2 Desenvolvimento teórico

Devido à complexidade exigida para o cálculo analítico exato de um tabuleiro de ponte, são adotadas hipóteses simplificadoras que o tornam exequível. A primeira a ser considerada nesse trabalho se baseia nos maiores esforços gerados na longarina, que atingem seu valor máximo quando a parcela decarga transmitida pela transversina se concentra na metade de sua extensão longitudinal, com isso, pode-se reduzir o número de transversinas a apenas uma neste ponto.

Considerando as deformações das transversinas desprezíveis quando comparadas as da longarina, adota-se a segunda hipótese, sugerida por Martins (1981), na qual transversina possui rigidez infinita a torção, comportando-se como um corpo rígido. Com isso, a adoção do método de Courbon/Engesser mostra-se sugestivo, sendo este um dos mais simples dentre os métodos usualmente adotados para a solução do problema das pontes em grelha, como o de

Leonhardt, Guyon/Massonet/Bares, Ferrazz e Fauchart, sendo esses últimos não estudados neste trabalho.

A estrutura analisada é uma grelha composta por duas longarinas de 20 metros e uma transversina localizada na metade do eixo das longarinas, essa contendo 7 metros. Ambas as seções transversais possuem 20cm x 40cm.

2.1 Método de Courbon/Engesser

Para a adoção do método de Courbon/Engesser, considera-se a ponte como uma grelha formada por vigas longitudinais (longarinas) e vigas transversais (transversinas), ortogonais entre si e despreza-se a influência da rigidez do tabuleiro. Essa grelha deve possuir transversinas com comprimento inferior a metade do comprimento das longarinas, altura das transversinas devem ser da mesma ordem de grandeza que a altura das longarinas e tanto as lajes como as longaridas devem possuir pequena espessura.

A partir das simplificações realizadas, o perfil de deformação da transversina é equivalente à equação de um polinômio de primeiro grau, onde o deslocamento vertical y depende da posição de aplicação da carga na transversina. Como mostra a Figura 1.

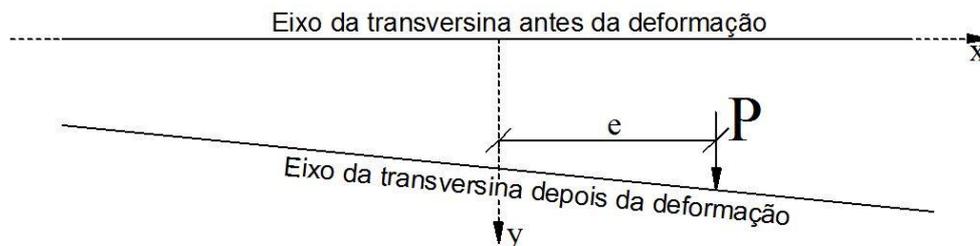


Figura 1 – Perfil de deformação da transversina. Fonte: Martin (1981)

Através da relação linear dos deslocamentos verticais e dos elementos geométricos representados na Figura 2, que ilustra um corte na seção transversal de uma ponte genérica, é possível determinar a Eq.1, dada por Martin (1981), que determina a parcela da carga concentrada “P” que chega na longarina “i”, em seu ponto de encontro com a transversina carregada.

$$R_i = \frac{P}{n} \left[1 + 6 \frac{2i - (n+1)e}{n+1} \frac{e}{l} \right] \quad (1)$$

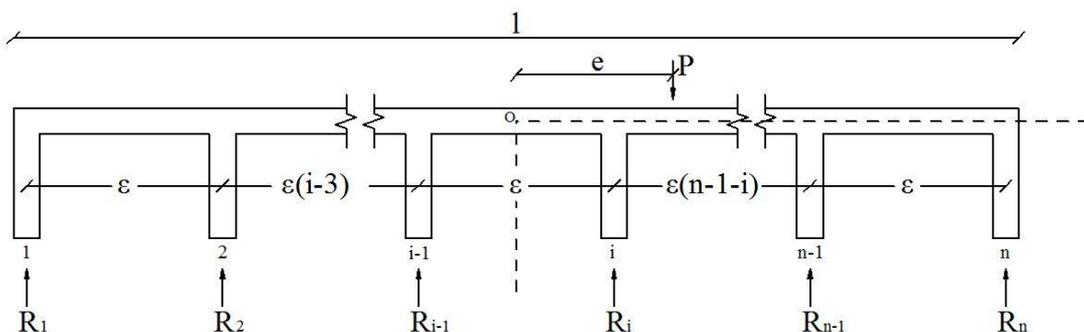


Figura 2 – Seção transversal da ponte. Fonte: Martin (1981)

Determinadas as reações verticais em cada longarina nos pontos onde se encontram com a transversina que recebe o carregamento, calcula-se os deslocamentos verticais, δ , em cada um desses pontos por meio da Eq.2, onde a constante “K” equivale à rigidez das longarinas, que neste trabalho, são idênticas.

$$\delta_i = \frac{R_i}{K}; \quad K = \frac{48EI}{l^3} \quad (2) (3)$$

Com os deslocamentos verticais, é possível, por fim, determinar os momentos fletores atuantes na metade da longitude das longarinas, ponto em que há a interseção com a transversina, graças à simetria da estrutura, que permite o uso da Eq.4, obtida pelo método dos deslocamentos.

$$M_i = \frac{3EI\delta}{l^2} \quad (4)$$

2.2 Método dos elementos finitos

O objetivo deste estudo é comparar os resultados gerados analiticamente pelo método de Courbon/Engesser com os gerados pelo SAP2000 v.15.0.0, que utiliza o método dos elementos finitos como método numérico de análise estrutural.

O método dos elementos finitos discretiza um meio contínuo em quantidades finitas de partes, chamadas de elementos, que são capazes de manter as propriedades do meio contínuo que os gerou, sendo ligados entre si por nós. A quantidade e o tipo de elemento adotado depende da natureza do problema estudado. O elemento utilizado neste trabalho foi o GRID ONLY, fornecido pelo SAP2000.

3 Resultados

A Tabela 1 apresenta a comparação entre os valores das parcelas de carga, R_i , e momento, M_i , na longarina “i” obtidos no método simplificado de Courbon/Engesser com os fornecidos pelo SAP 2000 admitindo-se como condições de contorno as hipóteses do método simplificado. Os valores foram gerados caminhando a carga por pontos na transversina espaçados entre si por 0,5m.

Tabela 1 – Comparação de dados obtidos

Método de Courbon/Engesser				SAP2000			
R1(kN)	M1(kNm)	R2(kN)	M2(kNm)	R1(kN)	M1(kNm)	R2(kN)	M2(kNm)
1,00	5,00	0,00	0,00	1,00	5,00	0,00	0,00
0,98	4,64	0,02	0,36	0,98	4,64	0,02	0,36
0,94	4,29	0,06	0,71	0,94	4,29	0,06	0,71
0,88	3,92	0,12	1,07	0,88	3,92	0,12	1,07
0,80	3,57	0,20	1,43	0,80	3,57	0,20	1,43
0,71	3,21	0,29	1,79	0,71	3,21	0,29	1,79

0,61	2,86	0,39	2,14	0,61	2,86	0,39	2,14
0,50	2,5	0,50	2,5	0,50	2,5	0,50	2,5
0,39	2,14	0,61	2,86	0,39	2,14	0,61	2,86
0,29	1,79	0,71	3,21	0,29	1,79	0,71	3,21
0,20	1,43	0,80	3,57	0,20	1,43	0,80	3,57
0,12	1,07	0,88	3,92	0,12	1,07	0,88	3,92
0,06	0,71	0,94	4,29	0,06	0,71	0,94	4,29
0,02	0,36	0,98	4,64	0,02	0,36	0,98	4,64
0,00	0,00	1,00	5,00	0,00	0,00	1,00	5,00

Nota-se que, adotando as hipóteses do método simplificado como as condições de contorno para o software, é possível obter os mesmos resultados, mostrando a eficiência do método de Courbon/ Engesser.

4 Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio dos Henaldo Santana de Melo e Wilber Humberto Vélez Gómez.

5 Referências bibliográficas

- GÓES, J.N., DIAS, A.A., *Comparação de três métodos de cálculo para pontes de madeira protendida transversalmente*.2005. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural. pp.93. São Carlos
- MARTIN, S. F. J, 1981. *Cálculo de tabuleiros de pontes*. Livraria Ciência e Tecnologia Editora São Paulo. pp.228. São Paulo.
- MELO, H.S., 2015. *Análise comparativa entre métodos analítico e computacional para cálculo de tabuleiro de pontes em grelhas*. Seminário de mestrado em estruturas e construção civil. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, pp.32. Brasília.
- O'CONNOR, C., 1976. *Pontes: Superestruturas.v.2*.Editora da Universidade de São Paulo Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. pp.495. São Paulo.
- QUIROGA, A. F. S., 1983. *Calculo de estructuras de puentes de hormigon*. Editora Rueda. pp.747. Madrid.
- SÜSSEKIND, J. P., 1973. *Curso de análise estrutural: método das deformações – processo de cross.v.3*, Editora Globo. pp.293, São Paulo.
- STUCCHI, F. R., 2006, Notas de aula: Pontes e grandes estruturas, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Estruturas e Fundações, pp.100. São Paulo