

ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESFORÇOS INTERNOS EM VIGAS LONGARINAS UTILIZANDO O MÉTODO DA LINHA DE INFLUÊNCIA E O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Lara de Andrade Kunhen dos Santos

Bergson da Silva Matias

larakandrade@hotmail.com

bergson.sm@gmail.com

Centro Universitário Christus (Unichristus)

Av. Dom Luís, 911, 60160-230, Fortaleza/Ceará, Brasil

Resumo. A determinação do trem-tipo de vigas longarinas em pontes de duas vigas retas utiliza, de forma simplificada, a hipótese de que a rigidez destas vigas é suficiente para que possam ser consideradas como apoios rígidos. Apesar de ser considerada uma metodologia eficiente em muitos casos, não é capaz de abranger todas as possibilidades. Isto porque, em situações onde a rigidez das vigas é baixa, a obtenção do trem-tipo para a viga longarina pode não ser uma metodologia apropriada. Desta maneira, o presente trabalho apresenta um estudo comparativo entre o método de obtenção de esforços nas vigas longarinas através da linha de influência da seção transversal com o Método dos Elementos Finitos (MEF), buscando demonstrar a influência da rigidez nos resultados de esforços internos das vigas e da laje. Neste trabalho, foram analisadas as envoltórias de esforços internos de vigas longarinas em três modelos, utilizando duas metodologias: obtenção do trem-tipo da viga longarina por linha de influência e MEF. Os três modelos foram feitos variando-se a altura das vigas longarinas. Os resultados mostraram que há uma influência direta da rigidez das vigas na distribuição de esforços internos. Além disto, a flexibilidade das vigas acarreta em distribuições distintas de momentos fletores na laje do tabuleiro.

Palavras-chave: Carga móvel, NBR 7188, Estruturas, SAP 2000, Ftool.

1 Introdução

Em pontes de vigas retas, a hipótese de que a rigidez das vigas longarinas é suficiente a fim de considerá-las apoios simples é proposta por autores como Pfeil [1] e Mendes [2]. Por meio de uma analogia da seção transversal da ponte com uma viga isostática, pode-se utilizar o método da linha de influência para a obtenção do trem-tipo nas vigas longarinas. Entretanto, a obtenção dos esforços internos nas vigas longarinas apenas torna-se válida para condições de rigidez suficiente.

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo entre o método de obtenção de esforços nas vigas longarinas através da linha de influência da seção transversal com o Método dos Elementos Finitos (MEF), a fim de se estudar a influência da rigidez nos resultados. Para a primeira análise, é utilizado o programa para análise de pórticos planos Ftool e para a segunda análise o programa de elementos finitos SAP2000, ambos fornecendo graficamente os máximos e mínimos esforços internos gerados na estrutura através do trem-tipo.

2 Análise das vigas longarinas

A forma mais simples de avaliar os esforços nas vigas longarinas é através da utilização da linha de influência. Esta é definida como uma representação gráfica da variação dos efeitos elásticos em uma determinada seção. Considerando-se válido o princípio da superposição destes efeitos, pode-se obter os máximos e mínimos esforços e reações em uma determinada seção dado um conjunto de cargas móveis atuantes na estrutura.

Conforme Mendes [2], a seção transversal de uma ponte constituída por duas vigas principais pode ser simplificada por um modelo de vigas isostáticas biapoiadas, substituindo as vigas principais por apoios simples, como apresentado na Figura 1. Neste método de aproximação, considera-se que as vigas são suficientemente rígidas para serem consideradas apoios simples. Entretanto, dependendo do valor da rigidez das vigas, a utilização desta metodologia pode não ser satisfeita.

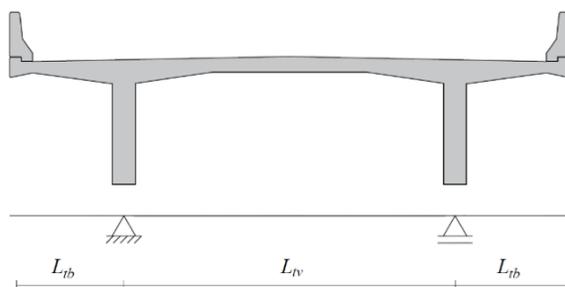


Figura 1. Método de aproximação da seção transversal em uma viga isostática biapoiada

A partir da seção transversal da ponte, utilizando o método de aproximação de uma viga biapoiada, são determinadas as linhas de influência em cada corte e realizada a distribuição de suas respectivas cargas de acordo com a NBR 7188 [3], como ilustrado na Figura 2. As reações de apoio são calculadas através da carga concentrada, que é multiplicada pela ordenada abaixo desta mesma carga, e da carga distribuída, que é obtida pela área. Após o cálculo das reações em cada corte, obtém-se o trem-tipo da viga longarina.

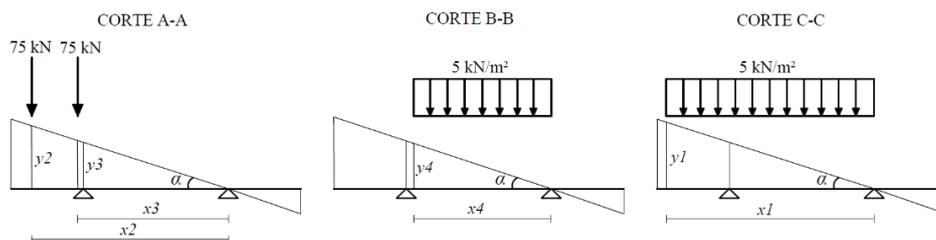


Figura 2. Linhas de influência nos cortes A-A, B-B e C-C

Outra forma de se obter os esforços nas vigas longarinas é através do Método dos Elementos Finitos (Fish e Belytschko [4]). O MEF é um método de análise realizado através da subdivisão da estrutura em um sistema equivalente de elementos menores conectados entre si por nós. Neste método, é desenvolvido um sistema com equações características da análise estrutural para cada elemento, combinando resultados obtidos em cada elemento e fornecendo resultados globais da estrutura.

3 Resultados e discussões

Neste trabalho, foram analisadas as envoltórias de esforços internos de vigas longarinas em três modelos, utilizando duas metodologias: análise bidimensional e MEF. Os três modelos foram feitos variando a altura da viga longarina, a fim de analisar a influência da rigidez nos resultados de esforços internos. Para a primeira análise, foi utilizado o programa Ftool e para a segunda análise o programa SAP2000, ambos fornecendo graficamente os máximos e mínimos esforços internos gerados na estrutura através do trem-tipo.

Foi utilizado o mesmo trem-tipo para os três modelos de pontes, pois seu cálculo independe da altura da viga longarina, sendo consideradas apenas as cargas concentradas RI em seu cálculo. Considerou-se também que o trem-tipo das duas vigas longarinas são iguais, devido à simetria da seção transversal.

O estudo foi realizado para uma ponte constituída de duas vigas longarinas, variando-se a altura destas vigas. As demais dimensões foram mantidas constantes e seus valores são $L_{tb} = 3,15$ m, $L_{tv} = 6,30$ m, $L_v = 20,0$ m e $L_b = 4,0$ m. O perfil longitudinal da ponte é mostrado na Figura 3.

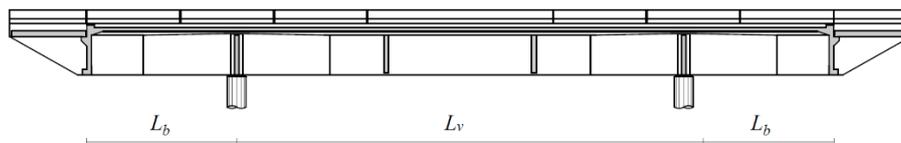


Figura 3. Corte longitudinal da ponte analisada

A envoltória de momentos fletores da viga longarina a partir do trem-tipo 2D foi calculada utilizando-se o programa Ftool. Em seguida, utilizou-se o SAP2000 para a modelagem do trem-tipo 3D e obtenção das envoltórias de momentos fletores para cada um dos casos de altura de viga longarina. Para a laje, adotou-se elementos tipo *shell* com 100 cm de largura. As vigas longarinas foram modeladas como elementos tipo *frame*. Foi utilizada uma malha de 448 elementos do tipo *shell* e 56 elementos do tipo *frame*.

Os resultados obtidos mostram que o aumento da altura da viga longarina resulta em respostas mais rígidas, como apresentado na Figura 4. À medida que as vigas longarinas crescem, o valor da envoltória aproxima-se do valor obtido pelo Ftool. Observa-se que as envoltórias de esforços obtidas nos modelos 3D são sempre menores do que aquelas obtidas com o modelo 2D.

Ainda com base nestes resultados, observa-se que o modelo 2D, nas regiões próximas aos apoios, apresenta resultados desfavoráveis à segurança. Estes resultados mostram que a análise 3D se torna importante para o correto dimensionamento das vigas longarinas.

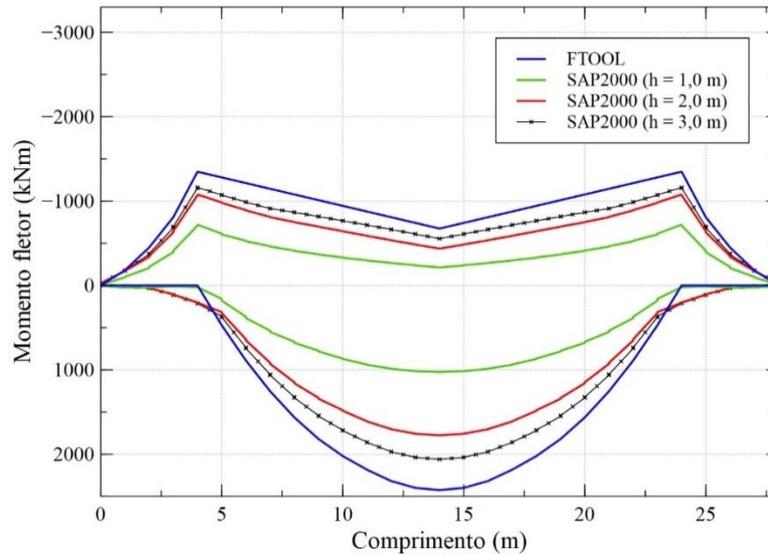
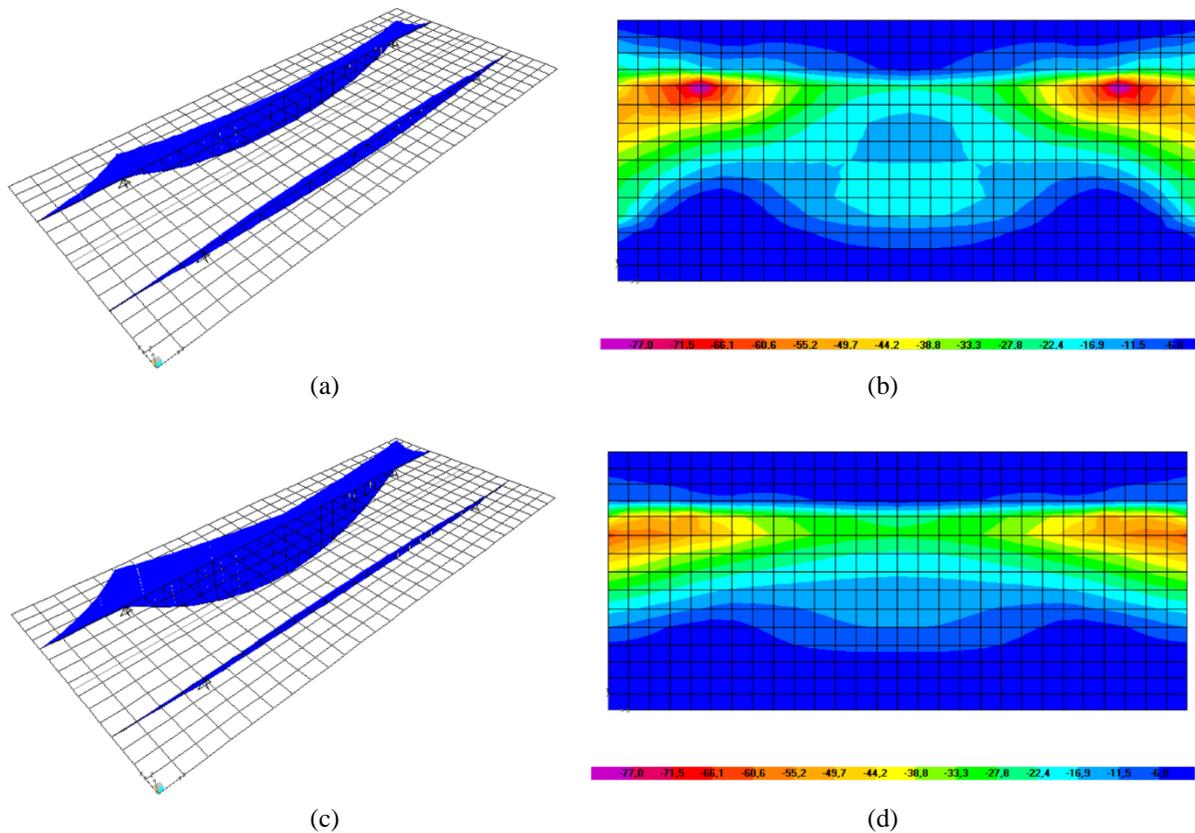


Figura 4. Envoltórias de momentos fletores devidos às cargas móveis obtidas através do Ftool e do SAP2000

Os resultados obtidos para os três modelos analisados no SAP2000 estão apresentados na Figura 5. Observa-se que os momentos fletores para o modelo 1 tendem a se distribuir mais entre as duas vigas. À medida que se aumenta a rigidez das vigas, nota-se que os momentos fletores se concentram cada vez mais na viga longarina da esquerda. Os momentos fletores máximos negativos são mostrados para cada modelo. Também pode se observar que com o aumento da rigidez das vigas longarinas, os momentos fletores na laje tendem a se concentrar sobre uma das vigas longarinas.



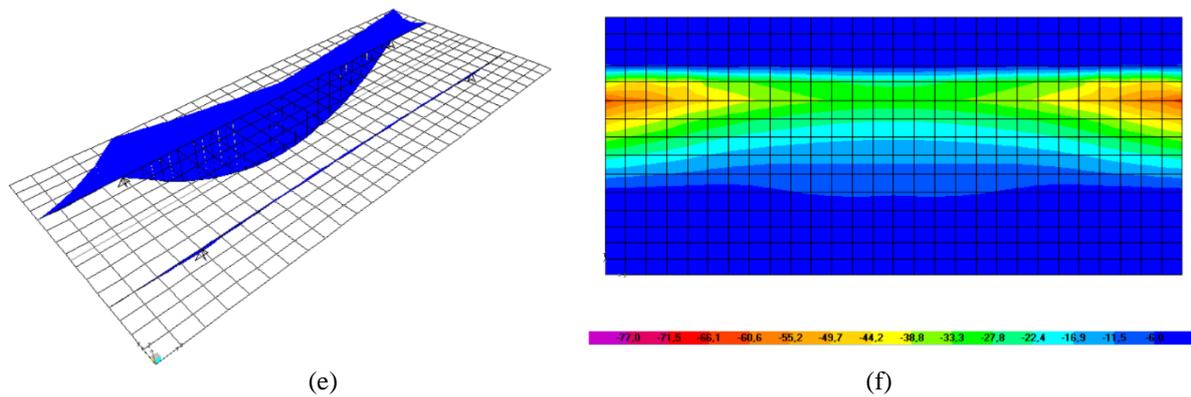


Figura 5. Distribuição de esforços nos modelos do SAP2000: envoltórias de momentos fletores nas vigas longarinas nos (a) modelo 1 ($h = 1,0$ m) (c) modelo 2 ($h = 2,0$ m) e (e) modelo 3 ($h = 3,0$ m); momentos máximos negativos na laje nos (b) modelo 1, (d) modelo 2 e (f) modelo 3

4 Considerações finais

A partir deste trabalho, é demonstrado a influência direta da rigidez das vigas longarinas nos resultados de esforços internos obtidos. Através da comparação dos modelos, mostra-se que a rigidez das vigas longarinas é um fator importante para a redistribuição de esforços na estrutura. Conforme o aumento da rigidez das vigas, é observado que os resultados obtidos no modelo 3D tendem a se aproximar aos resultados do modelo 2D. O modelo 2D, para a maioria das seções das vigas, apresenta valores de momentos fletores favoráveis a segurança. Entretanto, para casos próximos aos apoios das vigas, este modelo apresenta valores desfavoráveis.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Centro Universitário Christus pelo suporte no desenvolvimento das atividades em sala de aula.

Referências

- [1] W. Pfeil. *Pontes em Concreto Armado: Elementos de Projeto, Solicitações, Superestrutura*. Vol 1. 3ª edição. LTC, 1979.
- [2] L. C. Mendes. *Pontes*. 2ª edição. Eduff, 2017.
- [3] ABNT. *NBR 7188: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos e Outras Estruturas*. Rio de Janeiro, 2013.
- [4] J. Fish e T. Belytschko. *Um Primeiro Curso em Elementos Finitos*. Livros Técnicos e Científicos, 2009.
- [5] TECGRAF. *Ftool. Two-Dimensional Frame Analysis Tool*. v. 4.00.04, Rio de Janeiro, 2018.
- [6] COMPUTERS AND STRUCTURES. *SAP2000. Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures*. v. 14. Berkeley, California, 2009.