

Estudo Comparativo entre o Método de Engesser-Courbon e Modelos Computacionais em Pontes em Vigas de Concreto Armado

Comparative Study between the Engesser-Courbon Method and Computational Models on Bridges in Reinforced Concrete Beams

Felipe Gomes da Silva (1); Almir Amorim Andrade (2); Maria de Lourdes Teixeira Moreira (3)

(1) *Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Piauí*

(2) *Professor Doutor, Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Piauí*

(3) *Professora Doutora, Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Piauí*

Rua David Caldas, 2958, Pio XII, Teresina – Piauí. Email: engfelipeufpi@gmail.com. (86)99829 - 9900

Resumo

Os recursos computacionais nem sempre estiveram presentes como ferramenta para os engenheiros. Uma forma de contornar isso foi criar soluções analíticas que fossem práticas e fiéis aos fenômenos físicos, como o método de Engesser-Courbon, utilizado para o cálculo de pontes. As análises feitas computacionalmente através de softwares, como o SAP2000, permitem um processamento mais robusto. Este estudo visou avaliar as discrepâncias existentes, ou não, entre as soluções analíticas e as soluções computacionais. Para realização do trabalho, utilizaram-se dois modelos de pontes com seções transversais distintas ambas com 10, 20, 30 e 40 metros de vão, todas elas biapoiadas e sem transversinas. Essas pontes foram modeladas no programa SAP2000 de duas formas: uma na extensão SAP/Bridge, que gera um modelo em 3D da estrutura, e outra como um modelo de barras e cascas. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos pelo método de Courbon e mostraram que este apresenta a distribuição da carga mais desfavorável às vigas. Dentre os modelos computacionais, aquele no qual se utilizou o modelo em 3D foi o que mais se aproximou do método manual. Entretanto, para as pontes com vãos menores, os métodos nos quais se utilizou o SAP2000 apresentaram seus coeficientes de distribuição, para qualquer posição da carga sobre o tabuleiro, praticamente iguais àqueles calculados por Courbon. O mesmo foi verificado quando, independente do vão, o carregamento foi aplicado próximo ao centro elástico da seção transversal.

Palavras-Chave: pontes. método de Engesser-Courbon. modelos computacionais.

Abstract

The computational resources were not always present as a tool for the engineers. One way to get around this was to create analytical solutions that were practical and faithful to physical phenomena, such as the Engesser - Courbon method, used for the calculation of bridges. Analyzes made computationally through softwares, such as SAP2000, allow for more robust processing. This study aimed at evaluating the discrepancies existing between analytical solutions and computational solutions. In order to carry out the work, two models of bridges with different cross sections were used, both with 10, 20, 30 and 40 meters of span, all of them double-based and without transverse beams. These bridges were modeled in the SAP2000 program in two ways: one in the SAP / Bridge extension, which generates a 3D model of the structure, and another as a bar and shell model. The results were compared with those obtained by the Courbon method and showed that this one presents the distribution of the load most unfavorable to the beams. Among the computational models, the 3D model was the one that most approached the manual method. However, for bridges with shorter spans, the computational methods presented their distribution coefficients, for any position of the load on the board, practically equal to those calculated by Courbon. The same was verified when, regardless of span, the loading was applied near the elastic center of the cross section.

Keywords: bridges. Engesser-Courbon method. computational models.

1 Introdução

Sabe-se que os recursos computacionais nem sempre estiveram presentes como ferramenta para os engenheiros. Uma forma de contornar isso foi criar soluções analíticas que fossem práticas e fiéis aos fenômenos físicos, como o método de Engesser – Courbon, utilizado para o cálculo de pontes. Com o advento de novas ferramentas, tais como elementos finitos e diferenças finitas, é possível obter um estudo mais fiel do comportamento real da estrutura de pontes.

As análises feitas computacionalmente, através de softwares que se utilizam dessas ferramentas permitem um processamento mais robusto e que analisa a estrutura como um todo. No caso do SAP2000, a partir da entrada de dados de forma fiel e precisa, é possível obter uma análise com um grau de complexidade maior, inclusive aspectos que são desprezados no cálculo manual.

Este estudo visou avaliar as discrepâncias existentes, ou não, entre as soluções analíticas e as soluções computacionais, permitindo, assim, detectar os pontos fortes e fracos do método manual e em que situações cada um desses pontos é encontrado.

2 Efeito da carga móvel sobre as longarinas

Serão apresentados a seguir dois métodos de cálculos da distribuição do carregamento móvel aplicado sobre o tabuleiro entre as longarinas de pontes em vigas de concreto armado: método de Engesser-Courbon e o método dos elementos finitos. Também, será apresentada uma visão geral a respeito do processo de modelagem de pontes no software SAP2000. Além disso, serão mostrados os resultados de alguns outros estudos comparativos entre o método de cálculo manual e os modelos gerados pelo SAP2000.

2.1 Método de Engesser-Courbon

Em 1940, Courbon desenvolveu o método dos coeficientes de distribuição transversal para grelhas constituídas por transversinas com rigidez infinita (SAN MARTIN, 1981). Este método também é atribuído a Engesser, sendo assim conhecido como “Método de Engesser – Courbon”. De acordo com STUCCHI (2006), este método parte de premissas simplificadoras que ajudam a minimizar as operações matemáticas e fornecem resultados relativamente precisos e que por isso é o método mais difundido no meio técnico.

STUCCHI (2006) também afirma que o método de Engesser – Courbon tem a hipótese básica que as transversinas são consideradas com rigidez infinita à flexão, desprezando-se assim o efeito de torção nas vigas. Por esta razão, o eixo da transversina se mantém reto após a deformação. Sendo que o problema fundamental do método consiste em determinar as reações para uma carga P , atuando na transversina e supondo as longarinas igualmente espaçadas. Nos pontos de cruzamento entre as longarinas e as transversinas não carregadas, nenhuma reação é considerada. O tabuleiro se comporta

como se não possuísse transversinas, proporcionalmente a um coeficiente de distribuição transversal.

Em outras palavras, ALBUQUERQUE (2014) afirma que o método de Engesser – Courbon despreza as deformações das transversinas, ou seja, o comportamento mecânico do conjunto à flexão transversal, na região das transversinas, é o de uma viga se deslocando como corpo rígido sobre apoios elásticos, como ilustra a figura 1.

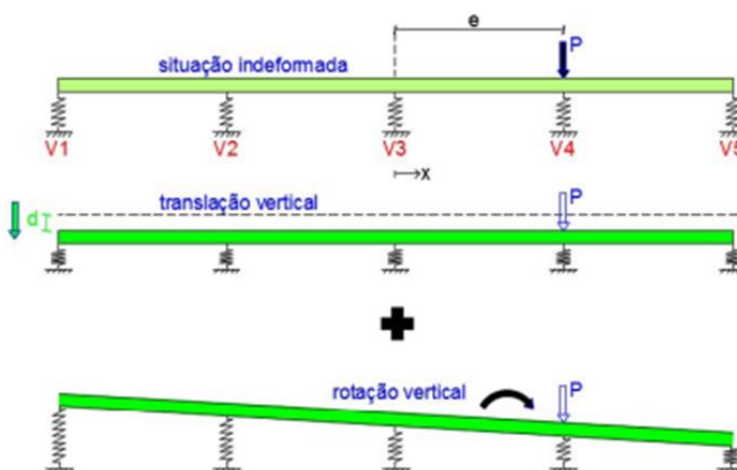


Figura 1 - Deslocamento de corpo rígido da transversina (JOVEM et al. (2016))

STUCCHI (2006) ressalta que para aplicação do processo de Engesser – Courbon algumas condições devem ser respeitadas, a saber:

- A altura das transversinas deve possuir ordem de grandeza similar à das longarinas;
- As espessuras das longarinas e das lajes devem ser pequenas;
- O tabuleiro é considerado como uma malha de vigas longitudinais e transversais (longarinas e transversinas, respectivamente).

Ainda de acordo com STUCCHI (2006), essas condições permitem formular as seguintes hipóteses:

- As transversinas são infinitamente rígidas;
- A torção uniforme é desprezível, ou seja, a reação mútua nos cruzamentos das vigas longitudinais com as transversais é unicamente uma força vertical;
- O trabalho longitudinal das lajes também é desprezível;
- Admitem-se ainda válidas para as longarinas as hipóteses da Resistência dos Materiais:

- As longarinas são barras ($b, h \ll l$);
- O material é homogêneo e isótropo;

- É válida a lei de Hooke que é reproduzida ao utilizarem-se os apoios como molas de comportamento elástico linear;
- É válida a hipótese de Navier, a qual afirma que as seções transversais, que são planas e perpendiculares ao eixo antes da deformação, continuam, após a deformação, planas e perpendiculares ao eixo encurvado, traduzida ao se considerar a transversina com rigidez infinita;
- Os deslocamentos são pequenos.

Assim, com base nestas hipóteses, as transversinas são admitidas como barras rígidas, permanecendo seus eixos retilíneos após a deformação do conjunto, como ilustrado na figura 2.

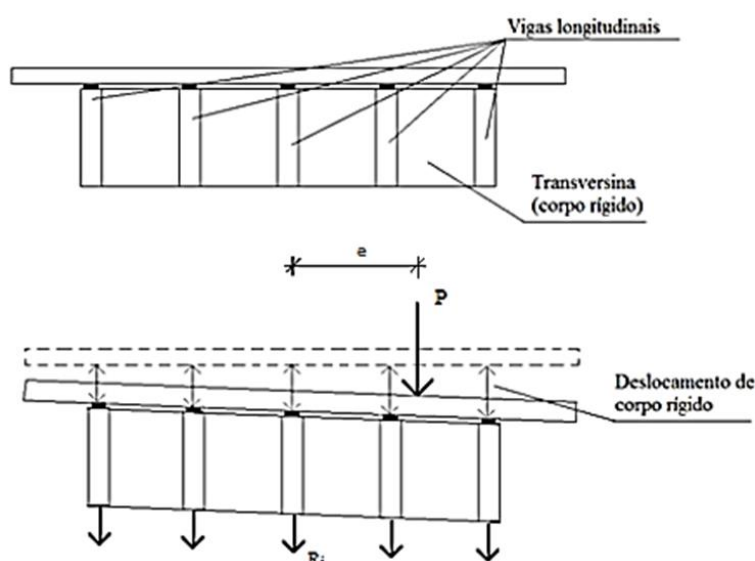


Figura 2 – Esquema ilustrativo das considerações do método de Engesser-Courbon (BATISTA (2013))

Observa-se que a posição da força P tem como referência o centro da seção transversal. Caso a carga esteja aplicada neste centro, todas as vigas possuirão a mesma deformação e a rotação será zero (pois as transversinas são rígidas). Este ponto é conhecido como centro elástico da peça.

A expressão que define a parcela de carga (coeficiente de distribuição) de cada viga é dada pela Equação 1:

$$r_i = \frac{P}{n} + \frac{P \cdot e \cdot x_i}{\sum x_i^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

r_i é a parcela de carga da viga longitudinal i

P é a carga total

e é a excentricidade da carga

n é o número de longarinas

x_i é a distância da viga i em relação ao centro elástico da seção transversal

2.2 Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos (MEF) é um procedimento numérico aproximado utilizado para análise estrutural. Segundo CORREIA (2015), no processo na análise estrutural, cada elemento obtido na discretização do meio contínuo possui um determinado número de nós pelos quais podem ser definidos seus deslocamentos, que são aproximados no interior do elemento por funções de interpolação polinomiais. Os nós se ligam a elementos vizinhos e através destes é feita a compatibilização das deformações dando continuidade entre elementos. Ainda conforme o autor, definindo-se matematicamente o comportamento de cada elemento é possível formar-se um sistema de equações no qual os deslocamentos de toda a estrutura são obtidos e por meio destes os esforços.

No que se refere às pontes, como já foi visto, as lajes, vigas longarinas e transversinas, são elementos estruturais que compõem o tabuleiro de uma ponte. A análise estrutural desse conjunto de elementos resulta em um problema tridimensional. Através de métodos aproximados é possível transformar esse problema em bidimensional, admitindo-se uma linha de influência de reações, responsável por distribuir as cargas móveis transversalmente entre as diversas longarinas do sistema estrutural, como o método de Courbon.

A existência de vigas transversinas provoca um aumento de rigidez no tabuleiro e permite que a distribuição de cargas possa ser realizada pelo método de Courbon. Com a evolução dos métodos construtivos, a laje e as vigas longarinas deixaram de ser construídas in loco. Essa mudança reflete numa maior facilidade de execução e na redução de custos, assim como supressão de vigas transversinas.

De acordo com STUCHI (2006) as pontes sem transversinas são menos rígidas no sentido transversal da laje, o que impossibilita a utilização do método de Courbon ou compromete os resultados obtidos através do seu uso. Nessa situação, na busca de resultados mais satisfatórios, que leve em consideração a flexibilidade das lajes tem-se o método de elementos finitos.

Resumidamente, conforme STUCHI (2006), a obtenção das parcelas das cargas que atuam nas vigas decorrentes da distribuição de uma carga aplicada sobre o tabuleiro pelo método de elementos finitos baseia-se em um modelo que considera além dos esforços verticais, os esforços de torção, estes desprezados pelo método de Courbon.

2.3 O programa SAP2000

O SAP2000 é um programa internacionalmente conhecido destinado à modelagem e análise de estruturas pelo método dos elementos finitos. Trata-se de uma ferramenta

importante que permite a análise de diversos tipos de estruturas modeladas com elementos de barra, superfície, sólidos, estado plano de tensão ou de deformação, cada um com diferentes opções de formulação, bem como, a análise de estruturas com não linearidades física e geométrica e estruturas submetidas a esforços dinâmicos (CORREIA, 2015).

A modelagem das estruturas de pontes no software pode ser feita de duas formas: através de um modelo com elementos de barra e casca (analogia de grelha) ou de um modelo de elementos finitos sólidos, por meio de uma extensão do programa, o SAP2000/Bridge.

3 Metodologia

Com a finalidade de avaliar as discrepâncias existentes, ou não, entre as soluções analíticas e as soluções computacionais, realizou-se uma comparação referente à distribuição transversal da carga móvel aplicada sobre um modelo genérico de ponte em vigas de concreto armado com duas longarinas biapoiadas e sem transversinas. Os modelos computacionais foram realizados no programa SAP2000 através das duas ferramentas disponíveis no programa: modelo de barras e cascas (figura 3) e o modelo de elementos finitos sólidos (figura 4).

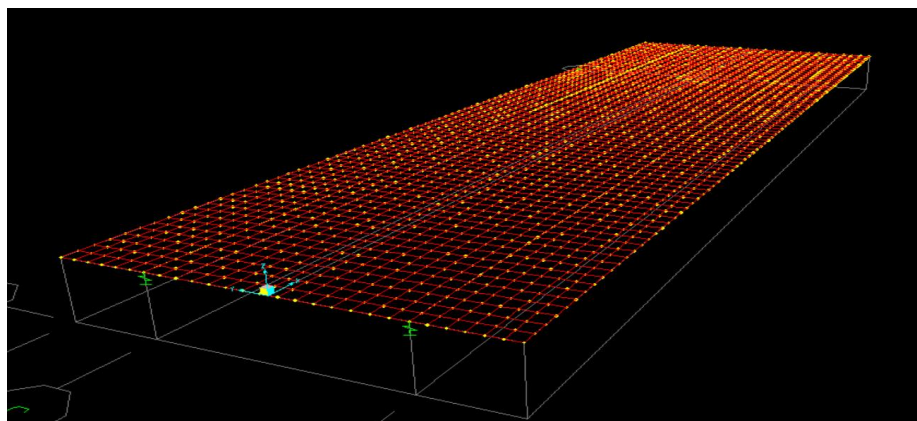


Figura 3 – Modelo de barras e casca criado no SAP2000 (SILVA (2016))

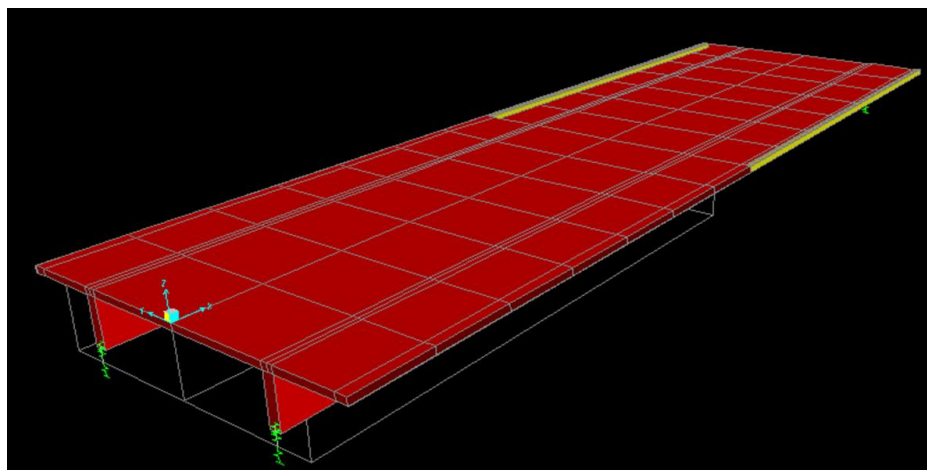


Figura 4 – Modelo de ponte em vigas gerado pelo bridge modeler do SAP2000 (SILVA (2016))

A seção transversal da ponte utilizada nas análises é mostrada na figura 5. Os vãos das longarinas utilizadas no estudo foram: 10, 20, 30 e 40 metros.

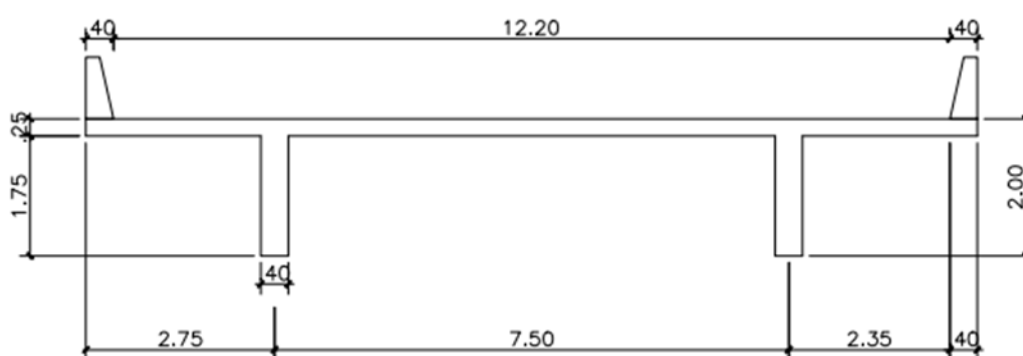


Figura 5 – Seção transversal da ponte utilizada nas análises (ROSSIGALI et al. (2015))

Primeiramente, foi aplicada uma carga uniformemente distribuída com o valor de 1 kN/m em várias posições sobre o tabuleiro em cada modelo, desconsiderando a existência do guarda-rodas para comparar a distribuição da carga entre as vigas resultante de cada um dos métodos. O cálculo dos coeficientes de distribuição transversal pelo método de Engesser – Courbon foi feito utilizando-se da equação 1, já os valores percentuais de carga absorvido por cada longarina, a partir dos resultados fornecidos pelo software, foram obtidos pela equação 2. Além disso, foram comparados os resultados de momentos fletores máximos calculados a partir dos três métodos (Engesser – Courbon, modelo de barras e cascas e modelo do SAP2000/Bridge) nas longarinas ao se aplicar o TB450 completo sobre o tabuleiro dos dois grupos de pontes, da forma como prescreve a norma NBR7188/2013.

$$r_i(\%) = \frac{m_i}{\sum_1^n m_i} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, m_i é o momento fletor em cada uma das n longarinas provocado pela carga uniformemente distribuída de 1 kN/m.

4 Resultados e discussão

4.1 Distribuição transversal da carga móvel

Nesta primeira abordagem foi aplicada uma carga uniformemente distribuída de 1 kN/m sobre diversas posições do tabuleiro conforme a figura 6.

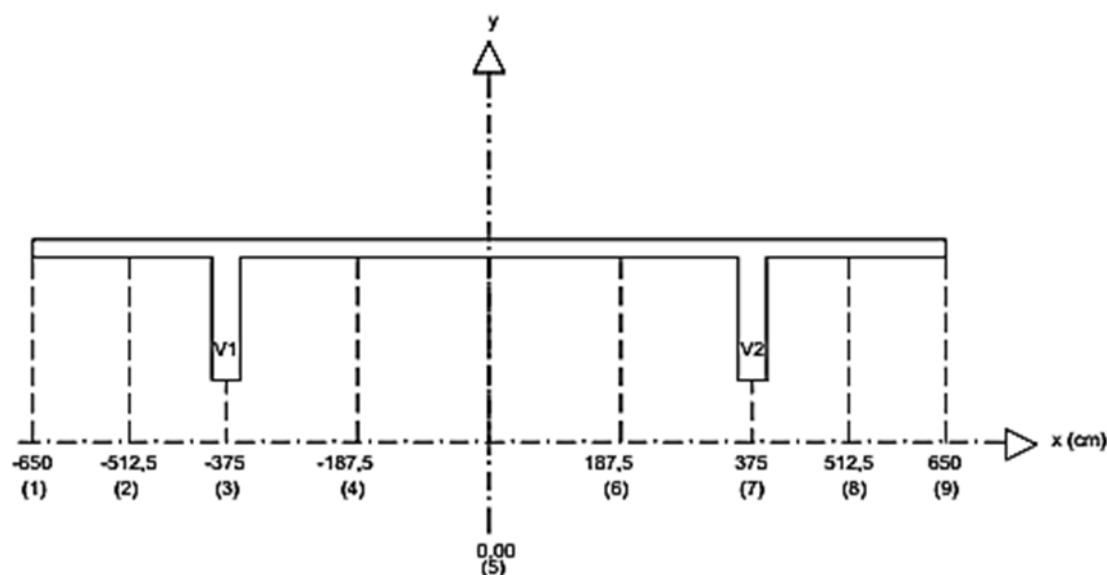


Figura 6 – Seções de posicionamento da carga uniformemente distribuída (SILVA (2016))

As figuras de 7 a 10 mostram os gráficos que ilustram a sobreposição das curvas de distribuição transversal da carga obtidas pelos diferentes métodos. Os resultados mostrados são referentes às parcelas de cargas para a longarina V1.

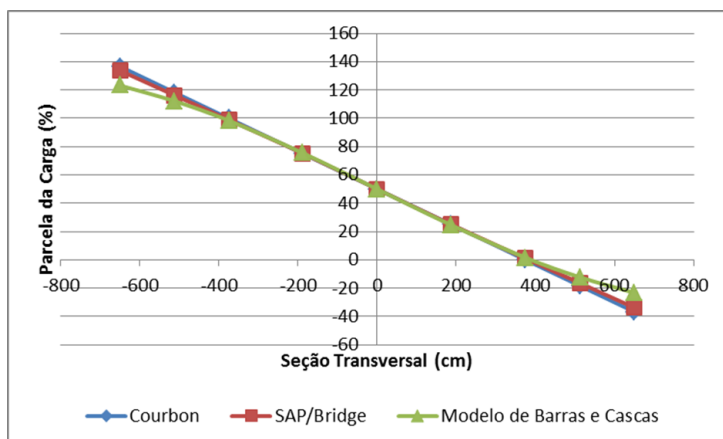


Figura 7 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 10 metros (SILVA (2016))

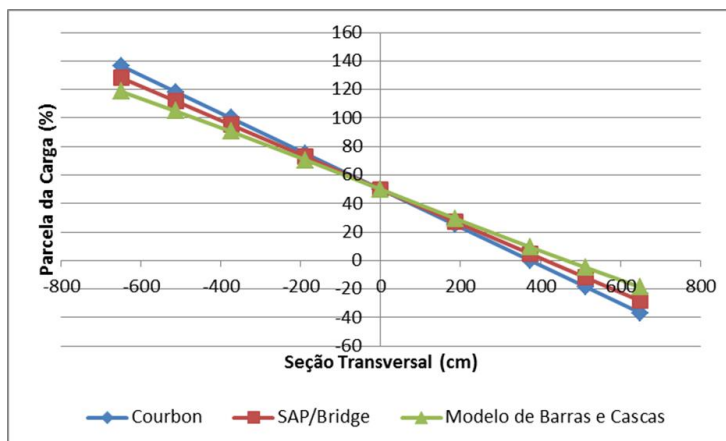


Figura 8 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 20 metros (SILVA (2016))

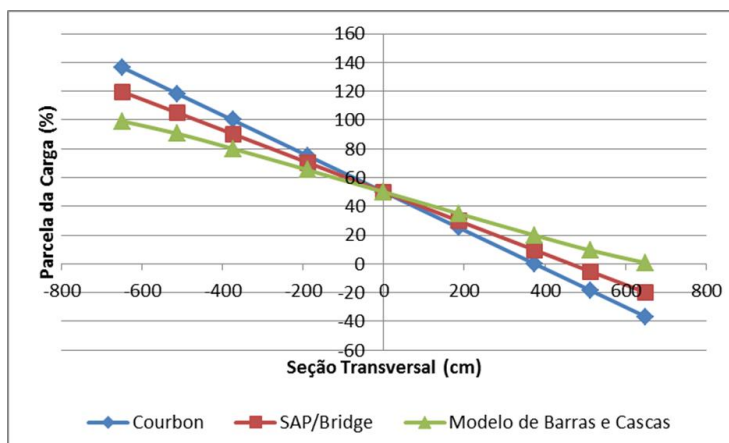


Figura 9 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 30 metros (SILVA (2016))

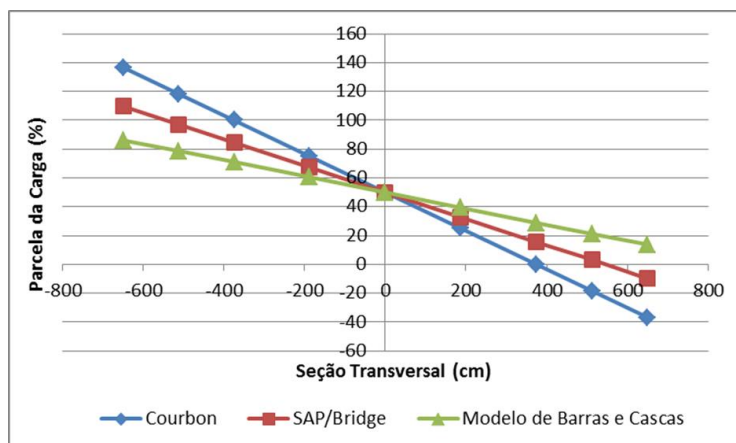


Figura 10 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 40 metros (SILVA (2016))

Pela análise dos gráficos, pode-se perceber que à medida que se aumenta o vão, mais distantes se apresentam os resultados obtidos pelos modelos criados no SAP2000 daqueles calculados pelo método de Engesser-Courbon. Em todos os casos analisados, esse último apresentou, como era esperado, os resultados de distribuição da carga mais desfavoráveis às vigas, isso por causa das diversas hipóteses simplificadoras levadas em consideração para a utilização do método que poderiam gerar um grau de incerteza maior da confiabilidade dos resultados por ele produzidos.

Dentre os métodos computacionais, aquele no qual se utilizou o Bridge Modeler, que gera um modelo de ponte em 3D, foi o que mais se aproximou do método de Courbon, apresentando uma diferença máxima de 24% entre os seus coeficientes de distribuição, que ocorre na ponte com vão de 40 metros estando a carga no extremo do balanço da seção transversal. Por outro lado, o modelo de barras e cascas, para a mesma situação que provoca a maior divergência do método de Courbon com o modelo 3D, apresentou um coeficiente de distribuição 58% menor que aquele calculado pelo método manual.

Entretanto, para as pontes com vãos menores, os métodos nos quais se utilizou os modelos produzidos no SAP2000 apresentaram seus coeficientes de distribuição, para qualquer posição da carga sobre o tabuleiro, praticamente iguais àqueles calculados pelo método de Engesser-Courbon.

Esse fato pode estar ligado à rigidez da ponte, pois, como se sabe, o método de Engesser-Courbon considera a existência de vigas transversinas com rigidezes infinitas e que isso, consequentemente, de acordo com ANDRADE (2016) aumenta a rigidez global da estrutura, ou seja, as rigidezes das transversinas são somadas a rigidez do tabuleiro e agregam mais um elemento para transferência de carga entre as longarinas. Assim, como a rigidez da ponte é inversamente proporcional ao vão, nos modelos computacionais, à medida que se diminui o vão se eleva a rigidez da estrutura e, consequentemente, as parcelas de distribuição da carga tendem a se aproximarem daquelas obtidas por Engesser-Courbon, exatamente porque esse método considera essa rigidez elevada, ou seja, com o decréscimo do vão, os modelos do SAP2000 apresentam suas características

cada vez mais próximas das condições pré-estabelecidas para utilização do método manual.

Outra razão pode estar relacionada ao fato de o método de elementos finitos, utilizado pelo SAP2000 para o cálculo dos esforços na ponte, diferente de Courbon, levar em consideração a parcela da torção na composição da carga que atua sobre as longarinas. Por isso, ao se considerar, por exemplo, uma carga que atua no tabuleiro da ponte no eixo de uma longarina, pelo método de Courbon, essa carga seria transferida integralmente para essa longarina. Ao se considerar a torção, entretanto, que ocorre devido à excentricidade da carga com relação ao centro elástico da seção transversal, a longarina oposta receberia uma parcela dessa carga.

Por outro lado, ainda observando os gráficos, percebeu-se que, independente do vão e para ambas as seções transversais, ao se aplicar a carga no centro elástico da seção transversal da ponte, os coeficientes de distribuição transversal de todos métodos se igualam, assim como foi observado por FROTA (2014).

Como não existe excentricidade, e por isso θ é igual à zero, nenhuma viga está sujeita aos efeitos de torção, ou seja, a torção, nessa situação, pode ser considerada nula. E, como foi dito anteriormente, essa é uma das condições simplificadoras admitidas no método de Engesser-Courbon, consequentemente, nos dois métodos computacionais, ao se aplicar a carga na posição do centro elástico, os dois modelos atendem a essa hipótese proposta por Courbon e, por isso, os coeficientes de distribuição se igualam àquele método e valem 50%.

Não apenas isso, à medida que a carga é aplicada mais próxima desse ponto, menor será a excentricidade, consequentemente, menor será o efeito da torção sobre as vigas e, finalmente, mais próximo se apresentaram os coeficientes de distribuição obtidos pelos três métodos.

4.2 Comparação dos momentos fletores provocados pelo TB450

Finalmente, nessa última abordagem de comparação entre os métodos, calculou-se o momento no meio do vão da longarina V1 aplicando-se à laje o trem – tipo TB450 (veículo – principal + multidão) sem o coeficiente de impacto. O posicionamento e a distribuição desse carregamento foram realizados como indica a norma NBR 7188/2013 de modo a provocar a pior solicitação possível na longarina que se deseja calcular, ou seja, posicionou-se a primeira roda do veículo-principal no guarda-rodas do mesmo lado da viga que se deseja calcular (no caso da longarina V1, do lado esquerdo) e se distribuiu a carga de multidão no restante do tabuleiro até o eixo da longarina oposta.

Os resultados que apresentam essa comparação estão mostrados na tabela 1. A comparação é feita através da diferença percentual entre o momento no meio do vão obtido pelo método de Courbon pelo momento no meio do vão obtido por um dos modelos do SAP2000.

Tabela 1 – Momentos fletores no meio do vão da longarina V1 para os diferentes modelos

MÉTODO	VÃO (m)	Mf, máx (kN.m)	DIFERENÇA (%)
Courbon	10	1315,62	0,00
SAP/Bridge		1251,07	-5,16
Modelo de barras e cascas		1191,09	-10,46
Courbon	20	3640,09	0,00
SAP/Bridge		3339,82	-8,99
Modelo de barras e cascas		3119,29	-16,70
Courbon	30	6772,32	0,00
SAP/Bridge		6193,61	-9,34
Modelo de barras e cascas		5436,58	-24,57
Courbon	40	10712,30	0,00
SAP/Bridge		9476,15	-13,54
Modelo de barras e cascas		8120,05	-31,92

Os resultados mostrados na tabela 1 corroboram a relação de proximidade entre os métodos computacionais com o método de Courbon com a variação do vão da ponte pelas razões já explicadas anteriormente.

Verificou-se mais uma vez que o modelo de barras e cascas é o que mais se distancia do método manual de Courbon no que se refere ao momento fletor no meio do vão, chegando a atingir uma diferença de quase 32% para 40 metros de vão. Em contrapartida, a diferença entre a soma das reações nos apoios das duas longarinas é praticamente nula, o que, segundo ANDRADE (2016) era esperado já que se está utilizando o mesmo carregamento em todos os métodos.

O mesmo se verifica na comparação dos resultados obtidos para as pontes modeladas no Bridge Modeler, em que a diferença máxima entre os momentos fletores no meio do vão é próxima de 13%, mas no que se refere às reações, essa diferença é praticamente nula. Portanto, mais uma vez verificou-se que esse método computacional é o que mais se aproxima do método de Engesser-Courbon.

5 Conclusão

O objetivo deste trabalho foi o estudo da distribuição transversal da carga aplicada sobre o tabuleiro das pontes quando esta é calculada pelo método manual consagrado de Engesser-Courbon e por dois diferentes modelos criados no software SAP2000: um no Bridge Modeler, que gera um modelo em 3D da ponte e outro como um modelo de barras e cascas. A partir dos resultados apresentados, concluiu-se que o modelo 3D se aproximou mais do método de Engesser-Courbon, que para qualquer situação apresentou uma distribuição da carga mais desfavorável para as longarinas, estando assim a favor da segurança.

Foi verificado, também, a partir deste estudo, que o parcelamento da carga entre as vigas, através dos modelos computacionais, varia em função do vão e da posição de aplicação da carga sobre o tabuleiro da ponte. Com relação ao vão, quanto menor for o valor deste, para uma mesma posição da carga, mais desfavorável será a reação do tabuleiro sobre as longarinas, ou seja, mais os modelos do SAP2000 se aproximam do método de cálculo manual. E, no que se refere à posição da carga sobre o tabuleiro, independente do vão, à medida que essa se aproxima do centro elástico da ponte, mais as parcelas da carga divididas entre as vigas, calculadas pelos três métodos propostos, se aproximam entre si.

6 Referências

ALBUQUERQUE, A.A.A. **Implementação de Elementos Finitos de Barra e Placa para a Análise de Esforços em Tabuleiros de Pontes Por Meio de Superfícies de Influência**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-28072014-093844/en.php>>. Acesso em: 30 nov. 2016

ANDRADE, Almir Amorim. **Notas de Aula da Disciplina Pontes de Concreto Armado**. Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**, 2013.

BATISTA, B.S.C. **Estudo comparativo de uma ponte com entre eixos de vigas constante e variável**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrrj.br/monografias/monopoli10006584.pdf>> . Acesso em: 01 out. 2016.

CORREIA, Thiago da Silva Nunes. **Modelagem de estruturas de Pontes no programa SAP2000N: Principais recomendações da AASHTO**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Estruturas) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/15180327/Modelagem_de_Estruturas_de_Pontes_no_Programa_Sap_2000N_Principais_Recomenda%C3%A7oes_da_AASHTO>. Acesso em: 25 abr. 2016.

FROTA, L.E.C. **Estudo comparativo entre o método de Courbon e modelos computacionais para análise de tabuleiros de pontes**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://bdm.unb.br/handle/10483/13507>>. Acesso em: 12 out. 2016.

SILVA, Felipe Gomes da. **Pontes em vigas de concreto armado: estudo comparativo**



Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2017
Outubro-Novembro / 2017



@ 2017 - IBRACON - ISSN 2175-8182

entre o método de Courbon e modelos computacionais e verificação dos efeitos das mudanças no coeficiente de impacto da NBR 7188/2013. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

STUCCHI, F. R. **Notas de Aula da Disciplina de Pontes e Grandes Estruturas.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.