



Análise Comparativa de Critérios de Normas para os Efeitos da Carga Móvel em Pontes Rodoviárias em Estrutura Mista Aço-Concreto

Carlos Henrique Leal Viana¹

¹PCA Engenharia Ltda. /carloshenriquelv@hotmail.com

Resumo

As cargas móveis atuantes nas estruturas de pontes rodoviárias são ações provenientes do tráfego de veículos. Para representar os efeitos da carga móvel sobre a estrutura de uma ponte rodoviária, tanto a Norma Brasileira NBR 7188:2013 quanto a Norma Americana AASTHO-LRFD:2012 definem valores característicos dessas cargas para o dimensionamento e verificação dessas estruturas. Diante das abordagens prescritas nestas normas, este trabalho vem apresentar uma análise comparativa dos critérios adotados para os efeitos provenientes de cargas móveis. Para isto, propõe-se a elaboração de dois modelos de ponte rodoviária em estrutura mista aço-concreto com as mesmas propriedades geométricas e materiais, porém com as condições de carregamento das referidas normas para posterior análise dos resultados. De acordo com a análise realizada, foi possível constatar que os critérios adotados pelas normas foram prescritos para melhor simular as cargas móveis conforme a evolução do tráfego que abrange as cargas máximas e distribuição dos eixos dos veículos e densidade de tráfego.

Palavras-chave

Pontes rodoviárias; estrutura mista aço-concreto; carga móvel; modelos; comparativo.

Introdução

A crescente evolução da indústria de transporte aliado ao progresso urbanístico das cidades tornou-se um tema de estudo em diversos países, em consequência das obras de arte especiais até então não serem projetadas para as elevadas cargas atualmente transportadas.

No Brasil, um grande desenvolvimento da malha rodoviária se deu inicialmente nas décadas de 1960 e 1970. Neste período, as pontes foram projetadas, em sua grande maioria, com cargas dos trens-tipo de classes 12, 24 e 36 da então válida Norma NB-6 de 1943, e posteriormente substituída pela NB-6 de 1960, sendo que esta última se estendeu até 1984, quando a mesma foi revisada.

Tanto a NB-6:1960 quanto a NBR 7188:1984 subdividem as pontes em classes de acordo com a carga máxima a ser permitida para o tráfego. A partir da publicação da NBR 7188:1984, as classes 24 e 36 foram substituídas pelas classes 30 e 45, respectivamente. A carga máxima para as rodovias foi elevada para 450kN e a classe 12 foi mantida. (SANTOS, 2003)

O comportamento móvel em ambas as normas acima referidas é simulado a um trem-tipo hipotético, de peso e geometria estabelecidos pelas normas, de acordo com a classe da obra. Além disso, é prevista uma carga uniformemente distribuída por unidade de área, atuando no tabuleiro e representando a passagem de veículos leves ou de multidão. (SANTOS, 2003)

Assim, foram adotadas para o projeto de pontes rodoviárias as classes 12, 30 e 45 para a NBR 7188:1984. Já em 2013, esta Norma foi revisada considerando a evolução do tráfego, a magnitude das ações acidentais e, conseqüentemente, as anomalias observadas em diversas pontes e viadutos.

O aumento das cargas transportadas pelos veículos trata-se de tema global presente não só nas rodovias brasileiras, mas também em outros países como Estados Unidos e países europeus.

Diante disso, as normas americanas, sobretudo a Norma AASTHO-LRFD da *American Association of State Highway and Transportation Officials*, vêm ao longo do tempo sendo revisadas e atualizadas para atender à crescente demanda de cargas nas rodovias.

NBR 7188: 2013

A atual Norma Brasileira que define os valores característicos básicos das cargas móveis rodoviárias de veículos sobre pneus e ações de pedestres em projeto de ponte é a NBR 7188:2013 (Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas).

Segundo a Norma 7187:2003, as ações são as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas e classificam-se em: permanentes, variáveis e excepcionais.

Dentre as cargas verticais que atuam sobre a estrutura de uma ponte tem-se a ação variável proveniente do tráfego de veículos e pedestres.

Conhecida como trem-tipo, a carga móvel é composta por um conjunto de carregamentos provenientes da carga de um veículo típico juntamente com as cargas uniformemente distribuídas (carregamento de multidão).

No cálculo da ação das cargas móveis sobre os elementos de uma ponte, é importante o chamado preparo do trem-tipo ao elemento considerado. Trata-se de determinar conjunto de cargas concentradas e distribuídas que servirão para carregar as linhas de influência relativas, correspondentes às seções do elemento em estudo. (MARCHETTI, 2008)

Devido à complexidade dos efeitos dinâmicos, é conveniente associar as cargas móveis a cargas estáticas através da multiplicação pelo coeficiente de impacto. A NBR 7188:2013 preconiza a majoração dos esforços pelo coeficiente de impacto determinado a partir da seguinte formulação:

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA \quad (1)$$

Onde Q corresponde à carga estática concentrada e aplicada no nível do pavimento com valor estático de uma roda do veículo, acrescido de todos os coeficientes de ponderação; P é a carga estática concentrada e aplicada no nível do pavimento com valor estático de uma roda do veículo, sem nenhuma majoração; CIV é o coeficiente de impacto vertical; CNF é coeficiente do número de faixas; e CIA é coeficiente de impacto adicional.

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA \quad (2)$$

Onde q é a carga uniformemente distribuída com valor estático p , acrescido de todos os coeficientes de ponderação e p é carga uniformemente distribuída com valor estático da carga móvel uniformemente distribuída.

O coeficiente de impacto vertical tem a função de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. Assim, o CIV admite o valor de 1,35 para estruturas com vão menor do que 10,0m e para estruturas com vão de 10 a 200 metros, tem-se:

$$\text{CIV} = 1 + 1,06 \times (20 / \text{Liv} + 50) \quad (3)$$

Onde Liv é o vão em metros.

Para estruturas com vãos acima de 200 m deve ser realizado estudo específico para a consideração da amplificação dinâmica e definição do coeficiente de impacto vertical.

O coeficiente de número de faixas é dado por:

$$\text{CNF} = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9 \quad (4)$$

Onde n é o número (inteiro) de faixas de tráfego consideradas na rodovia carregada sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Este coeficiente não se aplica ao dimensionamento de elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego, tais como: lajes, transversinas, etc. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia.

Já o coeficiente de impacto adicional é igual a 1,25 para obras em concreto e mistas e igual a 1,15 para obras em aço.

A carga móvel rodoviária padrão é o TB-450 definida por um veículo tipo de 450kN, com seis rodas de 75kN cada, três eixos de carga afastados entre si em 1,5m, com área de ocupação de 18,0m², circundada por uma carga uniformemente distribuída constante de 5kN/m², conforme ilustrado na figura a seguir.

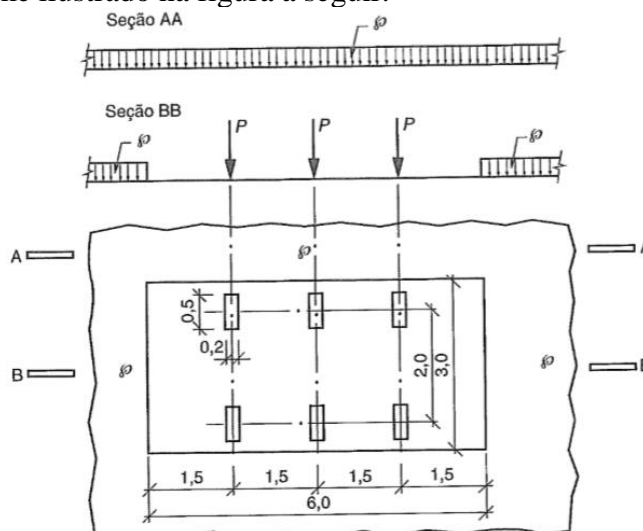


Figura 1 – Distribuição das cargas estáticas.
Fonte: NBR 7188 (2013)

Segundo a NBR 7188:2013, a carga móvel assume posição qualquer em toda a pista rodoviária com as rodas na posição mais desfavorável, inclusive acostamento e faixas de segurança. A Norma Brasileira também menciona que a carga distribuída deve ser aplicada na posição mais desfavorável, independentemente das faixas rodoviárias. Admite-se a distribuição espacial da carga concentrada no elemento estrutural a partir da sua superfície de contato em um ângulo de 45°.

AASHTO LRFD:2012

Diferentemente de outros métodos simplificados, o método do cálculo de distribuição de carga proposto pela AASHTO foi desenvolvido a partir de estudos estatísticos que consideram a influência de diversas características do tabuleiro, como sua seção transversal, rigidez das vigas, espessura da laje e comprimento do vão na distribuição de solicitações. Nesse método não há a necessidade de se calcular linhas de influência, pois ele é definido pelo cálculo de um fator de distribuição de carga, denominado LDF, e a sua determinação é baseada no sistema estrutural da ponte em questão.

O carregamento de projeto da AASHTO LRFD:2012, assim como o da NBR 7188:2013, tem duas parcelas, uma de carga concentrada das rodas de um veículo tipo e de uma carga distribuída, que equivale a *Lane Load* da Norma Americana e a carga de multidão da Norma Brasileira. Porém, a maior diferença entre eles é que, enquanto a AASHTO LRFD:2012 sugere um carregamento de multidão apenas dentro do limite de uma faixa de rolamento, a NBR 7188:2013 sugere que o carregamento atue sobre toda a superfície que produza solicitações desfavoráveis no tabuleiro, excluindo a área sob o veículo.

Para seguir a lógica da Norma Americana essa faixa de rolamento também tem 3,00 m de largura, portanto, multiplicando-se a carga de multidão de 5kN/m² pela largura da faixa, a carga de multidão do trem-tipo teórico é de 15kN/m. Também é possível reduzir as cargas concentradas para se obter uma carga linearmente distribuída contínua e simplificar os cálculos, resultando no trem-tipo definido para esse método.

A AASHTO LRFD:2012 tem duas combinações de faixas de carregamentos de projeto denominadas HL-93 que são:

- a) um caminhão de projeto (HS-20) com uma faixa de carga distribuída com 3,00m de largura;
- b) um tandem de projeto com dois eixos de 100kN espaçados em 1,20m entre si em conjunto com a mesma carga distribuída.

Corte AA

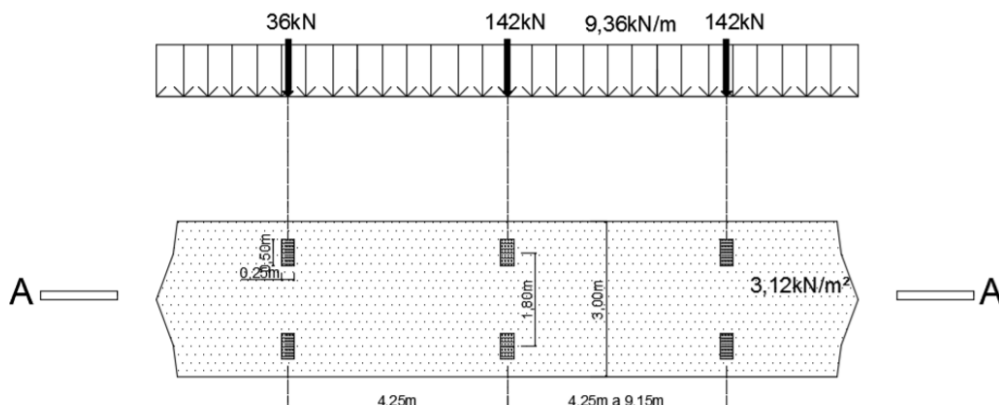


Figura 2 – Distribuição das cargas dos veículos.
Fonte: Adaptado de AASTHO LRFD (2012)

As combinações de faixas de carregamentos são dispostas em faixas de projeto que não são necessariamente equivalentes à quantidade de faixas de rolamento, pois a AASTHO LRFD:2012 define que a quantidade de faixas de projeto é resultante da divisão da largura útil do tabuleiro por 3,66m. As análises são realizadas para uma ou mais faixas de projeto carregadas, sendo que a pequena probabilidade de ocorrência simultânea de mais de um carregamento de grande magnitude é considerada por meio de fatores de presença múltiplas.

Tabela 1 – Fatores de presença múltipla.

Número de faixas carregadas	Fator de presença múltipla
1	1,20
2	1,00
3	0,85
>3	0,65

Modelo Estrutural

Para o estudo comparativo entre as normas abordadas dos efeitos dos carregamentos sobre pontes rodoviárias, sobretudo nas longarinas e transversinas, propõe-se a elaboração de um modelo estrutural em programa computacional de uma ponte em estrutura mista aço-concreto de 14,50m de comprimento e 4,80m de largura. A ponte é composta por duas longarinas metálicas em perfil I (W610x174), ligadas por cinco transversinas metálicas em perfil I (W310x44,5) distribuídas ao longo do comprimento da ponte. Sobre as longarinas é apoiada uma laje de concreto armado de 22cm de espessura e resistência característica à compressão de 25MPa.

Toda estrutura metálica é composta por aço estrutural ASTM A572 G50 com limite de escoamento de 345MPa.

Considerou-se um guarda-rodas de 0,40m de largura em cada extremidade da seção transversal da ponte.

É importante destacar que se levou em conta apenas as ações de cargas permanentes e as ações variáveis provenientes da carga móvel, afim de simplificar os cálculos.

Para o modelo estrutural da Norma Brasileira adotou-se o trem-tipo TB-450. Para ambos os modelos, o trem-tipo foi posicionado no meio da ponte.

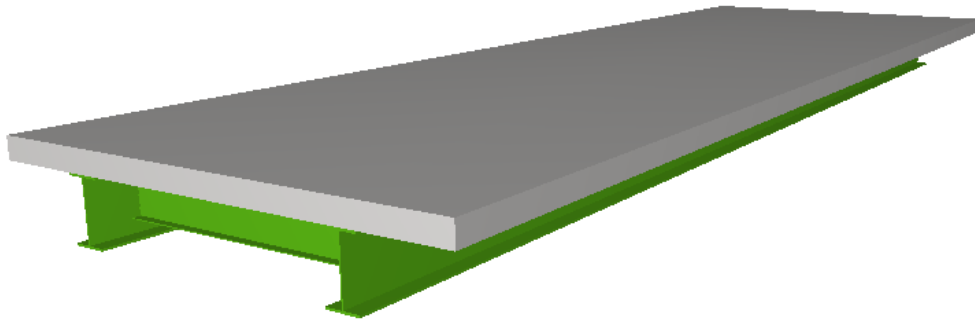


Figura 3 – Modelo estrutural.

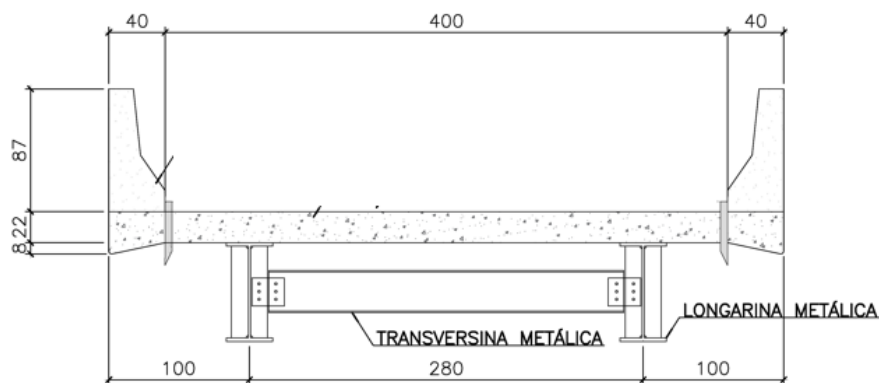


Figura 4 – Seção transversal.

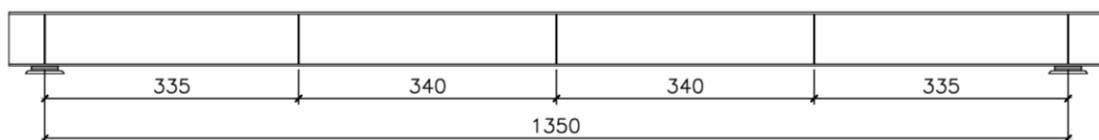


Figura 5 – Vista longitudinal da longarina metálica.

Após o processamento dos dados, obtiveram-se as porcentagens de aprovação de resistência para os elementos estruturais: longarinas e transversinas metálicas. Assim, as tabelas a seguir apresentam um comparativo dos resultados da aprovação de resistência

das vigas metálicas de acordo com as condições de carregamento das normas NBR 7188:2013 e AASTHO LRFD:2012.

Tabela 2 – Aprovação de resistência das longarinas metálicas.

Trecho	NBR 7188:2013	AASTHO LRFD:2012
01 (balanço de 0,50m)	7,51%	7,37%
02 (3,35m)	48,90%	48,94%
03 (3,40m)	42,79%	41,74%
04 (3,40m)	42,82%	41,82%
05 (3,35m)	48,63%	48,76%
06 (balanço de 0,50m)	7,60%	8,18%

Tabela 3 – Aprovação de resistência das transversinas metálicas.

Trecho	NBR 7188:2013	AASTHO LRFD:2012
Viga 01	32,45%	33,19%
Viga 02	16,39%	16,91%
Viga 03	3,11%	3,44%
Viga 04	18,13%	14,09%
Viga 05	33,37%	37,86%

Em face do exposto, verificou-se uma variação de no máximo 1,05% para as longarinas metálicas ao se comparar os resultados dos modelos. Também, pode-se constatar uma diferença de máximo 4,49% para as transversinas metálicas na comparação dos dados apresentados.

Conclusões

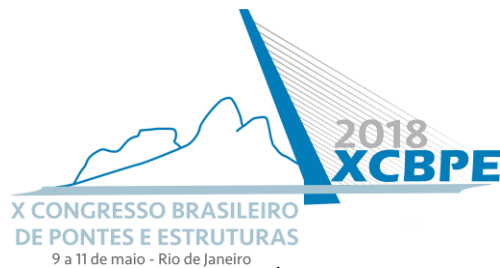
Com o estudo, os modelos estruturais e as análises apresentadas, pôde-se apresentar as considerações da Norma Brasileira NBR 7188:2013 e da Norma Americana AASTHO LRFD:2012 para as definições das cargas móveis no projeto de pontes rodoviárias. Pode-se notar que há prescrições específicas e abordagens distintas para cada norma, porém as mesmas estão alinhadas com a realidade de projeto.

Ao se comparar os resultados dos dados processados em programa computacional, conclui-se que as normas não divergem significativamente quanto à definição da carga móvel e, conseqüentemente, aos dados finais de projeto.

Diante do apresentado, pode-se constatar que os critérios adotados pelas normas foram prescritos para melhor simular as cargas móveis conforme a crescimento da capacidade de carga e do tráfego de veículos ao longo dos últimos anos.

Referências

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO-LRFD: Bridge Design Specifications. Washington, 2012. 1661 p.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. 2 ed. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

_____. NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2003. 11 p.

_____. NB 6: Cargas móveis em pontes rodoviárias. Rio de Janeiro, 1943.

_____. NB 6: Cargas móveis em pontes rodoviárias. Rio de Janeiro, 1960.

MARCHETTI, O. Pontes de concreto armado. São Paulo: Blucher, 2008. 122 p.

SANTOS, M. F. Contribuição ao estudo do efeito de combinação de veículos de carga sobre pontes rodoviárias de concreto. 2003. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.