

## **Efeitos da mudança do coeficiente de impacto prescrito pela norma brasileira no dimensionamento das longarinas de pontes em vigas de alma cheia**

**Vitor dos Santos Albuquerque<sup>1</sup>, Francisco dos Santos Rocha<sup>2</sup>, Artur Madeiro Teixeira Júnior<sup>3</sup>, Anne Karolynne Castro Monteiro<sup>4</sup>, Bryan Delmond Silva<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universidade do Estado do Amazonas /vitoralbuquerque9@gmail.com<sup>1</sup>,  
francsantos@uol.com.br<sup>2</sup>, artur.madeiro@hotmail.com<sup>3</sup>, annekarolynne@gmail.com<sup>4</sup>,  
bryandelmond25@gmail.com<sup>5</sup>

### **Resumo**

A atualização da ABNT NBR 7188:2013 foi motivada pela necessidade de adoção de parâmetros que refletissem de fato as cargas móveis que trafegam pelas pontes rodoviárias do país: magnitude das cargas, aumento da densidade do tráfego e anomalias constantemente encontradas nos pavimentos dessas obras, próximas às juntas estruturais e extremidades de acesso. O presente trabalho objetiva determinar a influência no dimensionamento de longarinas de um modelo de ponte em vigas de alma cheia com duas vigas principais, considerando os coeficientes de impacto sugeridos pelas normas ABNT NBR 7187:2003 e ABNT NBR 7188:2013. Foi utilizado um modelo de ponte rodoviária com duas longarinas apresentado por MARCHETTI (2016), com seguintes adaptações: largura da pista de rolamento e acostamentos para obras de arte especiais determinados pelo manual do DNER (1996); e barreiras do tipo New Jersey apresentadas na norma DNIT 109/2009 – PRO. Utilizou-se o *software CSI Bridge 2017* para modelagem da estrutura e obtenção dos esforços nas longarinas. Os resultados obtidos mostraram que o critério adotado pela ABNT NBR 7188:2013 na obtenção do coeficiente de impacto conduziu, nas regiões de momentos fletores máximo e mínimo, a acréscimos de armaduras longitudinais positiva e negativa, respectivamente, 4,82 cm<sup>2</sup> (2,97%) e 0,71 cm<sup>2</sup> (0,90%). A força cortante máxima apresentou um aumento na área de aço por metro linear de 0,99 cm<sup>2</sup>/m (3,09%).

### **Palavras-chave**

Pontes; longarinas; coeficiente de impacto; *CSI Bridge*.

### **Introdução**

A malha rodoviária federal foi implantada no Brasil a partir de meados do século XX, período no qual as primeiras Normas Brasileiras relativas ao cálculo e execução de estruturas em concreto armado foram elaboradas e introduzidas.

Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias desenvolvido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura – DNIT (2004), as obras de arte especiais sofreram diversas alterações de projetos ao longo dos anos quanto à geometria transversal, obedecendo os critérios de dimensionamento próprios de cada período. Essas modificações estão relacionadas à implantação de tabelas das Normas para Projeto de Estradas de Rodagem elaboradas pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER, atual DNIT, a partir de 1950. No início da década de 1980, introduziu o Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais, que continha uma série de projetos-tipo, sendo atualizado em 1996, última versão.

A evolução dos veículos que trafegam pelas rodovias exigiu a adoção de novos parâmetros de carga para dimensionamento de pontes, representando de fato o panorama atual de tráfego. O valor do coeficiente de impacto, utilizado para efetuar o dimensionamento sem a consideração de forças inerciais, também sofreu alteração, que tinha um valor fixo de 1,3 no início dos primeiros projetos de pontes. Posteriormente, o critério adotado considerava o tamanho do vão da estrutura para a determinação do coeficiente, por meio de uma expressão empírica proposta pela ABNT NBR 7187:2003. Em 2013, com a atualização da ABNT NBR 7188:2013, o critério empregado baseia-se na ponderação de três variáveis: coeficiente de impacto vertical, coeficiente de impacto adicional e coeficiente do número de faixas.

Conforme SILVA *et al.* (2014), essa atualização pode até representar uma variação de aproximadamente 45% maior em relação ao valor do coeficiente de impacto. Além disso, a variação do carregamento móvel pode conduzir a um acréscimo de até 62,5% na intensidade das ações atuantes, resultando num aumento considerável.

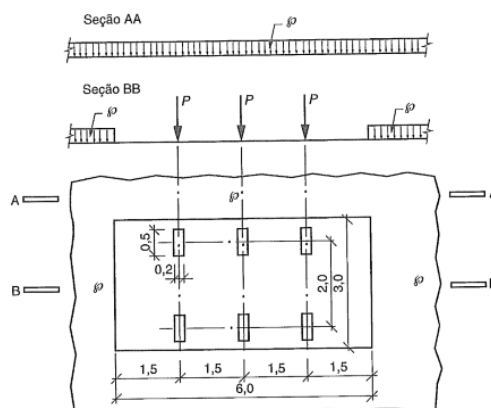
Com base nas considerações apresentadas, este trabalho se propõe a avaliar a influência da atualização do coeficiente de impacto no dimensionamento das longarinas de um modelo de ponte em vigas de alma cheia com duas vigas principais.

Foi utilizado um modelo de ponte com duas longarinas apresentado por Marchetti (2016), com seguintes adaptações: largura da pista de rolamento e acostamentos para obras de arte especiais determinados pelo manual do DNER (1996); e barreiras do tipo New Jersey apresentadas na norma DNIT 109/2009 – PRO. Utilizou-se o *software CSI Bridge 2017* para obtenção dos esforços nas longarinas.

### Cargas móveis em pontes rodoviárias

A ABNT NBR 7188:1982 define carga móvel como o sistema de cargas representativo dos valores característicos dos carregamentos provenientes do tráfego a que a estrutura está sujeita em serviço. Em pontes rodoviárias, esse sistema de cargas é denominado trem-tipo, composto de um veículo e carga uniformemente distribuída.

A carga móvel rodoviária padrão, definida pela ABNT NBR 7188:2013, é composta por um veículo tipo de 450 kN, com seis rodas, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação de 18,0 m<sup>2</sup>, circundada por uma carga constante  $p = 5$  kN/m<sup>2</sup>, conforme a figura 1. Esse sistema de cargas é chamado de TB-450, onde TB é abreviatura de trem-tipo rodoviário brasileiro.



**Figura 1 – Sistema de cargas estáticas - Fonte: ABNT, 2013**

Para obras em estradas vicinais municipais de um faixa e obras particulares, a carga móvel rodoviária é no mínimo igual ao tipo TB-240, que é definido por um veículo tipo de 240 kN, circundada por uma carga uniformemente distribuída constatare  $p = 4,0$  kN/m<sup>2</sup>. (ABNT, 2013).

No dimensionamento dos elementos estruturais, a norma brasileira recomenda que a carga móvel deve assumir a posição mais desfavorável no tabuleiro, incluindo acostamentos, faixas de segurança e guarda-rodas, negligenciando parte do carregamento que resulte na redução das solicitações.

### Evolução do coeficiente de impacto brasileiro

Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), o efeito da carga móvel nas pontes rodoviárias executadas no período de 1946 a 1960 era avaliado considerando um coeficiente de impacto de 1,3, prescrito pela NB-2/46.

Após esse período, até 2012, o valor era calculado pela equação 1, função de cada vão teórico do elemento carregado, conforme a ABNT NBR 7187:2003.

$$\phi = 1,4 - 0,007 \ell \geq 1 \quad (1)$$

A partir de 2012, o coeficiente de impacto passou a ser prescrito pela ABNT NBR 7188:2013, equação 2, através da ponderação de três variáveis. A atualização do coeficiente decorreu do aumento significativo da magnitude e da quantidade de cargas móveis que trafegam nas pontes rodoviárias do país e das anomalias constantemente encontradas nos pavimentos dessas obras.

$$\phi = CIV * CNF * CIA \quad (2)$$

O coeficiente de impacto vertical, CIV, é responsável por majorar a ação da carga estática, simulando assim o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. Os valores recomendados são:

- a) CIV = 1,35 para estruturas com vão menor do que 10,0 m;
- b) CIV =  $1 + 1,06 * \left(\frac{20}{L_{iv} + 50}\right)$ , para estruturas com vão entre 10,0 m e 200,00 m.

Em estruturas isostáticas,  $L_{iv}$  é o vão em “m”; a média aritmética dos vãos em casos de vãos contínuos; e o comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço.

O coeficiente do número de faixas, CNF, é a probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas, definido pela equação 3, onde “n” representa o número de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro no sentido transversal contínuo.

$$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) > 0,9 \quad (3)$$

O coeficiente de impacto adicional, CIA, é responsável por majorar a atuação da carga móvel devido às imperfeições presentes na pista de rolamento, como juntas de dilatação, extremidades das obras, acessos e estruturas de transição. Para seções de elementos estruturais distantes de juntas ou de descontinuidade estrutural por até 5,0 m, os coeficientes são:

- a) CIA = 1,25, para obras em concreto ou mistas;



Os pilares da ponte possuem 8 m de comprimento e 120 cm de diâmetro, interligados transversalmente por vigas de contraventamento (30 cm x 120 cm), objetivando aumentar a rigidez do conjunto e reduzir o comprimento de flambagem dos pilares. As ações atuantes na superestrutura, permanente e variável, são transmitidas à mesoestrutura através de aparelhos de apoio do tipo neoprene fretado.

## Implementação do modelo computacional

Tratando-se de um programa específico para o dimensionamento de pontes, o *CSI Bridge* fornece ao usuário modelos estruturais pré-definidos, permitindo a escolha do tipo de seção da superestrutura, a quantidade e a medida dos vãos. Foi utilizada a opção “*Concrete Tee Beam*”, que permite considerar a largura colaborante da laje.

Foram adotados, para cálculo dos esforços nas longarinas, os seguintes parâmetros: a) peso específico do concreto igual a 25 kN/m<sup>3</sup>; b) módulo de elasticidade secante, obtido considerando resistência característica do concreto à compressão de 30 MPa e agregado graúdo do tipo gnaíse, ABNT NBR 6118:2014; c) coeficiente de Poisson: 0,2; d) coeficiente de dilatação térmica: 1,0 x 10<sup>5</sup>/°C.

A opção “*Deck sections*” permite definir as dimensões de lajes e longarinas, o número de vigas principais e o espaçamento entre elas (figura 7). Nessa janela, definem-se a largura do tabuleiro, a altura da seção da superestrutura, configuração de mísulas e balanços. Os aparelhos de apoio foram modelados considerando deformações nas direções vertical e angular e rígidas nas demais direções.

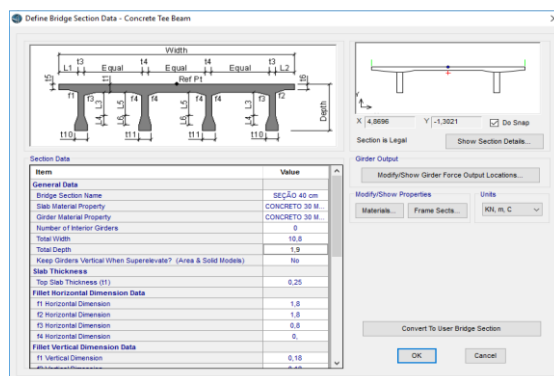


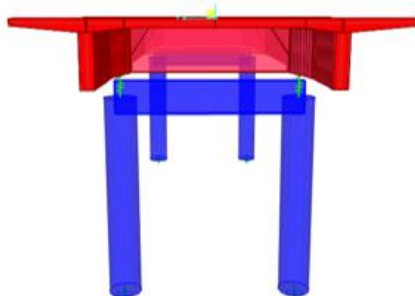
Figura 7 – Entrada de dados da seção transversal

Na modelagem computacional, foram consideradas as seguintes ações estáticas: a) peso próprio, referente ao peso de todos os elementos estruturais constituintes da ponte, calculado automaticamente pelo programa; b) pavimentação, referente ao capeamento, situada na largura compreendida entre as barreiras laterais, uniformemente distribuída, no valor de 4,28 kN/m<sup>2</sup>; c) barreira *New Jersey*, ocupando 40 cm de largura a partir dos bordos esquerdo e direito do tabuleiro, uniformemente distribuída, no valor de 14,36 kN/m<sup>2</sup>; d) carga pontual na extremidade da longarina, referente ao peso da cortina, dente, abas laterais, laje de transição, capeamento da laje de transição e mísula, no valor de 156,66 kN.

O *software* disponibiliza em sua biblioteca diversos veículos de códigos internacionais, no entanto, não possui ferramenta capaz de gerar a carga móvel rodoviária brasileira,

sendo necessário efetuar ajustes para simulação. A introdução do TB-450 se dá pela homogeneização da carga uniformemente distribuída ao longo de todo o tabuleiro, descontando a resultante desta carga sob a área de projeção do veículo, conforme determina a ABNT NBR 7188:2013. Dessa forma, a carga de cada eixo reduz-se de 150 kN para 120 kN. A carga distribuída do trem-tipo, 5 kN/m<sup>2</sup>, é multiplicada pelo valor da faixa de atuação.

A laje, as longarinas e transversinas foram modeladas como elementos de casca (*shell*) e os pilares e vigas de contraventamento como elementos mais simples, do tipo barra (*frame*), conforme mostra a figura 8.



**Figura 8 – Aspecto do modelo**

### **Coefficientes de impacto**

A ABNT NBR 7187:2003, item 7.2.1.2, recomenda que o coeficiente de impacto adotado seja função de cada vão teórico do elemento carregado, e para regiões em balanço “*l*” é tomado igual a duas vezes o seu comprimento. A ABNT NBR 7188:2013, através do coeficiente de impacto vertical (CIV), item 5.1.2.1, determina o uso da equação para vãos no intervalo de 10,0 m a 200,0 m, e para vãos inferiores a 10,0 m, um valor fixo. A introdução dos coeficientes de impacto foi realizada manualmente, pois o *CSI Bridge* não permite a introdução de valores distintos para as regiões central e em balanço da longarina. Os coeficientes de impacto aplicados foram: a) 1,26 e 1,33, respectivamente, para os vãos central e em balanço, considerando a ABNT NBR 7187:2003; b) 1,303 e 1,35, para os vãos central e em balanço, respectivamente, de acordo com a ABNT NBR 7188:2013

### **Coefficientes de ponderação das ações**

No dimensionamento das longarinas, foram utilizados os coeficientes de ponderação das ações recomendados pela ABNT NBR 6118:2014, referentes aos Estados Limites Últimos - ELU e Estados Limites de Serviço – ELS. Quando a estrutura estiver sujeita a ações dinâmicas cíclicas, ocasionando oscilação de tensões, a norma recomenda verificar o Estado Limite Último de Fadiga.

### **Resultados e Discussão**

O pré-dimensionamento das longarinas foi realizado conforme recomendações da ABNT NBR 7187:2003 e DNER (1996): largura da alma maior do que 20 cm e relação

de esbeltez (comprimento do vão dividido pela altura) no intervalo de  $L/d = 5$  e  $L/d = 30$ .

Introduzindo os dados da ponte mostrada nas figuras 5 e 6 e a carga variável no *software CSI Bridge*, são obtidos os esforços solicitantes em cada seção da longarina: forças cortantes e momentos fletores para cada ação, sem o coeficiente de impacto.

Na tabela 1, constam os esforços provenientes das cargas permanente e variável. Os esforços resultantes da carga móvel, representada pelo trem-tipo TB-450, estão multiplicados pelo fator de impacto preconizado pela ABNT NBR 7187:2003. Constam, ainda, os valores representativos das envoltórias de esforços.

**Tabela 1 – Esforços na longarina conforme ABNT NBR 7187:2003**

| Seção | Esforços cortantes (kN) |                   |                   |           |           | Momentos fletores (kN.m) |                   |                   |           |           |
|-------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|
|       | $V_g$                   | $\varphi V_{q^+}$ | $\varphi V_{q^-}$ | $V_{máx}$ | $V_{mín}$ | $M_g$                    | $\varphi M_{q^+}$ | $\varphi M_{q^-}$ | $M_{máx}$ | $M_{mín}$ |
| 0     | -159,38                 | 0                 | -183,47           | -159,38   | -342,85   | 0                        | 0                 | 0                 | 0         | 0         |
| 1e    | -587,68                 | 0                 | -703,28           | -587,68   | -1290,96  | -1827,6                  | 0                 | -2300,9           | -1827,6   | -4128,5   |
| 1d    | 867,07                  | 756,62            | -126,76           | 1623,69   | 740,31    | -1827,6                  | 0                 | -2300,9           | -1827,6   | -4128,5   |
| 2     | 680,22                  | 707,51            | -122,50           | 1387,73   | 557,72    | -281,53                  | 1385,34           | -2044,5           | 1103,82   | -2326,03  |
| 3     | 515,63                  | 586,72            | -115,15           | 1102,35   | 400,48    | 919,75                   | 2472,28           | -1896,42          | 3392,03   | -976,67   |
| 4     | 351,04                  | 478,10            | -158,09           | 829,14    | 192,95    | 1791,85                  | 3203,58           | -1731,21          | 4995,42   | 60,64     |
| 5     | 186,45                  | 389,13            | -229,72           | 575,58    | -43,27    | 2334,76                  | 3650,19           | -1546,86          | 5984,95   | 787,90    |
| 6     | 23,40                   | 327,60            | -327,60           | 351,00    | -304,20   | 2548,50                  | 3840,78           | -1375,83          | 6389,28   | 1172,67   |

Na tabela 2, são apresentados os esforços das ações permanente e variável. Os esforços provenientes da carga móvel estão multiplicados pelo coeficiente de impacto recomendado pela ABNT NBR 7188:2013. Apresentam-se, ainda, os esforços solicitantes máximos e mínimos em cada seção.

**Tabela 2 – Esforços com o coeficiente de impacto prescrito pela ABNT NBR 7188:2013**

| Seção | Esforços cortantes (kN) |                   |                   |           |           | Momentos fletores (kN.m) |                   |                   |           |           |
|-------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|
|       | $V_g$                   | $\varphi V_{q^+}$ | $\varphi V_{q^-}$ | $V_{máx}$ | $V_{mín}$ | $M_g$                    | $\varphi M_{q^+}$ | $\varphi M_{q^-}$ | $M_{máx}$ | $M_{mín}$ |
| 0     | -159,38                 | 0                 | -185,81           | -159,38   | -345,19   | 0                        | 0                 | 0                 | 0         | 0         |
| 1e    | -587,68                 | 0                 | -713,86           | -587,68   | -1301,54  | -1827,6                  | 0                 | -2335,5           | -1827,6   | -4163,1   |
| 1d    | 867,07                  | 782,07            | -128,67           | 1649,13   | 738,40    | -1827,6                  | 0                 | -2335,5           | -1827,6   | -4163,1   |
| 2     | 680,22                  | 731,25            | -124,41           | 1411,47   | 555,81    | -281,53                  | 1432,62           | -2075,25          | 1151,10   | -2356,77  |
| 3     | 515,63                  | 606,34            | -117,10           | 1121,97   | 398,53    | 919,75                   | 2556,66           | -1924,94          | 3476,40   | -1005,19  |
| 4     | 351,04                  | 494,03            | -163,10           | 845,07    | 187,94    | 1791,85                  | 3312,90           | -1757,24          | 5104,75   | 34,60     |
| 5     | 186,45                  | 402,02            | -237,17           | 588,47    | -50,72    | 2334,76                  | 3774,76           | -1570,12          | 6109,52   | 764,64    |
| 6     | 23,40                   | 333,86            | -338,36           | 361,76    | -314,97   | 2548,50                  | 3971,86           | -1396,52          | 6520,36   | 1151,98   |

Na seção 6, a força cortante máxima obtida com o atual coeficiente de impacto é 3,06% maior que o valor encontrado utilizando o coeficiente de impacto constante na ABNT NBR 7187:2003. O valor máximo na longarina ocorre na região do apoio, seção 1d, sendo 1,57% maior que o valor apresentado na tabela 1. Na seção 5, a força cortante mínima obtida com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7188:2013 é 17,21% superior ao esforço encontrado considerando a norma antiga, no entanto, essa

porcentagem não é representativa para dimensionamento, pois é inferior ao valor máximo na seção. O valor máximo das envoltórias dos mínimos é obtido na seção 1e, região do apoio, 0,82% maior que o valor mostrado na tabela 1.

Quanto ao momento fletor máximo, na seção 2, o valor encontrado com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7188:2013 é 4,28% maior que o obtido considerando a equação 1. O valor máximo de dimensionamento ocorre na seção 6, região central da longarina, sendo 2,05% maior que o valor constante na tabela 1. Na seção 2, o momento fletor mínimo é 1,32% superior ao esforço solicitante encontrado considerando o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7187:2003. O valor máximo para dimensionamento, situado na seção do apoio, é 0,84% maior empregando o novo fator de impacto.

Os valores máximos e mínimos dos esforços solicitantes de cálculo foram obtidos pela combinação de ações prescrita pela ABNT NBR 6118:2014, combinação normal. A tabela 3 mostra os valores de cálculo para dimensionamento no Estado Limite Último (ELU), considerando a situação mais desfavorável.

**Tabela 3 – ELU situação desfavorável**

| Seção | Forças cortantes (kN) |             |           |             | Momentos fletores (kN.m) |             |           |             |
|-------|-----------------------|-------------|-----------|-------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|
|       | $V_{máx}$             | $V_{máx}^*$ | $V_{mín}$ | $V_{mín}^*$ | $M_{máx}$                | $M_{máx}^*$ | $M_{mín}$ | $M_{mín}^*$ |
| 0     | -223,13               | -223,13     | -479,99   | -483,26     | 0                        | 0           | 0         | 0           |
| 1e    | -822,75               | -822,75     | -1807,35  | -1822,16    | -2558,64                 | -2558,64    | -5779,90  | -5828,34    |
| 1d    | 2273,17               | 2308,79     | 1036,43   | 1033,76     | -2558,64                 | -2558,64    | -5779,90  | -5828,34    |
| 2     | 1942,82               | 1976,05     | 780,81    | 778,14      | 1545,35                  | 1611,53     | -3256,44  | -3299,48    |
| 3     | 1543,29               | 1570,76     | 560,68    | 557,94      | 4748,85                  | 4866,97     | -1367,34  | -1407,27    |
| 4     | 1160,80               | 1183,09     | 270,12    | 263,12      | 6993,59                  | 7146,65     | 84,89     | 48,45       |
| 5     | 805,81                | 823,85      | -60,58    | -71,01      | 8378,94                  | 8553,33     | 1103,06   | 1070,50     |
| 6     | 491,40                | 506,46      | -425,88   | -440,95     | 8945,00                  | 9128,50     | 1641,74   | 1612,77     |

Notações:  $V_{máx}$ ,  $V_{mín}$ ,  $M_{máx}$  e  $M_{mín}$  valores de esforços com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7187:2003;  $V_{máx}^*$ ,  $V_{mín}^*$ ,  $M_{máx}^*$  e  $M_{mín}^*$  valores de esforços com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7188:2013.

No dimensionamento à flexão, consideraram-se os valores máximos de momentos positivos e negativos das envoltórias nas duas situações, respectivamente, nas seções 6 e 1. Quando o momento fletor é positivo, a viga comporta-se como viga “T”, considerando a largura colaborante da laje associada à viga. A região submetida ao momento fletor negativo é dimensionada como seção retangular, pois a laje do tabuleiro está situada na zona tracionada. Nas armaduras longitudinais foi verificado o efeito da fadiga, conforme item 23.5.5 da ABNT NBR 6118:2014. A tabela 4 apresenta as armaduras de flexão de cálculo nas seções mais solicitadas.

**Tabela 4 – Comparação entre armaduras longitudinais**

| Seção | Momento fletor (kN.m) |             |           |             | Área de aço (cm <sup>2</sup> ) |         |
|-------|-----------------------|-------------|-----------|-------------|--------------------------------|---------|
|       | $M_{máx}$             | $M_{máx}^*$ | $M_{mín}$ | $M_{mín}^*$ | $A_s$                          | $A_s^*$ |
| 1     | -2558,64              | -2558,64    | -5779,90  | -5828,34    | 79,03                          | 79,74   |
| 6     | 8945,00               | 9128,50     | 1641,74   | 1612,77     | 162,16                         | 166,98  |

Notações:  $M_{máx}$ ,  $M_{mín}$  e  $A_s$  valores de esforços e armadura longitudinal com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7187:2003;  $M_{máx}^*$  e  $M_{mín}^*$  e  $A_s^*$  valores de esforços e armadura longitudinal valores de esforços com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7188:2013.



Os resultados mostram que, considerando o coeficiente de impacto sugerido pela ABNT NBR 7188:2013, os acréscimos de área das armaduras longitudinais nas seções mais solicitadas, valores máximo e mínimo de momento fletor, são, respectivamente, 0,90% e 2,97%.

Quanto ao dimensionamento ao cisalhamento, a parcela da força cortante resistida pela armadura transversal indicou uso de armadura mínima nas seções 5 e 6. A tabela 5 mostra os resultados obtidos de área de aço por metro linear referentes às forças cortantes em cada seção da longarina, considerando os coeficientes de impacto das normas ABNT NBR 7187:2003 e ABNT NBR 7188:2013. Foram também observados os efeitos da fadiga em cada seção.

**Tabela 5 – Comparação entre armaduras transversais**

| Seção | Áreas de aço por metro linear |                            |
|-------|-------------------------------|----------------------------|
|       | As/s (cm <sup>2</sup> /m)     | As/s* (cm <sup>2</sup> /m) |
| 0     | 4,63                          | 4,63                       |
| 1e    | 22,78                         | 23,16                      |
| 1d    | 32,08                         | 33,07                      |
| 2     | 30,14                         | 31,07                      |
| 3     | 25,49                         | 26,27                      |
| 4     | 20,14                         | 20,71                      |
| 5     | 4,63                          | 4,63                       |
| 6     | 4,63                          | 4,63                       |

Notações: A<sub>s</sub> com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7187:2003; A<sub>s</sub>\* com o coeficiente de impacto da ABNT NBR 7188:2013;

Esses resultados mostram que o coeficiente de impacto vigente na norma brasileira produziu acréscimo de armadura de até 3,09%. Não ocorreu variação nas seções 5 e 6, pois os valores de esforços conduziram à taxa mínima de armadura transversal.

Foram dispostas, ainda, 7,6 cm<sup>2</sup>/m de armadura de pele em cada face das longarinas, conforme prescreve a ABNT NBR 6118:2014. A armadura lateral não é função das ações atuantes na longarina, e para os dois dimensionamentos, o valor da área de armadura por metro linear é igual.

## Conclusões

O critério adotado pela ABNT NBR 7188:2013 na obtenção do coeficiente de impacto conduziu, nas regiões de momentos fletores máximo e mínimo, a acréscimos de armaduras longitudinais positiva e negativa de 4,82 cm<sup>2</sup> (2,97%) e 0,71 cm<sup>2</sup> (0,90%), conforme os resultados mostrados na tabela 4. A força cortante máxima apresentou um aumento na área de aço por metro linear de 0,99 cm<sup>2</sup>/m (3,09%), como apresentado na tabela 5.

As diferenças seriam ainda maiores se as análises fossem realizadas em pontes com grandes vãos. O valor do coeficiente de impacto vertical (CIV), equivalente ao recomendado pela ABNT NBR 7187:2003, que é função do vão teórico de cada

elemento carregado, pode sofrer um aumento de até 19%.

No caso de pontes com juntas estruturais, a ABNT NBR 7188:2013 recomenda o uso do coeficiente de impacto adicional (CIA), majorando os valores da carga móvel em 25% para obras em estrutura de concreto ou mista e em 15% para pontes em aço, consideração que não era realizada pela antiga norma, o que representa um aumento considerável nos esforços para dimensionamento.

Em pontes com quantidade de faixas de tráfego superiores a 2, o coeficiente de número de faixas (CNF) reduz o efeito da carga móvel em até 10%. Ressalta-se a adequação da norma brasileira às normas europeia e norte-americana, que utilizam o coeficiente, que é função do número de faixas de tráfego carregadas.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e concreto protendido – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-emanurais/manuais/documentos/698\\_manual\\_de\\_projeto\\_de\\_obras\\_de\\_arte\\_especiais.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-emanurais/manuais/documentos/698_manual_de_projeto_de_obras_de_arte_especiais.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2017.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 109. Obras complementares – Segurança no tráfego rodoviário – Projeto de barreiras de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/709\\_manual\\_de\\_inspecao\\_de\\_pontes\\_rodoviarias.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/709_manual_de_inspecao_de_pontes_rodoviarias.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2017.
- MARCHETTI, Osvaldemar. Pontes de concreto armado. 5. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2016.
- SANTOS, Marcelo. Contribuição ao Estudo do Efeito de Combinação de Veículos de Carga Sobre Pontes Rodoviárias de Concreto. 2003. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08062016-110930/pt-br.php](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08062016-110930/pt-br.php)>. Acesso em 13 dez. 2017.
- SILVA, Pauline; BRITO, Marcus; SANTOS, Iviane; SILVA, Ramon; SOBRINHO, Brunno. Efeitos da Mudança da NBR 7188:2013 nos Projetos de Pontes. Estudo de caso: Projeto de Recuperação da Ponte sobre o Rio Correias na BR 101/SC. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab\\_100.pdf](http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_100.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2017.