

Efeitos das Mudanças no Coeficiente de Impacto da NBR 7188/2013 em Pontes em Vigas de Concreto Armado

Effects of Changes in the Impact Factor of NBR 7188/2013 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

A maioria das pontes da malha rodoviária brasileira foi projetada segundo os padrões estabelecidos pelas NB-6 de 1960 e 1982 (NBR 7188/1984). Entre outros aspectos, estas normas estabeleciam tanto o trem-tipo como a majoração desse conjunto por um coeficiente de impacto. Em 2013, a NBR 7188 foi reformulada, sendo alterados aqueles dois aspectos prescritos na norma. Em vista disso, este trabalho teve o propósito de avaliar a intensidade dos efeitos dessas mudanças. Para isso, foram modelados no programa SAP2000, dois tipos de pontes genéricas em vigas de concreto armado, cujas seções transversais são típicas de determinado período de projeto, com quatro diferentes vãos, nas quais foram aplicados os trens-tipo da norma em vigor por ocasião do período de projeto das referidas pontes. Além dos trens-tipo, aplicaram-se aos modelos os veículos mais pesados que trafegam atualmente sobre as pontes brasileiras, segundo o CONTRAN: as CVC's (Combinação de Veículo de Carga) além de um caminhão basculante. A comparação realizada entre os trens-tipo normativos e os veículos reais com a finalidade de verificar os efeitos das mudanças do coeficiente de impacto foi feita utilizando-se os esforços máximos atuantes nas longarinas das pontes. Aqueles esforços provocados pela situação de tráfego considerada real foram majorados tanto pelo coeficiente de impacto antigo (NB-6/1960 e NBR 7188/1984) como pelo atual (NBR 7188/2013). Concluiu-se, de uma forma geral, que somente o TB450 atende ao padrão atual de tráfego de veículos pesados, quando os esforços analisados são os momentos fletores máximos.

Palavras-Chave: pontes. trem-tipo. coeficiente de impacto.

Abstract

Most of the bridges of the Brazilian road network were designed according to the standards established by NB-6 of 1960 and 1982 (NBR 7188/1984). Among other aspects, these standards established both the model of traffic load and the increase of this joint by an impact factor. In 2013, the NBR 7188 was reformulated, being changed those two aspects prescribed in the standard. In view of this, this work had the purpose of evaluating the intensity of change effects. For this, two types of generic bridges in reinforced concrete beams were modeled in the SAP2000 program, with typical cross sections, with four different spans, in which traffic load models were applied in accordance with standards in force at the time of design of these bridges. In addition to the models of traffic load, the heaviest vehicles currently traveling on Brazilian bridges were applied to the models, according to the CONTRAN: the CVC's (Combination of Cargo Vehicles) as well as a tipper truck. The comparison between the model of traffic load and real vehicles in order to verify the effects of changes in the impact factor was made using the maximum stresses acting on the bridge beams. Those stresses caused by the actual traffic situation were increased by both the previous (NB-6/1960 and NBR 7188/1984) and the current impact coefficient (NBR 7188/2013). It was concluded that, in general, only TB450 meets strictly the current pattern of traffic of heavy vehicles, when the stresses analyzed are the maximum bending moments.

Keywords: bridges. model of traffic load. impact factor.

1 Introdução

A maioria das pontes da malha rodoviária brasileira foi projetada segundo os padrões estabelecidos pelas NB-6 de 1960 e 1982 (NBR 7188/1984). Entre outros aspectos, estas normas estabeleciam tanto o trem-tipo, a ser considerado no projeto das pontes, como a majoração desse conjunto por um coeficiente de impacto. As alterações ocorridas nessa norma visaram adaptar os trens-tipo de projeto à evolução da frota de veículos circulantes que aumentou consideravelmente ao longo do tempo tanto em peso como em volume.

Em 2013, a NBR 7188 foi reformulada, sendo alterados aqueles dois aspectos prescritos na norma. Ressalta-se que a mudança mais significativa apresentada na norma vigente se refere ao coeficiente de impacto que antes era calculado por uma expressão única no qual o valor variava em função do vão da ponte e que atualmente é calculado por três diferentes expressões.

Em vista disso, este trabalho teve o propósito de avaliar a intensidade dos efeitos dessas mudanças, principalmente no que se refere ao coeficiente de impacto, através de uma comparação entre o modelo de carregamento móvel normativo e veículos reais. Para isso, foram modelados no programa SAP2000, dois tipos de pontes genéricas em vigas de concreto armado, cujas seções transversais são típicas de determinado período de projeto, com quatro diferentes vãos, nas quais foram aplicados os trens-tipo da norma em vigor por ocasião do período de projeto das referidas pontes. Em seguida, foi aplicado a cada um desses modelos de pontes, além dos trens-tipo normativos, os veículos reais mais pesados do tráfego brasileiro e determinou-se os esforços máximos provocados em cada caso majorados tanto pelo coeficiente de impacto antigo como pelo atual.

2 Evolução das normas de projeto

As pontes que compõem a malha rodoviária brasileira foram projetadas seguindo os padrões estabelecidos pela NB-6 de 1946, 1950, 1960, 1982 (NBR 7188/1984) e, atualmente, pela NBR 7188/2013. Para este trabalho, destacam-se as normas a partir de 1960, tendo em vista que, de acordo com MENDES (2009), mais de 70% das pontes brasileiras foram projetadas a partir daquele ano.

As pontes construídas entre 1960 e 1982 foram projetadas segundo a NB-6/1960 que tinha como padrão de carregamento, além do TB240, o TB360 que corresponde a um veículo de 360 kN (120 kN em cada um dos três eixos), multidão de 5,00 kN/m² anterior e posterior ao veículo e multidão de 3,00 kN/m² nas faixas laterais ao veículo, conforme indicado na figura 1. Para consideração do efeito dinâmico era adotado um coeficiente de impacto variável com o vão da ponte, expresso por:

$$\varphi = 1,4 - 0,007.L \quad (\text{Equação 1})$$

Onde L é o vão da ponte.



Figura 1 – Esquema de carregamento da NB-6/1960 (ABNT (1960))

Em 1982, houve uma alteração na NB-6 (que passou a ser denominada NBR 7188 em 1984) nos padrões de carregamentos para o quais deveriam ser projetadas as pontes, sendo eles: TB120 (para pontes rurais), TB300 e TB450. Este último, mais utilizado nos projetos, é composto por um veículo de 450 kN (150 kN em cada um dos três eixos), multidão de 5,00 kN/m² ao redor do veículo e multidão de 3,00 kN/m² nos passeios, conforme indicado na figura 2. Para consideração dos efeitos dinâmicos foi mantido o coeficiente de impacto adotado na NB-6/1960.

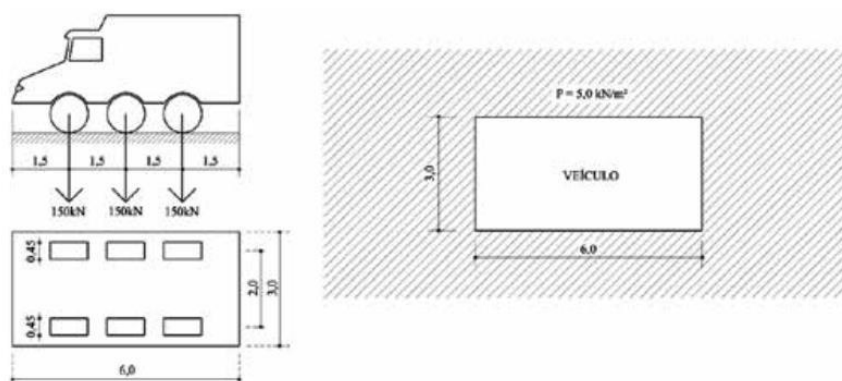


Figura 2 – Esquema de carregamento da NB-6/1982 (ABNT (1982))

Em 2013 a NBR 7188 passou por uma atualização incluindo importantes mudanças com relação às demais. A carga móvel rodoviária padrão passou a ser apenas o trem-tipo TB 450, salvo nos casos de obras em estradas vicinais municipais de uma faixa e obras particulares, onde, a critério da autoridade competente, a carga móvel rodoviária pode ser no mínimo igual ao TB-240.

A mudança mais significativa observada na atualização da NBR 7188 foi com relação à majoração dos esforços que a partir desta alteração, passou a ser feita através da ponderação por três coeficientes: CIV (coeficiente de impacto vertical), CNF (coeficiente do número de faixas) e CIA (coeficiente de impacto adicional).

O CIV tem a função de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. Para estruturas cujo vão é menor que 10 metros, seu valor é igual a 1,35, caso contrário é calculado pela seguinte expressão:

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L_{iv} + 50} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde L_{iv} é o vão expresso em metros.

O CNF relaciona a probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas (exceto acostamento e faixas de segurança). Este coeficiente é calculado através da seguinte equação:

$$CNF = 1 - 0,05 \cdot (n - 2) > 0,9 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde n é o número (inteiro) de faixas de tráfego consideradas na rodovia carregada sobre um tabuleiro transversalmente contínuo.

Finalmente, a ponderação pelo CIA consiste em majorar a carga móvel devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso de juntas de dilatação e nas extremidades da obra, estruturas de transição e acessos. Seus valores dependem do material da ponte, sendo igual a 1,25 para obras em concreto ou mistas e 1,15 para obras em aço.

3 Veículos reais circulantes

EL DEBS et al. (2001) realizaram um estudo das consequências do tráfego de Combinações de Veículos de Carga (CVC's), regulamentadas pelo novo Código de Trânsito e Resolução 68/98 do CONTRAN, sobre as pontes da rede viária do DER-SP. O procedimento utilizado no estudo é baseado em comparações teóricas entre os máximos esforços solicitantes provenientes dos trens-tipo normativos empregados no projeto estrutural das pontes, com os máximos esforços gerados pelas CVC's. Foram empregadas as cargas previstas para as classes 24 e 36 da NB-6:1960 e classe 45 da NBR-7188:1984.

De acordo com os autores, esses veículos representam as piores situações de carregamento móvel real que as pontes estão sujeitas. São elas: a) Rodotrem de 74 t com 19,80 m (RT 74/20); b) Rodotrem de 74 t com 25,00 m (RT 74/25); c) Bi-trem de 74 t com 24,90 m (BT 74/25). Além das CVC's, foi incluído no estudo um caminhão basculante de 48,5 t com 13,50 m de comprimento (BB 48/14), que em tese é o veículo de tráfego normal mais severo em relação às solicitações nas pontes. A figura 3 apresenta cada um desses veículos cujas cargas por eixo consideram o percentual de tolerância de 5% em relação à carga máxima prevista por eixo, sendo essa tolerância prevista na resolução 258/07 do CONTRAN.

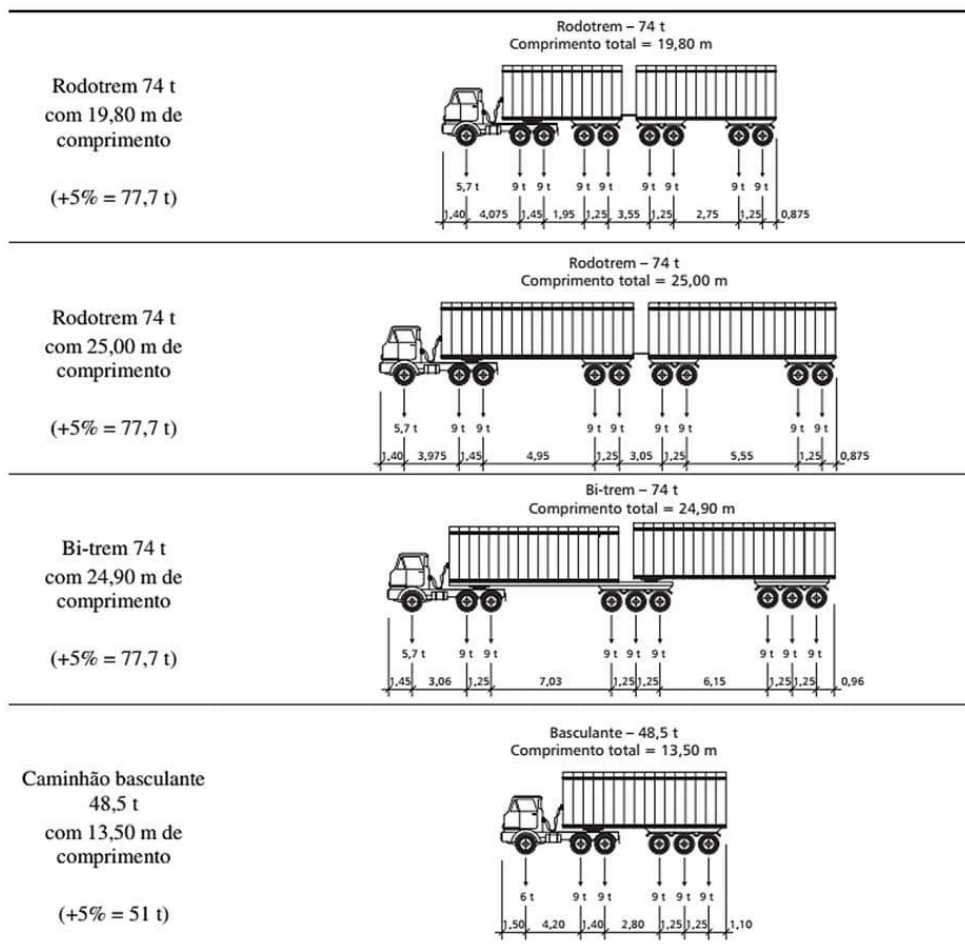


Figura 3 – Esquema de carregamento das CVC's e caminhão basculante (EL DEBS et al.(2001))

4 Metodologia

4.1 Definição dos modelos de pontes

Os modelos de seções transversais para as quais foram realizadas as variações dos vãos para posterior análise dos esforços máximos solicitados nas longarinas foram aqueles apresentados pelo DNIT como sendo seções típicas de pontes em cada época de projeto. Como, segundo o órgão, a maioria das pontes das rodovias federais brasileiras foi projetada a partir da década de 1960, portanto, neste estudo foram utilizados dois tipos de seções transversais: uma típica entre 1960 e 1985 (figura 4) e outra típica a partir de 1985 (figura 5). Neste trabalho, essas seções foram denominadas de tabuleiro estreito e tabuleiro largo, respectivamente. Além disso, os vãos das longarinas de cada grupo foram: 10, 20, 30 e 40 metros.

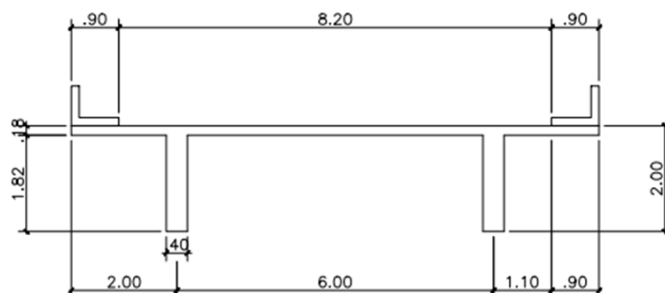


Figura 4 – Seção transversal com tabuleiro estreito (ROSSIGALI et al. (2015))

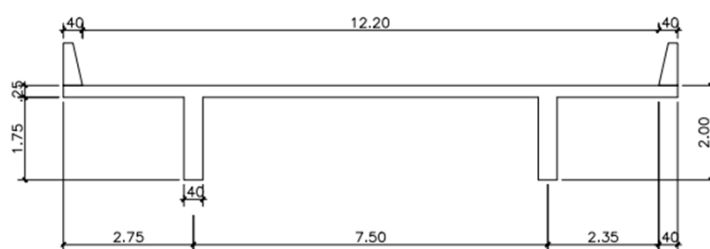


Figura 5 – Seção transversal com tabuleiro largo (ROSSIGALI et al. (2015))

As pontes foram modeladas na extensão Bridge do software SAP2000 com as seguintes características:

- Peso específico: 25 kN/m³;
- Módulo de Elasticidade: 27.000.000 kN/m²;
- Coeficiente de Poisson: 0,2
- Resistência característica à compressão (fck): 30.000 kN/m²

Além disso, as condições de apoio foram modeladas de modo a definir as longarinas como biapoiadas.

4.2 Definição das cargas móveis

As cargas móveis aplicadas nas pontes modeladas na extensão bridge, foram as correspondentes aos trens – tipo da norma NBR 7188 de 1960 (antes NB-6), 1984 e 2013, além das três CVC's e do caminhão basculante. Assim como EL DEBS et al. (2001) na modelagem de uma CVC ou do caminhão basculante foi feita a substituição do veículo normativo do TB450 por esses veículos, ou seja, além da CVC manteve-se a carga uniformemente distribuída com o valor de 5 kN/m² no restante do tabuleiro.

Para análise dos esforços nas longarinas deve-se posicionar a primeira roda do veículo no guarda – rodas, dessa forma a faixa de atuação do veículo tem largura igual 2,5 metros. No restante da seção transversal do tabuleiro até o eixo da longarina oposta a que se pretende analisar, modelou-se outra faixa para atuação da carga de multidão, isso porque, ao aplicar uma carga no balanço da extremidade oposta à longarina analisada

resultaria em alívio dos esforços nas mesmas. Nas pontes de tabuleiro estreito essa faixa mede 4,60 metros e na ponte de tabuleiro largo mede 7,35 metros.

Os esforços provocados pelos carregamentos móveis tiveram seus valores majorados pelos correspondentes coeficientes de impacto previstos na mesma norma que definia os trens – tipos analisados, como mostra a tabela 1. Também, os esforços provocados pelas CVC's e pelo caminhão basculante foram majorados por ambos os coeficientes de impacto, tanto na NB-6 de 1960 que é o mesmo da de 1984 como pelo coeficiente previsto na atual norma vigente a partir de 2013.

Tabela 1 – Associação das cargas móveis aos coeficientes de impacto

CARGAS MÓVEIS	COEFICIENTE DE IMPACTO
TB240, TB360, TB300, TB450, CVC's e Caminhão Basculante	$\phi = 1,4 - 0,007 \times L$
TB450, CVC's e Caminhão Basculante	$\phi = CIV \times CNF \times CIA$

4.3 Casos analisados

Para este estudo, foram calculados e comparados os valores máximos de esforço cortante e momento fletor, utilizando-se os modelos do SAP2000/Bridge para as verificações dos efeitos provocados pela mudança ocorrida na norma NBR7188/2013.

Como as pontes com tabuleiro estreito possuem uma seção típica de ponte projetada entre 1960 e 1985, aplicaram-se a essas pontes os carregamentos previstos na NB-6/1960 que ficou vigente até 1984, e que por isso foi a norma utilizada para o projeto dessas estruturas, ou seja, aplicaram-se o TB240 e o TB360 com e sem os seus respectivos coeficientes de impacto. Também se aplicou a elas o carregamento correspondente às CVC's e o caminhão basculante da forma como já foi mostrado, isso porque, esses carregamentos representam os veículos mais pesados do tráfego brasileiro atualmente e aquelas pontes (a maioria delas, segundo o DNIT) permanecem compondo a malha rodoviária brasileira, e consequentemente, estão sujeitas às solicitações provocadas pelas CVC's e pelo caminhão basculante.

Em contrapartida, às pontes com tabuleiro largo cujos projetos foram executados obedecendo às normas NBR7188 de 1984 e a de 2013 aplicaram-se os trens-tipo TB300, TB450-I (majorado pelo coeficiente de impacto antigo) e TB450-II (majorado pelo coeficiente de impacto atual). Também foram impostos a elas os carregamentos das CVC's e do caminhão basculante com e sem a majoração de ambos os coeficientes de impacto.

5 Resultados e discussão

5.1 Comparação entre os coeficientes de impacto

Sabendo-se que a ponte considerada possui duas faixas de rolamento e que há juntas e/ou descontinuidade na pista de rolamento apenas nas extremidades das pontes, ou

seja, na região dos apoios, as figuras 6 e 7 apresentam gráficos comparativos entre os coeficientes de impacto em função do vão. Como, de acordo com a NBR 7188/2013 um dos coeficientes que compõem o coeficiente de impacto, o CIA, é limitado à condição de uso somente para as seções dos elementos estruturais com distancia horizontal, normal à junta inferior a 5,0 m para cada lado da junta ou descontinuidade estrutural, é apresentado o valor dos coeficientes para a região dos apoios e para o restante do vão, fora desta região.

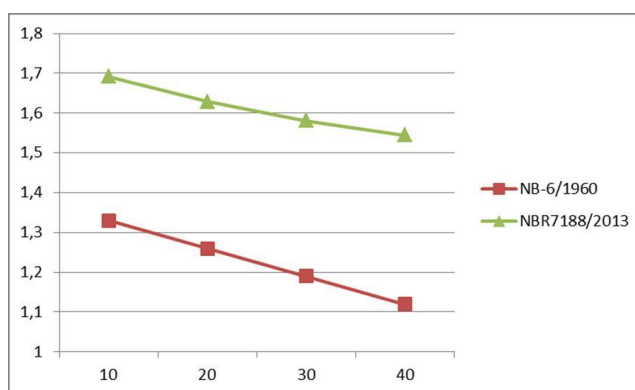


Figura 6 – Coeficientes de impacto em função do vão no apoio $\pm$ 5 metros (SILVA (2016))

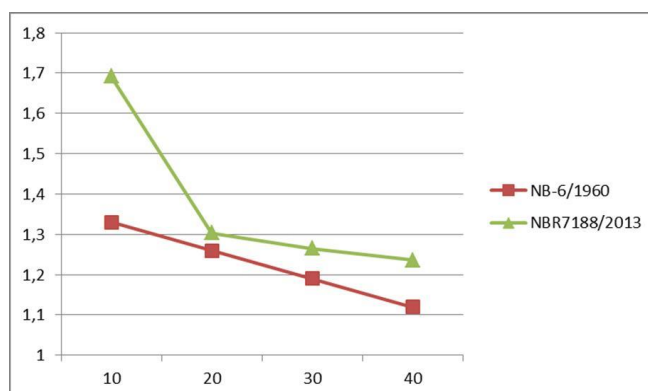


Figura 7 – Coeficientes de impacto em função do vão no restante do tabuleiro (SILVA (2016))

Observa-se que o coeficiente de impacto da norma atual é maior que o da norma antiga para todos os vãos. O que se observa é que, para uma ponte com 10 metros de vão, o coeficiente atual é maior que o anterior algo em torno de 27% para qualquer seção analisada. Essa foi a maior diferença encontrada entre os coeficientes para as seções longe dos apoios. Essa indicação está relacionada ao fato, segundo LUCHI (2006), de as pontes menores apresentarem grande rigidez e que, portanto, absorvem mais esforço.

Pelo gráfico da figura 6, na região próxima aos apoios, é possível notar que o coeficiente de impacto da norma atual se mantém maior que o coeficiente da norma antiga, sendo que a diferença entre eles cresce à medida que se aumenta o vão. Com 40 metros de vão, o coeficiente atual é 37,5% maior que o coeficiente antigo. Isso porque, baseado nos resultados da tese de LUCHI (2006) o viés foi maior no caso da força cortante na seção do apoio que no caso do momento fletor no meio do vão. Essa majoração acentuada na ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

região dos apoios é pertinente, pois segundo ANDRADE (2016), essa região possui uma rigidez maior que no restante do tabuleiro e que, por isso, as solicitações dinâmicas são maiores nesses locais.

No restante do tabuleiro, conforme o gráfico da figura 7 os coeficientes praticamente se igualam com 20 metros de vão e depois, à medida que se aumenta o vão, aumenta também a diferença entre eles. Observa-se, também, que os valores de ambos os coeficientes diminuem com o acréscimo do vão. Isso porque, segundo ANDRADE (2016), o efeito dinâmico das cargas é tanto maior quanto mais leve for a estrutura em relação às cargas que a solicitam.

5.2 Esforços solicitantes nas pontes com tabuleiro estreito

Primeiramente, os gráficos mostrados na figura 8 apresentam os valores dos esforços sem o acréscimo do coeficiente de impacto, lembrando também, que os resultados não incluem os efeitos das cargas permanentes, são os esforços provocados exclusivamente pelo trem-tipo ou por uma CVC combinada com a multidão normativa.

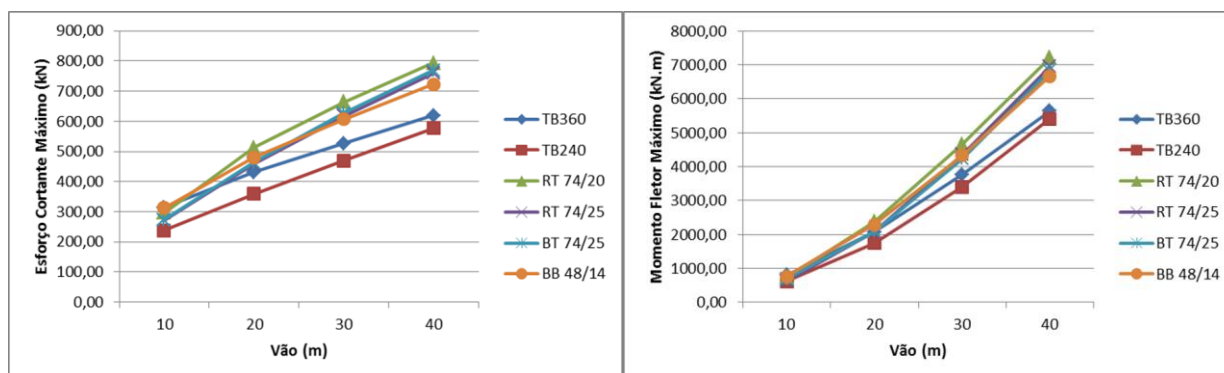


Figura 8 – Comparação dos efeitos das cargas móveis sem o coeficiente de impacto: tabuleiro estreito (SILVA (2016))

Pelo gráfico da figura 8, é possível perceber que a diferença entre os momentos fletores máximos provocados pelo TB360, que é o trem-tipo que mais solicita a longarina, com aquele provocado pelo RT 74/20, que é o veículo real que provoca o maior esforço, só é significativa, cerca de 28%, com 40 metros de vão. O mesmo ocorreu com o esforço cortante, que também com 40 metros de vão se obteve a mesma diferença de 28%, sendo o RT 74/20 mais desfavorável que o TB360 nos dois casos. O trem-tipo da norma antiga, TB360, é compatível com o tráfego de veículos pesados em pontes de até aproximadamente 20 metros de vão, chegando a superar os esforços provocados por eles (exceto o BB 48/14) para pontes com 10 metros de comprimento.

É importante destacar que em nenhum dos casos os esforços provocados pelo TB240 superaram qualquer um dos veículos reais, apresentando uma diferença máxima, na comparação com o RT 74/20, de 37% para o momento fletor e de 43% no que se refere ao esforço cortante. Verificou-se, também que para vãos menores que 20 metros o caminhão basculante provoca esforços maiores que todas as outras CVC's, exceto o RT ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

74/20 que em 20 metros são praticamente iguais. Este veículo apresentou esforços maiores que o BT 74/25 e RT 74/25 até 35 metros de vão.

Embora o conhecimento dos esforços nominais sirva para uma comparação dos mesmos, importam para as verificações os valores nominais afetados pelos respectivos coeficientes de impacto. Os gráficos mostrados na figura 9 apresentam os esforços máximos provocados pelo carregamento majorado pelo coeficiente de impacto da NB-6/1960 em todos os casos. Já os gráficos da figura 10, mostram os resultados nos quais se têm as CVC's e o caminhão basculante afetados pelo coeficiente de impacto atual.

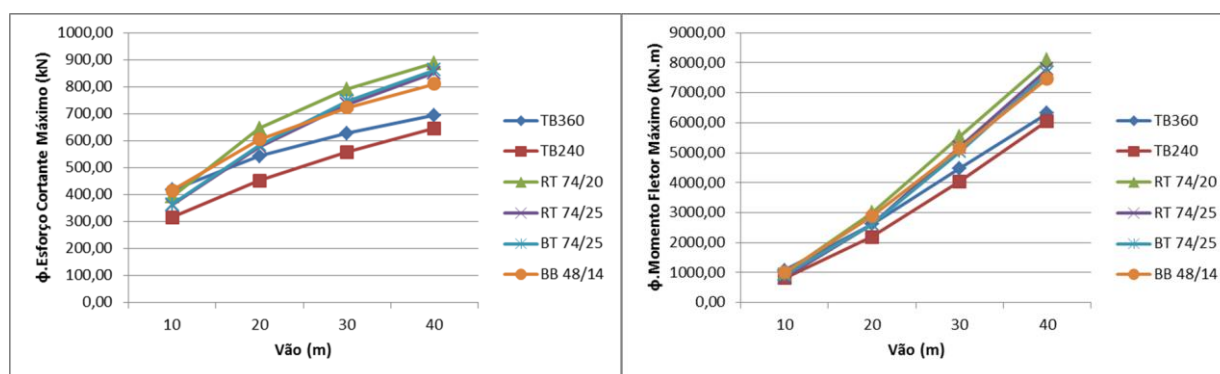


Figura 9 – Comparação dos efeitos de cargas móveis: trens-tipo e veículos reais com coeficiente de impacto da NB-6/1960 (SILVA (2016))

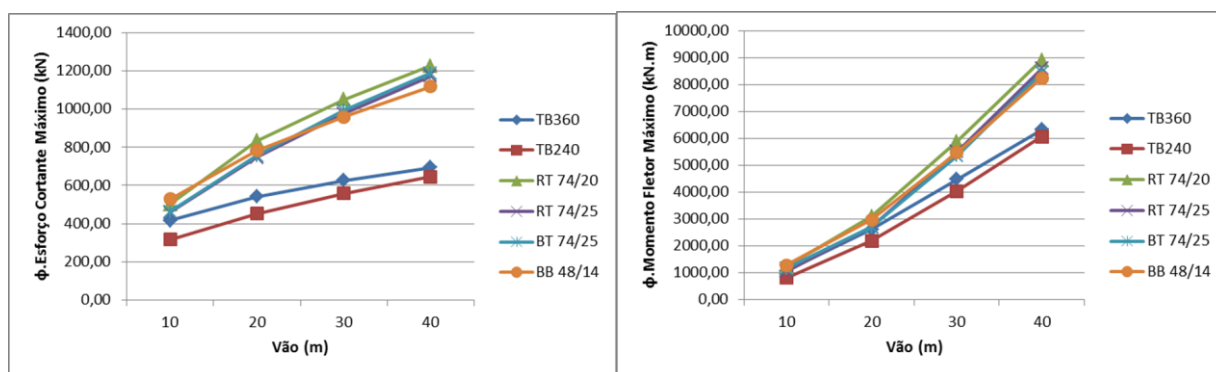


Figura 10 – Comparação dos efeitos de cargas móveis: trens-tipo com o coeficiente de impacto da NB-6/1960 e veículos reais com coeficiente de impacto da NBR-7188/2013 (SILVA (2016))

Os resultados apresentados nos gráficos da figura 9 revelam aquilo que já era esperado: ao utilizar-se o coeficiente de impacto da norma antiga em todos os carregamentos, a diferença máxima entre a solicitação de um veículo real e a do trem-tipo mais desfavorável, neste caso entre o RT 74/20 e o TB360, é de 28%, ou seja, a diferença observada para os esforços nominais estudados anteriormente se manteve na mesma faixa, mantendo os esforços provocados pelo RT 74/20 maiores que aqueles provocados pelo TB360.

Na análise da figura 10, verifica-se que os esforços provocados pelo TB360 são menores que aqueles provocados por todas as CVC's qualquer que seja o vão. Tomando o RT

74/20, que é o veículo que provoca as solicitações mais desfavoráveis nas longarinas, o momento fletor provocado por ele é 41% maior que o provocado pelo TB360 e 51% maior que o TB240, ambos em pontes com 40 metros de vão. Note-se que essa diferença tende a aumentar à medida que se aumenta o vão na comparação com o TB360. Porém, é possível observar que o TB360 acrescido de seu respectivo coeficiente de impacto ainda se mostra compatível, no que tange ao momento fletor máximo provocado por ele, com as solicitações do RT 74/25 e do BT 74/25 para pontes com vãos de até 15 metros.

Por outro lado, ao analisar o esforço cortante, como era esperado, essas diferenças apresentaram-se ainda maiores; comparando o RT 74/20 com os trens-tipo normativos TB360 e TB240, aquele é maior que esses cerca de 77% e 90%, respectivamente. Portanto, percebe-se uma diferença extremamente significativa no estudo comparativo desse esforço, mostrando, assim, o efeito da mudança ocorrida na norma atual feita com a finalidade de atingir o esforço cortante, baseando-se na recomendação da tese de LUCHI (2006).

Entretanto, pode ser preocupante o fato das solicitações provocadas pelo caminhão basculante se igualarem e até superarem (até vão de 35 m) àquelas provocadas tanto pelo bi-trem como pelo rodotrem de 75 toneladas com 25 metros de comprimento, isso porque, de acordo com o CONTRAN, o caminhão basculante é um dos veículos mais comuns no tráfego nas rodovias brasileiras. Essa constatação mostra que o esforço provocado por um veículo ao trafegar sobre uma ponte não depende apenas do peso total, mas também do seu comprimento, além da distância entre os seus eixos, ou seja, depende, fundamentalmente, de como essa carga se distribui pelos seus eixos.

5.3 Esforços solicitantes nas pontes com tabuleiro largo

Os gráficos mostrados na figura 11 apresentam os esforços ainda não afetados pelo coeficiente de impacto.

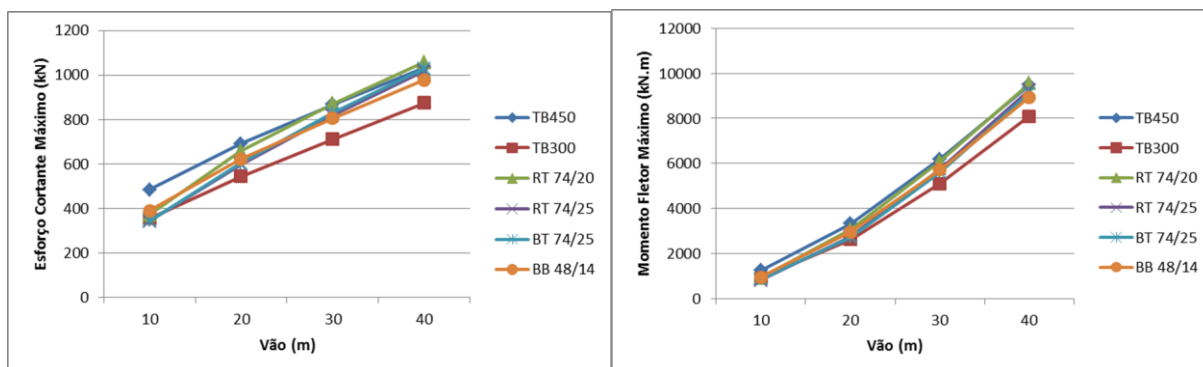


Figura 11 - Comparação dos efeitos das cargas móveis sem o coeficiente de impacto: tabuleiro largo (SILVA (2016))

Analisando os gráficos da figura 11 percebe-se que, em termos de esforços nominais, o TB450 supera todos aqueles provocados pela combinação das CVC's com a multidão normativa. Verifica-se também, que as diferenças entre os esforços provocados pelo ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

TB450 e aqueles provocados pelas CVC's diminuem à medida que se aumentou o vão. Apenas os esforços provocados pelo RT 74/20 chegam a se igualar àqueles provocados pelo TB450 para vãos de 40 metros.

Com relação ao TB300, ele também se mostra compatível com os momentos fletores máximos provocados pelas CVC's RT 74/25 e BT 74/25 até próximo a vãos de 15 metros. Esse trem-tipo apresentou resultados, com relação ao esforço cortante, inferiores a todas as CVC's a partir dos 20 metros de vão com uma diferença maior que aquela observada para o momento fletor.

Os gráficos da figura 12 mostram a comparação quando os trens-tipo são afetados por seus respectivos coeficientes de impacto, da forma explicada anteriormente, e as CVC's majoradas pelo coeficiente de impacto da NBR 7188/1984. Nos gráficos da figura 13 tem-se a mesma situação para os trens-tipo, porém, as CVC's tiveram seus carregamentos afetados pelo coeficiente de impacto da norma em vigor.

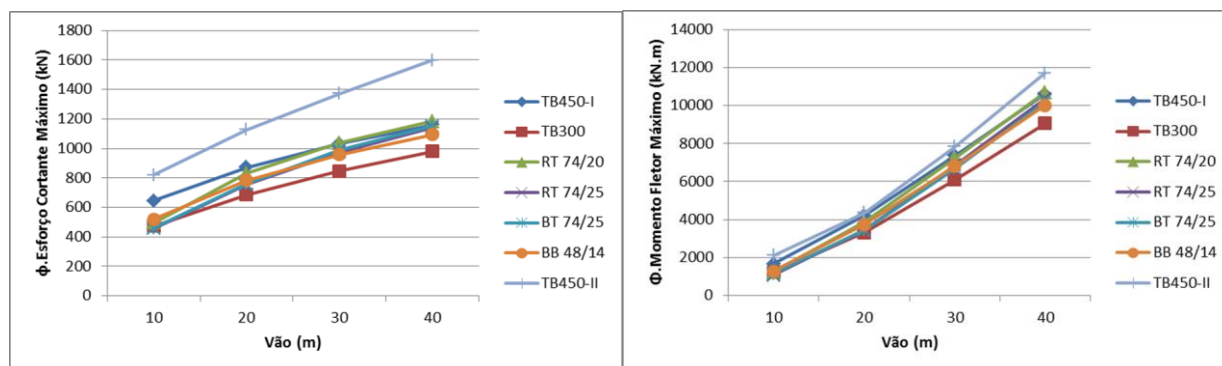


Figura 12 - Comparação dos efeitos de cargas móveis: trens-tipo com seus respectivos coeficientes de impacto e veículos reais com coeficiente de impacto da NBR 7188/1984 (SILVA (2016))

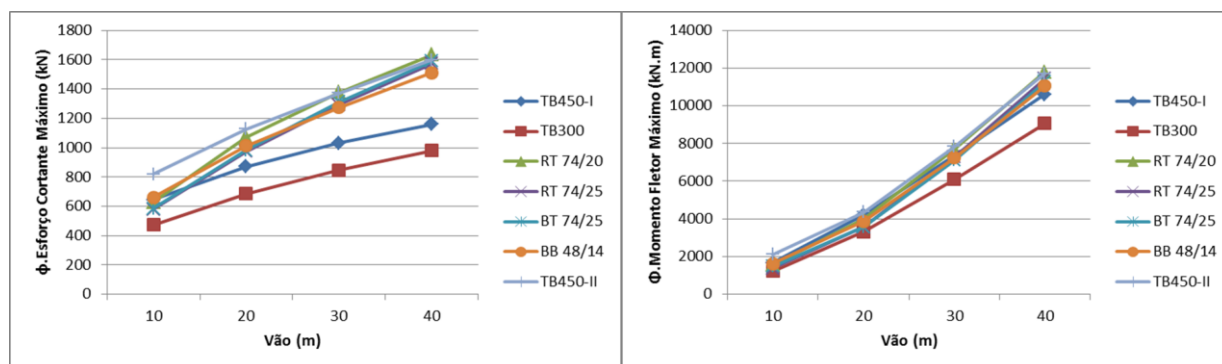


Figura 13 - Comparação dos efeitos de cargas móveis: trens-tipo com seus respectivos coeficientes de impacto e veículos reais com coeficiente de impacto da NBR 7188/2013 (SILVA (2016))

Na primeira comparação, embasando-se nas informações extraídas dos gráficos da figura 12 conclui-se que o TB450 em vigor atualmente provoca os maiores esforços na comparação com os esforços provocados pelos outros trens-tipo, inclusive o próprio TB450 majorado pelo coeficiente de impacto antigo, e pelas CVC's combinadas com a

carga de multidão normativa, majoradas também, pelo coeficiente de impacto antigo. Observa-se que essas diferenças são maiores para o esforço cortante.

Com 40 metros de vão, o momento fletor máximo provocado pelo TB450 majorado pelo novo coeficiente de impacto é maior 9,5% que aquele provocado pelo RT 74/20, que representa nesse estudo, a pior situação provocada por um veículo real. Foi observado que essa diferença é maior para as pontes com menores vãos. Assim, nas pontes com vão de 10 metros, o momento fletor máximo provocado pelo TB450 é maior 71,48% que aquele provocado pelo RT 74/20. Já com relação ao esforço cortante máximo, como era esperado, o TB450-II superou os veículos reais em uma faixa compreendida entre 32% e 80%.

Comparando-se agora o TB450-II com o mesmo TB450, só que majorado pelo antigo coeficiente de impacto (TB450-I), verifica-se que aquele provoca momentos fletores máximos maiores 27,19% que este, em pontes com 10 metros de vão. O esforço cortante máximo provocado pelo TB450-II é maior que aquele provocado pelo TB450-I, cerca de 38%, em pontes de 40 metros de vão. Percebe-se, que as diferenças existentes nessa seguem a mesma tendência dos gráficos apresentados nas figuras 7 e 8.

Entretanto, é importante destacar que os esforços provocados pelo TB450-I, também superaram aqueles provocados pelas CVC's. Destaca-se que essas diferenças diminuem à medida que se aumenta o vão. Assim, somente nas pontes com 40 metros de vão o RT 74/20 superou esse trem-tipo apenas 0,7% e 2% com relação ao momento fletor máximo e ao esforço cortante máximo, respectivamente.

Na comparação entre os veículos reais, percebe-se mais uma vez que o RT 74/20 apresentou os maiores esforços. Verificou-se, também, que o caminhão basculante solicitou a ponte com maiores momentos fletores até 30 metros de vão na comparação com o RT 74/25 e BT 74/25. Na análise do esforço cortante, essa superioridade foi observada até 20 metros de vão.

Com relação ao TB300, percebeu-se que os esforços por ele provocados não superam os esforços provocados por nenhum dos veículos reais em nenhum dos vãos, embora as diferenças sejam bem pequenas com relação ao RT 74/25 e ao BT 74/25 em pontes com vãos de até 15 metros.

No estudo dos resultados apresentados pelos gráficos da figura 13, percebe-se que o TB450 majorado pelo atual coeficiente de impacto é compatível com todas as CVC's, no que se refere tanto ao momento fletor como ao esforço cortante. Comparando o TB300 com as CVC's, percebeu-se que estas provocam esforços cada vez maiores que aquele à medida que se aumenta o vão. Em pontes com 40 metros de vão, o momento fletor provocado pelo RT 74/20 é 30% maior que aquele provocado pelo TB300, sendo que o percentual sobe para 67% quando se compara os valores do esforço cortante.

Por outro lado, comparando os momentos fletores máximos provocados pelo TB450 sobre o qual se aplicou o coeficiente de impacto antigo, ainda é possível afirmar que o carregamento desse trem-tipo é compatível com todas as CVC's, exceto o RT 74/20, até pontes com vãos de no máximo 35 metros. Entretanto, o momento fletor provocado pelo RT 74/20 supera aquele do TB450-I em pontes com vão de 25 metros.

Com 40 metros de vão, os esforços provocados pelas CVC's são maiores que aqueles provocados pelo TB450-I numa faixa que se situa entre 4% e 11%, que pode ser considerado irrisório.

Ainda analisando o TB450-I frente às CVC's, verificando agora os esforços cortantes máximos, observou-se o que era esperado, o resultado destas superou o daquele em quase todas as situações. Além disso, essas diferenças aumentaram à medida que se aumentou o vão. O BB 48/14 superou o TB450-I para qualquer vão. Os demais superaram o trem-tipo da norma NBR 7188/1984 com seu respectivo fator de majoração a partir dos 15 metros de vão.

Como era esperado, o TB300 se mostrou incompatível com quaisquer CVC's. Tomando por base o BT 74/25, que em média foi o veículo real que provocou os menores esforços, ainda assim esses esforços superaram o TB300 cerca de, 24% e 62%, para o momento fletor e esforço cortante, respectivamente.

5.4 Comparação da relação carga móvel/carga total

Pretendeu-se, na análise dessa relação, verificar quanto a parcela referente à carga móvel contribui para o valor dos esforços que são utilizados para o dimensionamento das longarinas bem como para o cálculo de suas armaduras. Os esforços decorrentes do peso próprio da estrutura são considerados automaticamente pelo programa tendo por base os dados de entrada que se referem às características físicas e geométricas da ponte. As demais ações permanentes consideradas nas análises foram: guarda-rodas, pavimentação asfáltica e o recapeamento (recomendado pela NBR 7187/2003).

De uma forma geral, analisando os gráficos das figuras 14 e 15, percebe-se que a participação da carga móvel na determinação dos esforços característicos de projeto diminui com o acréscimo do vão. Observou-se que devido às considerações previstas na norma NBR7188/2013, tanto o momento fletor como esforço cortante provocados pelo TB450, majorado pelo coeficiente de impacto previsto na referida norma, respondem por 66% do esforço total característico utilizado para o cálculo das longarinas com vão de 10 metros. Enquanto que o TB450 majorado pelo coeficiente de impacto previsto na NBR 7188/1984, para esse mesmo vão, participa com aproximadamente 60% do valor do esforço final característico.

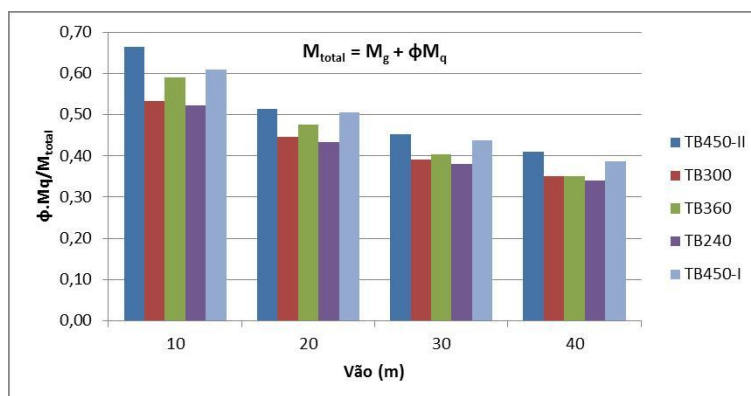


Figura 14 - Parcela do momento fletor característico de projeto provocado pelas cargas móveis (SILVA (2016))

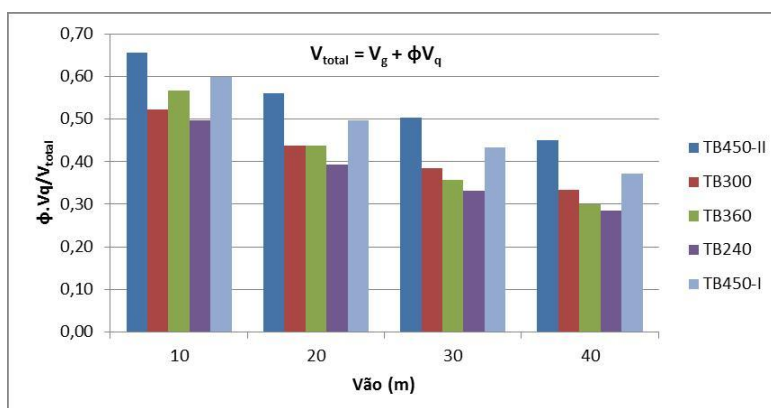


Figura 15 - Parcela do esforço cortante característico de projeto provocado pelas cargas móveis (SILVA (2016))

Ao se analisar as parcelas do esforço cortante provocados pelos trens-tipo da norma NB-6/1960, TB360 e TB-240, observou-se que essa parcela é de um pouco mais de 30% nas longarinas com vãos iguais a 40 metros, enquanto que o TB450-II responde por quase 45% do esforço característico de dimensionamento das longarinas para a mesma situação. Essa constatação revela, mais uma vez, que o efeito mais significativo, provocado pelas mudanças ocorridas na norma NBR7188/2013, incidiu, principalmente, no esforço cortante.

6 Conclusão

Pelo exposto, conclui-se que o trem-tipo único proposto pela norma NBR 7188/2013, o TB450, atende muito bem às piores situações prováveis de carregamento móvel atuante sobre o tipo de ponte utilizado neste trabalho, na análise do momento fletor máximo. Entretanto, a partir deste estudo verificou-se algo que pode ser preocupante: o caminhão basculante, veículo pesado mais comum no tráfego das rodovias brasileiras, apresentou resultados mais desfavoráveis que o rodotrem e o bitrem com 25 metros de comprimento ambos com peso total combinado de 74 toneladas.

No que se refere ao novo coeficiente prescrito pela atual norma, percebeu-se o atendimento às recomendações propostas pela tese de LUCHI (2006), ou seja, que a

adoção desse novo coeficiente como fator de majoração do carregamento deveria incidir de forma mais contundente sobre o esforço cortante atuante sobre as longarinas, já que aquele autor percebeu através do seu estudo, ser esse esforço o maior viés observado.

7 Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 6: Carga Móvel em Pontes Rodoviárias**. Rio de Janeiro, 1960.

_____. **NBR 7187: Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NB 6: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre**. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7188: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre**. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7188: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e Outras Estruturas**. Rio de Janeiro, 2013.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – USP. **Análise das Conseqüências do Tráfego de CVCs (Combinações de Veículos de Carga) sobre as Obras de Arte Especiais da Rede Vária do DER – SP**. Relatório Técnico. Junho, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. Publicação IPR – 709. 2.ed. Rio de Janeiro, 2004.

LUCHI, Lorenzo Augusto Ruschi. **Reavaliação do Trem-Tipo à Luz das Cargas Reais nas Rodovias Brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: < www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-15122006-104605/>. Acesso em: 10 jun. 2016.

MENDES, P. T. C.; MOREIRA, M. T. M.; PIMENTA, P. M. **Efeitos de cargas permanentes, trens-tipo e veículos reais em pontes em vigas**. Revista Ibracon de Concreto e Construções, Rio de Janeiro, v.1, n. 69, p. 53 – 61. 2013.

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