

Análise comparativa entre trem-tipo da ABNT NBR 7188:2013 com tipologias de caminhões licenciados pelo DNIT, no comportamento mecânico de pontes sobre duas longarinas.

**Márcio Apolo Lima Leite Júnior¹, Brunna Maria Nogueira Barbosa Silva²,
Rodrigo Carvalho da Mata³**

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás / marcioapolo@gmail.com

²Pontifícia Universidade Católica de Goiás / brunna Barbosa@outlook.com

³Pontifícia Universidade Católica de Goiás / rcmata1@gmail.com

Resumo

Este trabalho realizou a comparação das tipologias de caminhões homologados pelo DNIT a partir da Resolução nº 640, de 14 de dezembro de 2016, que altera a Resolução CONTRAN nº 211, de 13 de novembro de 2006, a qual estabelece os requisitos necessários para a circulação de Combinações de Veículos de Carga (CVC) em que a concessão da Autorização Especial de Trânsito (AET) de veículos com Peso Bruto Total Combinado (PBTC) passa de 74 para 91 toneladas, o trem-tipo da ABNT NBR 7188 (2013), para pontes que suportam solicitações variáveis referente a veículos com peso total de 450 kN (45 ton) e carga de multidão uniformemente distribuída de 5 kN/m² combinadas em tipologia de pontes isostáticas e com duas longarinas. Com os dados obtidos pela análise estrutural, obtiveram-se valores de sobrecarga equivalente a 11,2%, em pontes com vãos superiores a 20 m, pelos veículos de 91 toneladas homologados pelo DNIT, comparando-se com o carregamento do TB 450 da ABNT NBR7188:2013.

Palavras-chave

Trem-tipo; ponte sobre duas longarinas; carga móvel; sobre carga; TB 450 da ABNT NBR7188:2013.

Introdução

Atualmente o transporte rodoviário é predominante no nosso país. Segundo o PNL – Plano Nacional de Logística e Transportes (2012), na matriz de transporte brasileira, o transporte rodoviário possui uma participação equivalente a 52%, em quantidades de toneladas-quilômetro-úteis (TKU's) em relação aos outros modais, fato este que denota a economia brasileira ainda é bastante dependente desse modo de transporte.

Sendo assim, projetos e execuções dessas Obras de Arte Especiais (OAE) são de grande importância para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil. As pontes sob duas longarinas em diversos vãos são as obras de arte especiais mais utilizadas em todo o País, por serem eficazes e de baixo custo.

Para melhor entendimento do comportamento do carregamento sob essas pontes, utilizou-se o processo de cálculo de vigas independentes, onde, segundo EL DEBS e TAKEYA (2009), o trem-tipo é determinado com suficiente exatidão. Para tanto, admitiu-se que uma carga disposta sobre o tabuleiro se repartisse entre as duas vigas em dois quinhões inversamente proporcionais às distâncias da carga às vigas e se supôs que o tabuleiro,

para efeito de distribuição das cargas às duas vigas, se comportasse como uma viga transversal (geralmente com balanços) simplesmente apoiada sobre as vigas longitudinais.

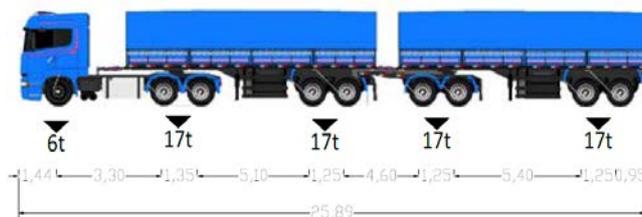
Para o cálculo dos esforços, o carregamento foi feito diretamente sobre uma viga, para qualquer trem-tipo, obtendo-se então os momentos fletores e as forças cortantes em qualquer seção da viga em estudo, mediante as respectivas linhas de influência. Permitiu-se, assim, determinar esses diagramas com ajuda do *software* F-tool 3.01 (PUC RJ, 2015), em cada um dos veículos homologados pelo DNIT.

Metodologia

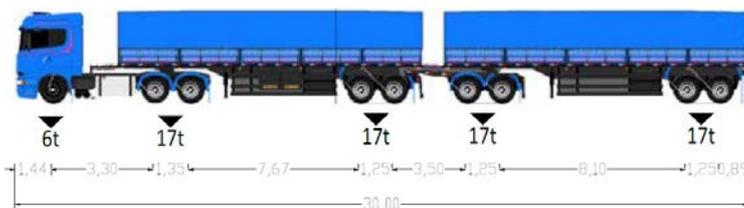
A presente pesquisa se classifica como de natureza aplicada de procedimentos de coleta de dados dos trens-tipos homologados pelo DNIT, por meio da Resolução nº 640, de 14 de dezembro de 2016, quando altera a Resolução nº 211 de 13 de novembro de 2006, no que se refere aos requisitos para circulação de Combinações de Veículos de Carga, para concessão da Autorização Especial de Trânsito de veículos com Peso Bruto Total Combinado de 74 toneladas a 91 tonelada. Foram adotados para este trabalho os veículos homologados pelo DNIT de 74 toneladas e 91 toneladas, de acordo com as Figuras 1 a 5. Para este trabalho, foram utilizados alguns tipos de caminhões usuais nas rodovias do país, conforme mostrado abaixo:



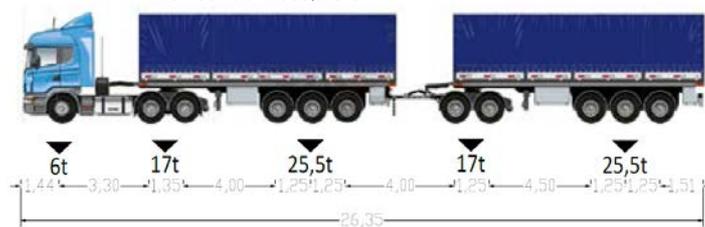
**Figura 1 – TB 740 Bi-trem de 74 tf com 9 eixos.
Comprimento total de 24,94 metros.**



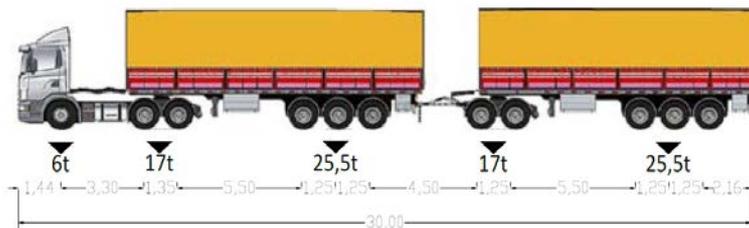
**Figura 2 – TB 740 Rodo-trem de 74 tf com 9 eixos.
Comprimento total de 25,89 metros.**



**Figura 3 – TB 740 Rodo-trem de 74 tf com 9 eixos.
Comprimento total de 30 metros.**



**Figura 4 – TB 910 Rodo-trem de 91 tf com 11 eixos.
Comprimento total de 26,35 metros.**



**Figura 5 – TB 910 Rodo-trem de 91 tf com 11 eixos.
Comprimento total de 30 metros.**

Para compreender o processo de cálculo de vigas independentes de acordo com a EL DEBS e TAKEYA (2009), utilizou-se a linha de influência para determinar as cargas móveis. Comparou-se a disposição das cargas dos veículos homologados pelo DNIT em pontes projetadas conforme o trem-tipo da ABNT NBR 7188:2013, de múltiplas longarinas e com vãos de 20 a 40 metros com seção transversal de 9 m, conforme Figura 6 e 7.

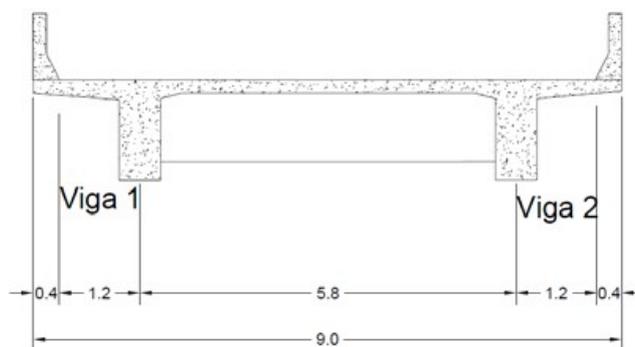


Figura 6 – Esquema ilustrativo da ponte estudada.

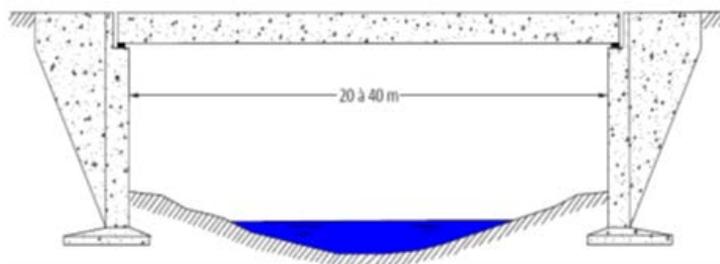


Figura 7 – Esquema ilustrativo da ponte estudada

Resultados e discussão

Foram utilizadas para os cálculos deste estudo as dimensões do veículo da Mercedes – Bens modelo Axor 3344 S 6x2. Com as dimensões do trem-tipo TB 450 da ABNT NBR 7188:2013, calculou-se a linha de influência utilizando o *software* Autodesk AutoCAD® 2017, assim determinando os quinhões de parcela de carga na Viga 1, e as cargas móveis por eixo e cargas de multidão interna e externa, de acordo com a Figura 8.

SEÇÃO TRANSVERSAL TB 450

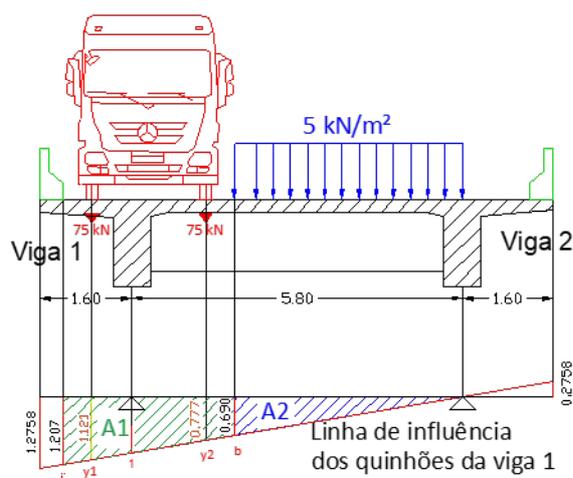


Figura 8 – Cálculo da linha de influência na viga 1 do TB 450 ABNT NBR 7188:2013.

Cálculo da carga móvel nas rodas:

$$P1 = \phi P \times (y1 + y2) \quad (1)$$

$$P1 = 75 \text{ [kN]} \times (1,121 + 0,777)$$

$$P1 = 142,2 \text{ kN}$$

Cálculo da carga de multidão externa:

$$p1 = \phi p \times (A1 + A2) \quad (2)$$

$$p1 = 5 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \times \frac{1,207 \times 7 \text{ [m]}}{2}$$

$$p1 = 21,2 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

Cálculo de carga de multidão interna:

$$p2 = \phi p \times A2 \quad (3)$$

$$p2 = 5 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \times \frac{0,690 \times 4 \text{ [m]}}{2}$$

$$p2 = 6,90 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

Para o cálculo da linha de influência dos veículos homologados no DNIT, precisa-se determinar o valor estimado para cada roda. Conforme a capacidade de eixos, tem-se que o eixo dianteiro tem capacidade de carga de 6 tf, então efetuando-se a divisão por 2 têm-se 3 tf para cada roda o que equivale a 30 kN. Já para o eixo tandem duplos, tem-se a capacidade de carga de 17 tf o conjunto, dividido pela quantidade de rodas, encontram-

se 4,25 tf por roda o equivalente a 42,5 kN. Com essas informações, obtiveram-se os dados de carregamento móvel, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado dos cálculos de carga móvel nos veículos homologados pelo DNIT (Fonte: Autores).

Eixo	$P1$ (kN)	$p1$ (kN/m)	$p2$ (kN/m)
Dianteiro	59,07	21,2	8,42
Tandem	83,97	21,2	8,57

1) adotado para os cálculos o maior valor de $p2$.

De acordo com a ABNT NBR 7188:2013, devem-se obter os coeficientes de impacto com os dados da Tabela 2, para cada uma das pontes estudadas.

Tabela 2 –Dados da Ponte (Fonte: Autores).

Vão (metro)	Nº Faixas	Tipo de Material
20	2	Concreto armado
30	2	Concreto armado
40	2	Concreto armado

Deve-se levar em consideração, nos cálculos das cargas móveis, o coeficiente de impacto, conforme as equações: (ABNT NBR 7188:2013).

$$\varphi = CIV \times CNF \times CIA \quad (4)$$

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{Liv^* + 50} \right) \quad (5)$$

$$CNF = 1 - 0,05 \times (N - 2) > 0,9 \quad (6)$$

Sendo:

CIV - coeficiente de impacto vertical.

* Liv – Tamanho do vão, para

$$Liv < 10 \text{ m} \quad (7)$$

usar,

$$CIV = 1,35 \quad (8)$$

CNF - coeficiente de número de faixas.

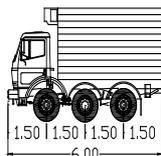
CIA - coeficiente de impacto adicional de acordo com o material utilizado na construção, sendo o valor de 1,25 para concreto armado e estruturas mistas e 1,15 para estruturas de aço.

Com todos os dados, obteve-se o coeficiente de impacto (φ) para os vãos de 20 a 40 metros, conforme Tabela 3.

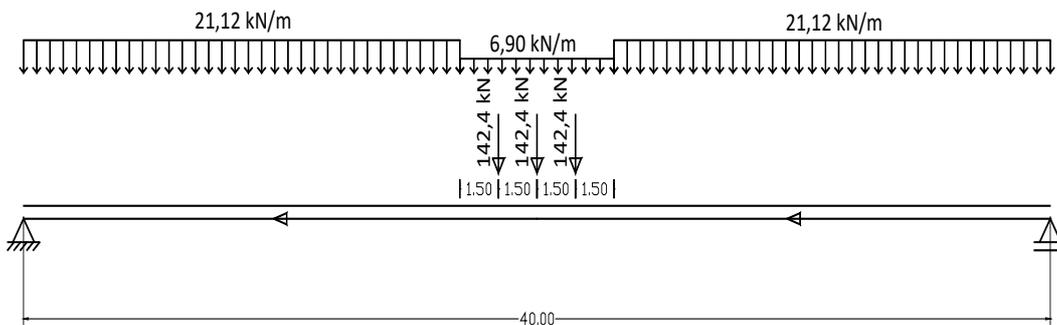
Tabela 3 – Cálculo do coeficiente de impacto. (Fonte: Autores).

CIV	CNF	CIA	φ
1,303	1	1,25	1,629
1,265	1	1,25	1,581
1,236	1	1,25	1,544

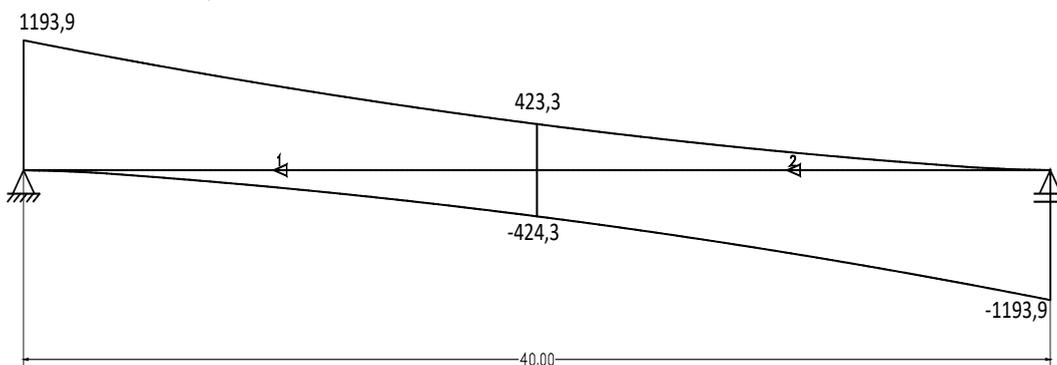
Utilizando o *software* F-tool 3.01 (PUC RJ, 2015), foram lançadas as cargas móveis, cargas de multidão interna e externa, distâncias entre eixo dos caminhões e coeficiente de impacto, obtendo-se o diagrama de esforços cortantes e diagrama de momento fletor dos carregamentos característicos como mostrado na Figura 9 para o TB 450 da ABNT NBR 7188:2013 em pontes de 20 metros. Com essa ferramenta, determinaram-se e compararam-se esses esforços em tabuleiros de 20 a 40 metros. Para melhor compreensão, na Figura 10, podem-se visualizar os diagramas do veículo homologado, aqui representados pelo TB 910 de 26,35 metros, veículo com PBT característico 91tf, também os diagramas com acréscimo de 5% no seu PBT em pontes de 40 metros.



CARREGAMENTO MÓVEL



ENVOLTÓRIA DO ESFORÇO CORTANTE



ENVOLTÓRIA DO MOMENTO FLETOR

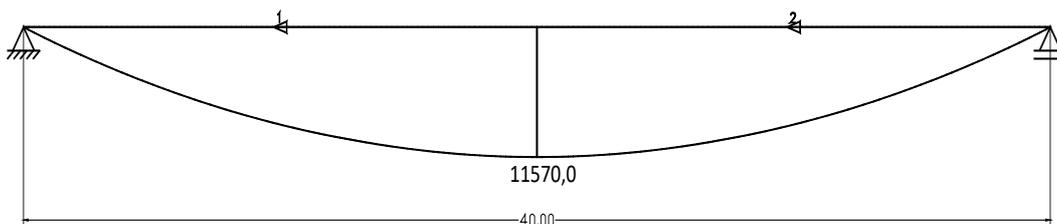


Figura 9 – Composição das Cargas móveis, envoltória de momento fletor, envoltória de esforço cortante, do TB 450 ABNT NBR 7188:2013.

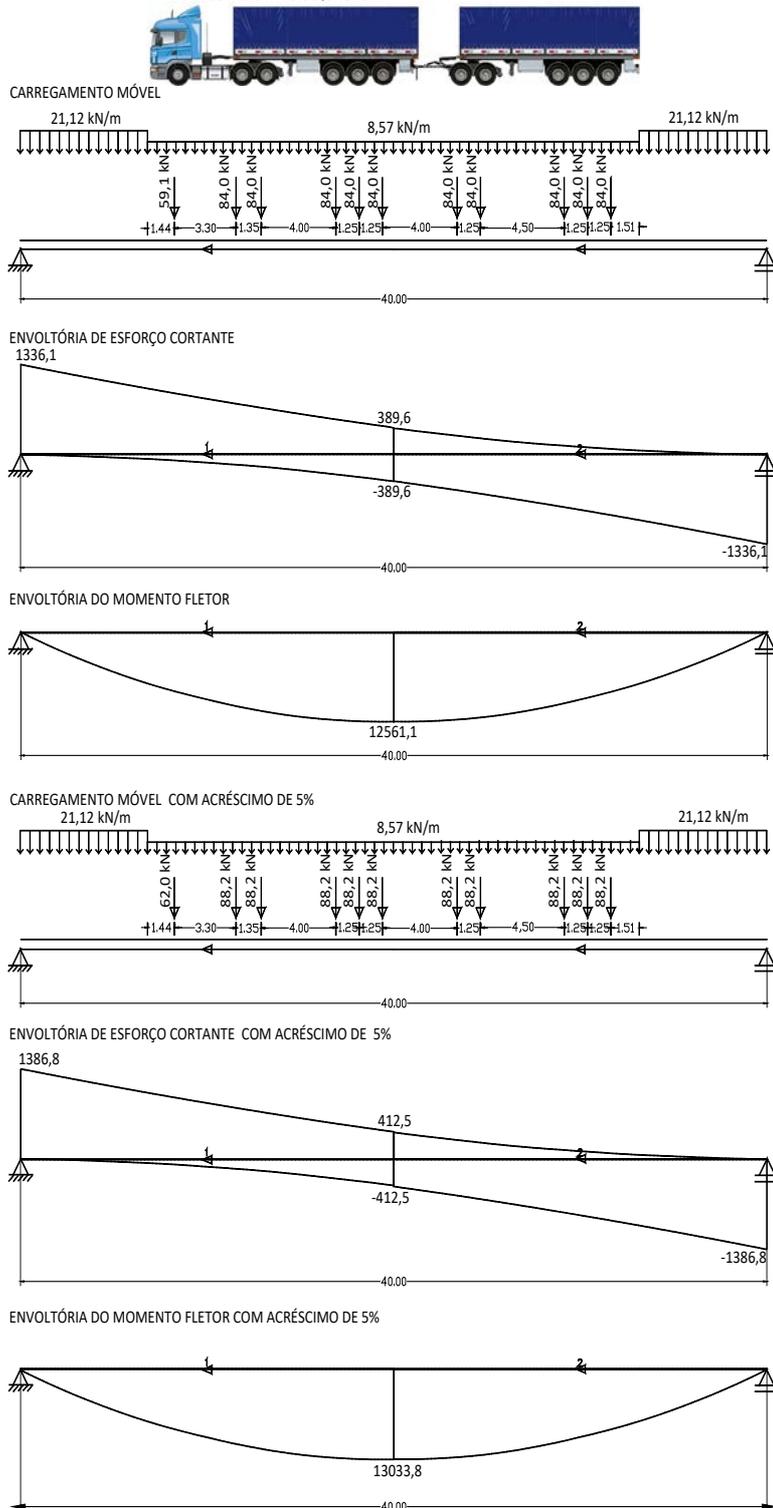


Figura 10 – Composição das Cargas móveis, envoltória de momento fletor, envoltória de esforço cortante, do veículo TB 910.

Com os resultados obtidos no *software* F-tool 3.01, foi feita uma tabela com os dados de momento fletor máximo e se obtiveram as percentagens negativas para os valores que não excederam os de cálculo e positivas para os valores que ultrapassaram os valores

obtidos em comparação com o TB 450. Foi traçada uma linha de referência com o resultado do TB 450 para cada uma das pontes em estudo, o que facilitou a observação dos resultados obtidos em relação aos demais veículos em estudo. Esses resultados podem ser observados nas tabelas 4 a 6, como também nas Figuras 11 a 12.

Tabela 4 – Dados das envoltórias dos momentos fletores dos carregamentos móveis na ponte 20 metros.

Trem-tipo	$kN \times m$	%	$kN \times m + 5\%$	%
TB 450	4256	-	-	-
TB 740 - 24,94 m	3203,2	-32,9%	3322,2	-28,1%
TB 740 - 25,89 m	3065,5	-38,8%	3177,6	-33,9%
TB 740 - 30 m	2862,8	-48,7%	2965,6	-43,5%
TB 910 - 26,35 m	3712,2	-14,6%	3855,5	-10,4%
TB 910 - 30 m	3436,2	-23,9%	3566,3	-19,3%

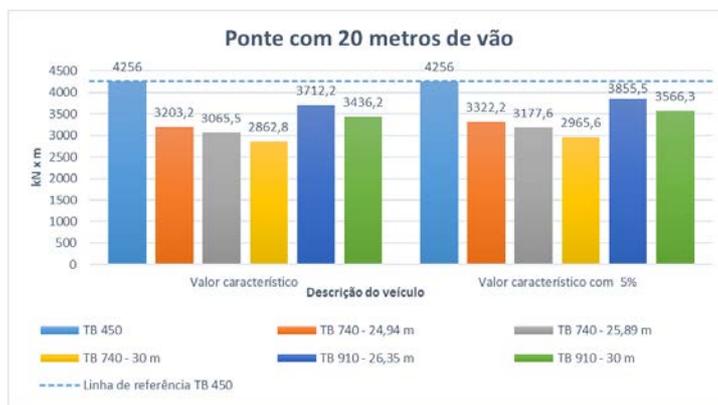


Figura 11 – Gráfico demonstrativo da envoltórias do momento fletor dos diversos trem-tipo em estudo, para ponte de 20 metros.

Observa-se que todos os veículos estão de acordo quando comparados com o TB 450, que obteve valor de momento máximo igual a 4256 kNm, e os demais valores abaixo do de cálculo. Isso ocorreu, devido aos veículos aqui estudados terem comprimento superior ao vão da ponte, não projetando todas as cargas de eixos em cima da ponte, o que proporcionou uma redução considerável na ponte estudada, obtendo percentuais de até 10,4 % na pior situação que seria do TB 910 de 26,35 metros, com acréscimo de 5% no seu PBT.

Tabela 5 – Dados das envoltórias dos momentos fletores dos carregamentos móveis na ponte 30 metros.

Trem-tipo	$kN \times m$	%	$kN \times m + 5\%$	%
TB 450	7562,6	-	-	-
TB 740 - 24,94 m	6824,3	-10,8%	7094,3	-6,6%
TB 740 - 25,89 m	6439,5	-17,4%	6682,9	-13,2%
TB 740 - 30 m	5981,1	-26,4%	6203,9	-21,9%
TB 910 - 26,35 m	7689,3	+1,6%	7995,6	+5,4%
TB 910 - 30 m	7021,5	-7,7%	7296,2	-3,7%



Figura 12 – Gráfico demonstrativo da envoltória do momento fletor dos diversos trem-tipo em estudo, para ponte de 30 metros.

Já em pontes de 30 metros de vão, pôde-se observar que, comparado com o TB 450 que obteve valor de momento máximo igual a 7562,5 kN×m, os valores do TB 910 de 26,35 metros com acréscimo de 5% em seu PBT, ultrapassaram em 5,4% comparado com os de cálculo e mesmo no seu valor característico de PBT, já seria maior em 1,6% comparado com os de cálculo.

Tabela 6 – Dados das envoltórias dos momentos fletores dos carregamentos móveis na ponte de 40 metros.

Trem-tipo	$kN \times m$	%	$kN \times m + 5\%$	%
TB 450	11570,0	-	-	-
TB 740 - 24,94 m	11113,9	-4,1%	11509,9	-0,5%
TB 740 - 25,89 m	10678,7	-8,3%	11056,2	-4,6%
TB 740 - 30 m	10015,1	-15,5%	10371,6	-11,6%
TB 910 - 26,35 m	12561,1	+7,9%	13033,8	+11,2%
TB 910 - 30 m	11735,7	+1,4%	12177,4	+5,0%

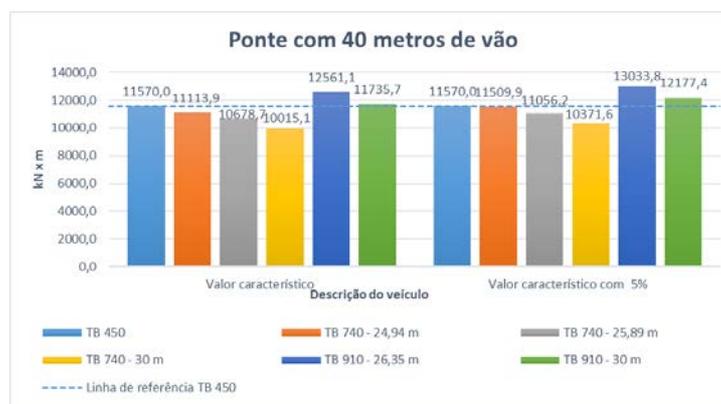


Figura 13 – Gráfico demonstrativo da envoltória do momento fletor dos diversos trem-tipo em estudo, para ponte de 40 metros.

Como se pode observar em pontes de 40 metros de vão, todos os caminhões de 910 kN, tiveram valores superiores ao de cálculo. O TB 910 de 26,35 metros teve acréscimo de 5% no PBT alcançando 11,2% e 5% no veículo TB 910 de 30 metros. O valor

característico dos veículos sem o acréscimo já superava o de cálculo em 7,9% para TB 910 de 26,35 metros e em 1,4% para o TB 910 de 30 metros de comprimento.

Conclusões

Após a análise estrutural das pontes isostáticas sob duas longarinas, conclui-se que os veículos homologados pelo DNIT de 91 toneladas em pontes com vãos superiores a 20 metros, chegam a sobrecarga de 7,9% em seu PBT característico e a 11,2% quando acrescido 5% no PBT, comparando ao valor de cálculo do TB 450 da ABNT NBR 7188:2103. Sugerimos a revogação imediata da Resolução nº 640 de 14 de dezembro de 2016, até se obter formas mais adequadas de determinação do comportamento dos carregamentos dos diversos veículos homologados pelo DNIT, como também fazer um alerta à ABNT e ao DNIT sobre o risco do fadigamento da estrutura, redução da vida útil e podendo chegar ao colapso estrutural das pontes.

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre - Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Lei nº 10.233, de 05 de junho de 2001. Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS_2001/L10233.htm. Acesso em julho de 2017.
- DNIT. Resoluções AET – Autorização Especial de Transito. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/sistema-de-gerenciamento-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/resolucao-aet>. Acesso em: 10 abril 2017.
- DNIT. Pesagem. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviarias/pesagem/qfv-2012-abril.pdf>. Acesso em: 10 abril 2017.
- DNIT. Resolução nº 640 de dezembro de 2016. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao6402016.pdf>. Acesso em: 21 maio 2017.
- DNIT. Resolução nº 210 de 13 de novembro de 2006. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao2102006.pdf>. Acesso em: 21 maio 2017.
- EL DEBS, M.K. & TAKEYA, T. - Pontes de concreto - Notas de aula. EESC. São Carlos, 2009.
- LEITE JÚNIOR, M. A. L., SILVA, B. M. N. B.- Análise comparativa entre trem-tipo da ABNT NBR 7188:2013 com tipologias de caminhões licenciados pelo DNIT, no comportamento mecânico de pontes sobre duas longarinas. 2017. 12f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC-GO, Goiânia, 2017.