

## **Avaliação estrutural de longarinas de pontes de concreto armado: um estudo comparativo entre as revisões da Norma ABNT NBR 7188**

**Natalia Priscila Siqueira da Cruz<sup>1</sup>, Erica Harumi Yassuda<sup>2</sup>, Karen Niccoli Ramirez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica de São Paulo / Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - Engenharia Civil / e-mail: nataliacruzeng@gmail.com

<sup>2</sup> Pontifícia Universidade Católica de São Paulo / Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - Engenharia Civil / e-mail: erica\_yassuda@hotmail.com

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica de São Paulo / Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - Engenharia Civil / e-mail: knramirez@pucsp.br

<sup>3</sup> Universidade Presbiteriana Mackenzie/ Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/ e-mail: karen.ramirez@mackenzie.br

### **Resumo**

Como apontou a Confederação Nacional do Transporte – CNT em pesquisa realizada no ano de 2017, diversas pontes brasileiras apresentam problemas estruturais devido à falta de manutenção. Visando elucidar as causas mais comuns para danos estruturais em pontes, o presente artigo apresenta os principais aspectos das versões das normas nacionais sobre as cargas móveis em pontes e viadutos, a evolução normativa destas ao longo dos anos, e a importância da sua revisão periódica bem como da manutenção das pontes. Para isso, a presente pesquisa por meio da revisão bibliográfica sobre o assunto, estudo de caso e a busca do conhecimento junto a especialistas da área, apresenta um comparativo da Norma Brasileira ABNT NBR 7188 desde a sua primeira publicação em 1946 até a sua última revisão em 2013. O artigo se propõe a analisar o estudo de caso de uma ponte em viga de concreto armado calculada com as Normas Brasileiras NB 6:1960 e ABNT NBR 7188:2013 a partir do dimensionamento de suas longarinas e identificação dos possíveis reforços necessários. Também apresenta um comparativo entre as taxas de aço obtidas por estas normas e verifica os esforços solicitantes calculados com as respectivas cargas de trem-tipo e multidão das diferentes versões da norma. A análise do estudo de caso revelou que o aumento das cargas permanentes devidas ao recapeamento das vias e o aumento do peso do trem-tipo para as cargas móveis proporcionam maiores solicitações às estruturas projetadas antes da revisão da ABNT NBR 7188:13 e, portanto, reforça o argumento proposto no artigo sobre a importância da constante manutenção e análise técnica das pontes e viadutos. Este estudo busca, ainda, ser útil aos profissionais da engenharia civil, em especial àqueles que têm interesse em adquirir conhecimentos sobre os mecanismos referentes à manutenção de estruturas de pontes em concreto armado e sua Norma.

### **Palavras-chave**

Pontes; viadutos; análise estrutural de obras de artes especiais; NBR 7188.

### **1 Introdução**

Segundo PFEIL (1990), pontes são entendidas como elementos que permitem o transporte de veículos sobre diversos obstáculos naturais, consentindo a continuação da via.

Conforme cita o analista de infraestrutura do Ministério dos Transportes e Portos e Aviação Civil, Issa Miguel, as pontes rodoviárias no Brasil foram projetadas entre as décadas de 1960 e 1970 de acordo com as normas vigentes da época. Desta maneira, tornou-se necessário realizar inspeções técnicas nas Obras de Artes Especiais – OAEs executadas antes dessa última revisão a fim de identificar possíveis reforços estruturais decorrentes do excesso de cargas. O estudo proposto por este artigo, apresenta a necessidade de se manter em bom estado as pontes brasileiras a fim de evitar possíveis acidentes.

O Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais – SGO, responsável por verificar estruturas de pontes e viadutos nas rodovias sob jurisdição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT, teve seu cadastro atualizado entre os anos de 2012 e 2015, no qual foram realizadas vistorias nas Obras de Arte Especiais – OAE. Após exames técnicos, que alcançaram 4020 estruturas, de um total de 5114, ficou comprovado que 14,65% apresentam ótimas condições, 38,23% boas condições e 42,28% regulares.

O objetivo do artigo é apresentar as revisões das Normas de cargas móveis, NB 6:1960 e NBR 7188:2013, em pontes, viadutos e passarelas, por meio de um estudo de caso das longarinas de uma ponte em concreto armado. O estudo de caso busca apresentar as diferenças nos carregamentos de cargas móveis e permanentes, bem como os diferentes resultados dos esforços solicitantes e a área de aço necessária, propondo algumas soluções técnicas de reforço estrutural, tendo em vista que a manutenção periódica das Obras de Artes Especiais – OAE inibe o surgimento de patologias e posteriores reforços. Toda a pesquisa para desenvolvimento do artigo foi realizada a partir de extensa revisão bibliográfica sobre o assunto e busca do conhecimento junto a especialistas da área.

## 2 Comparativo das Normas NB 6:1960 e ABNT NBR 7188:2013

Durante a evolução da Norma Brasileira Reguladora, desde a sua primeira publicação em 1946 até a última revisão em 2013, as classes dos trens-tipos sofreram alterações, dentre elas, destacam-se o aumento do peso desse veículo em função do aumento do volume do tráfego e do peso dos caminhões.

As diferenças entre as normas NB 6:1960 e a NBR 7188:2013 podem ser conferidas nas tabelas 1 e 2.

**Tabela 1 - Valores para obtenção do veículo-tipo - ABNT NB 6: 1960**

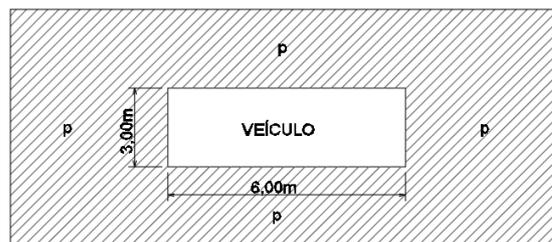
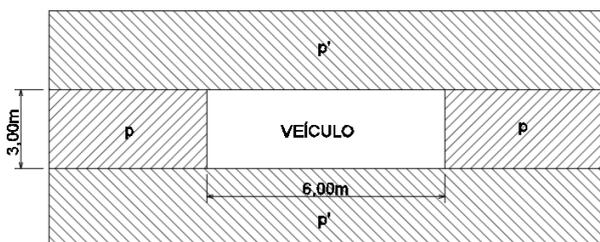
Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída			Classe da rodovia
	Tipo	Peso Total (tf)	p (kg/m <sup>2</sup> )	p' (kg/m <sup>2</sup> )	Disposição da carga	
36	36	36	500	300	- Carga p à frente do veículo.	Classe I
24	24	24	400	300	- Carga p' no restante da pista e passeios.	Classe II
12	12	12	300	300		Classe III

**Tabela 2 - Carga dos veículos e cargas uniformemente distribuídas – ABNT NBR 7188: 2013**

Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída					Disposição da carga
	Tipo	Peso total		p		p'		
		kN	tf	kN/m <sup>2</sup>	kgf/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kgf/m <sup>2</sup>	
450	450	450	45	5	500	3	300	- Carga p em toda a pista.
240	240	240	24	4	400	3	300	- Carga p' nos passeios.

A tabela 1 apresenta as classes das pontes da Norma NB 6: 1960, o peso dos veículos e a cargas distribuídas. A Tabela 2 expõe o peso dos veículos, as cargas distribuídas e a classe do trem-tipo da Norma ABNT NBR 7188:2013.

O peso do veículo tipo TB36 da norma NB 6: 1960 é de 60 kN e a carga distribuída à sua frente e atrás deste é de 5 kN/m<sup>2</sup> representadas pelas letras *P* e *p* respectivamente. A carga *p'* refere-se à carga de multidão distribuída no restante do tabuleiro (Figura 1). Na revisão da norma de 2013, o peso do veículo tipo TB45 já havia se alterado para 75 kN e a carga de multidão distribuída à frente e atrás deste permaneceu em 5 kN/m<sup>2</sup>, como mostra a Figura 2.



**Figura 1 - Veículo e multidão em planta – ABNT NB 6:2013**

**Figura 2 - Veículo e multidão em planta – ABNT NBR 7188:2013**

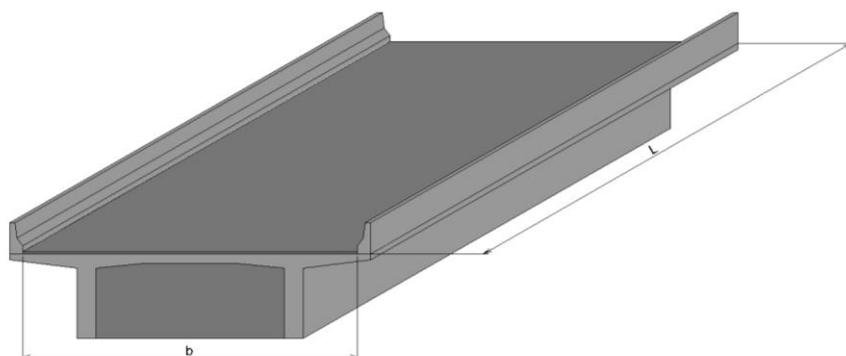
### 3 Estudo de caso

O estudo de caso a ser apresentado tem como objetivo dimensionar as longarinas de uma Obra de Arte Especial – OAE em dois parâmetros distintos, um seguindo os critérios NB 6:1960 e outro na sua revisão vigente ABNT NBR 7188:2013. O objetivo principal é calcular as taxas de aço das vigas principais e fazer uma análise de cálculo apresentando em porcentagem as diferenças no carregamento da estrutura e das armações necessárias.

A estrutura a ser estudada trata-se de uma ponte em concreto armado, bi apoiada sobre duas vigas também em concreto armado, cujo tráfego tem como principal objetivo a passagem de veículos.

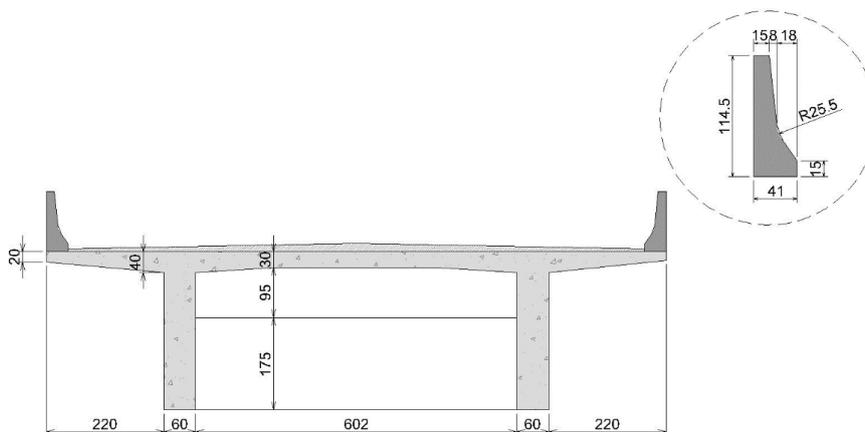
#### 3.1 Dimensões do tabuleiro

As dimensões adotadas para o estudo de caso (Figura 3) seguem os requisitos do Departamento Nacional de Rodagem – DNR, que estabelece como condições ideais de fluxo contínuo para rodovias, uma largura  $b$  igual ou superior a 3,60 metros para as faixas de tráfego e um afastamento mínimo lateral de 1,80 metros, e comprimento  $L=30$  metros. Para o estudo, consideraram-se essas dimensões com duas vias simples, com guarda rodas nas extremidades. As dimensões desse dispositivo de proteção seguem os parâmetros estabelecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes – DNIT.



**Figura 3 - Dimensões do tabuleiro**

A espessura da laje adotada foi de 30 centímetros na parte central, aumentando para 40 centímetros junto às longarinas, já nas extremidades possui 20 cm, atendendo as dimensões mínimas estabelecidas na ABNT NBR 6118:2014. A espessura da alma das longarinas foi estabelecida em 60 cm (Figura 4) de modo a atender o valor mínimo para vigas T da ABNT 6118:2014, e uma altura total de 3,00 metros. PFEIL (1976) cita que o pré-dimensionamento das transversinas pode ser realizado com base em projetos já executados. Assim, foram adotadas para esta pesquisa transversinas com altura de 1,75 metros e 0,28 metros de largura.

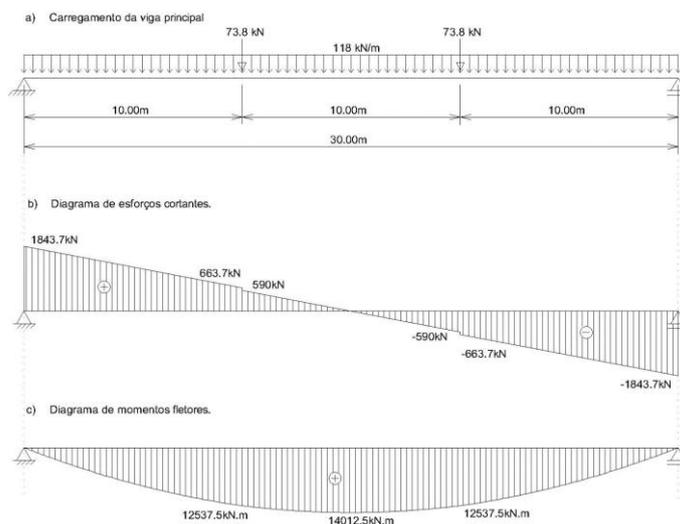


**Figura 4 - Seção transversal da mesoestrutura**

### 3.2 Análise estrutural das longarinas segundo a norma ABNT NBR 7188:2013

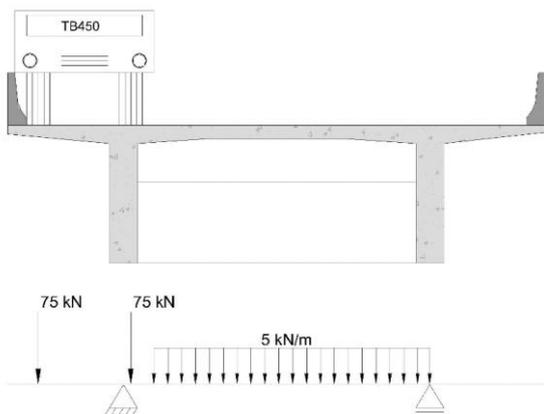
Para o cálculo das cargas permanentes, considerou-se o peso específico do concreto armado ( $25 \text{ kN/m}^3$ ) para o dimensionamento das longarinas, laje e guarda rodas. A inclinação do pavimento adotada é de 2% e peso específico de  $24 \text{ kN/m}^2$  (ABNT NBR 7187:2003). Adicional a isso, a última revisão da NBR 7188:2013 passou a considerar uma carga de recapeamento de  $2 \text{ kN/m}^2$  em toda a extensão transversal do tabuleiro. A carga permanente para o carregamento das longarinas é de  $g = 118 \text{ kN/m}$ . As transversinas exercem uma carga pontual na viga de  $73,75 \text{ kN}$ .

Com o auxílio do *software Ftool*, a longarina foi carregada a fim de obter os esforços cortantes e momentos fletores máximos, como apresenta a Figura 5.

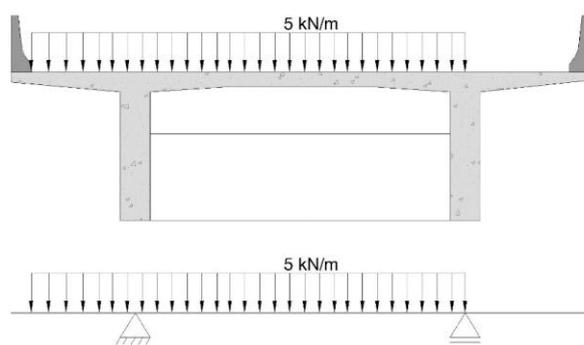


**Figura 5 - Diagrama de força cortante e momento fletor devida à carga g – NBR 7188:2013**

Para o levantamento das cargas acidentais, posicionou-se o trem-tipo TB45 na situação mais desfavorável da estrutura (PFEIL, 1979), que seria com a roda encostada na extremidade do tabuleiro. No cálculo, a carga  $P$  da roda do caminhão foi de  $75 \text{ kN}$  e a carga  $p'$  de multidão  $5 \text{ kN}$ . Para obtenção do trem tipo longitudinal – TTL, o tabuleiro foi carregado com o trem-tipo TB45 (Figura 6) e depois somente com a carga de multidão, como mostra a Figura 7.



**Figura 6 - Posição do trem tipo no tabuleiro – ABNT NBR 7188:2013**



**Figura 7 - Carga de multidão no tabuleiro – ABNT NBR 7188:2013**

Para obtenção dos valores das cargas  $P$  que se referem ao peso das rodas do trem-tipo,  $P_i$  que é a carga da multidão representada à frente e atrás do veículo e a carga  $P_e$  que é o valor da multidão distribuída no restante do tabuleiro, utilizou-se o método da linha de influência 1-0. Entende-se por linha de influência de um efeito elástico  $E$  em uma dada seção  $S$  como a representação gráfica ou analítica do valor

deste efeito, naquela seção S, produzido por uma carga concentrada unitária, de cima para baixo, que percorre a estrutura. Assim, obteve os seguintes valores:

$$P=169,5 \text{ kN} \quad (\text{Eq.1})$$

$$P_i=13,41 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq.2})$$

$$P_e=28,74 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq.3})$$

A carga  $Q$  é dada pela equação:

$$Q = P \times \text{CIV} \times \text{CNF} \times \text{CIA} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde: CIV é o coeficiente de impacto vertical

CNF é o coeficiente do número de faixas

CIA é o coeficiente de impacto adicional

Coeficiente de impacto vertical:

$$\text{CIV} = 1 + 1,06 \times \left( \frac{20}{L_{iv} + 50} \right) = 1 + 1,06 \times \left( \frac{20}{30 + 50} \right) = 1,27 \quad (\text{Eq.5})$$

Onde:  $L_{iv}$  é o vão teórico do elemento analisado, dado em metros; para estruturas isostáticas  $L_{iv}$  = comprimento do próprio vão.

Coeficiente de número de faixas (n):

$$n = \frac{b}{3,5} = \frac{10,80}{3,5} = 3,09 \approx 3 \quad (\text{Eq.6})$$

$$\text{CNF} = 1 - 1,05 \times (n - 2) = 1 - 1,05 \times (3 - 2) = 0,95 \geq 0,9 \quad (\text{Eq.7})$$

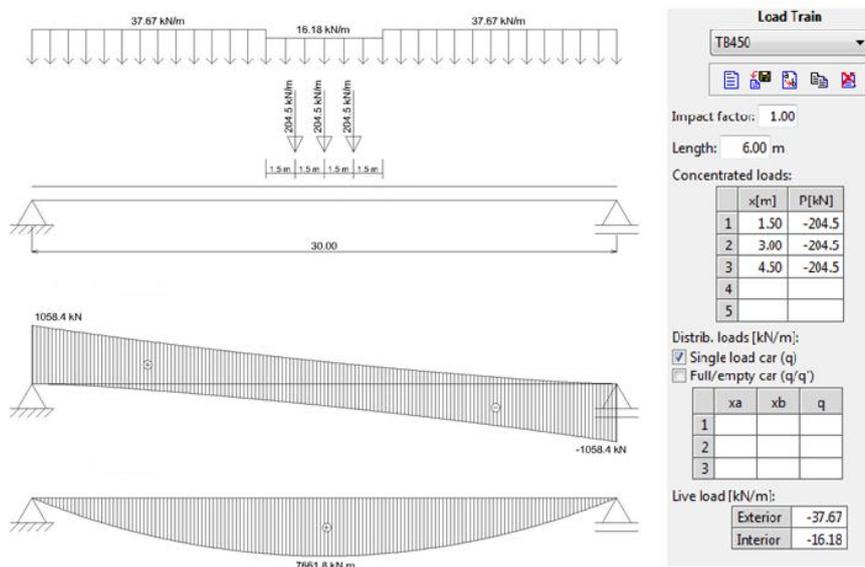
Coeficiente de impacto adicional para longarinas é igual a 1,0. Assim tem-se pela equação 4:

$$Q = 169,5 \text{ kN} \times 1,27 \times 0,95 \times 1 = 204,50 \text{ kN}$$

$$q_i = 13,41 \text{ kN/m} \times 1,27 \times 0,95 \times 1 = 16,18 \text{ kN/m}$$

$$q_e = 28,74 \text{ kN/m} \times 1,27 \times 0,95 \times 1 = 34,67 \text{ kN/m}$$

Com essas cargas, carrega-se o trem-tipo no *software Ftool* para obter os esforços solicitantes devida ao carregamento da carga acidental, como apresenta a Figura 8. A cortante máxima é de 1058 kN e o momento fletor máximo é de 7661,8 kN.m.



**Figura 8 - Esforços solicitantes devido a carga móvel – TB45**

Para calcular a armadura longitudinal da longarina analisada, consideraram-se os parâmetros da norma ABNT NBR 6118:2014, que estabelece os coeficientes de majoração dos esforços característicos, sendo estes 1,35 para cargas permanentes e 1,50 para cargas móveis.

Momento fletor de cálculo:

$$M_d = (M_g \times \gamma_{f,g}) + (M_q \times \gamma_{f,q}) \quad \therefore \quad M_d = (14012,5 \times 1,35) + (7661,8 \times 1,5) = 30409,58 \text{ kN.m} \quad (\text{Eq.8})$$

Cortante de cálculo:

$$V_d = (V_g \times \gamma_{f,g}) + (V_q \times \gamma_{f,q}) \quad \therefore \quad V_d = (1843,7 \times 1,35) + (1058,4 \times 1,5) = 4076,60 \text{ kN} \quad (\text{Eq.9})$$

Cálculo da largura da mesa colaborante:

$$b_1 = 0,10 \times l = 0,10 \times 30 = 3\text{m} \leq 2,20 \text{ m} \quad \therefore \quad b_1 = 2,20\text{m} \quad (\text{Eq.10})$$

$$b_2 = 0,10 \times l = 0,10 \times 30 = 3\text{m} \leq 3,01\text{m} \quad \therefore \quad b_2 = 3,00\text{m} \quad (\text{Eq.11})$$

$$b_f = b_1 + b_w + b_2 = 2,20 + 0,60 + 3 = 5,80\text{m} \quad (\text{Eq.12})$$

Para o cálculo da altura útil, adotou-se classe de agressividade ambiental moderada (II), diâmetro longitudinal 25 mm para a armadura de flexão e estribos 12,5 mm.

$$d' = \text{cobrimento} + \phi_{\text{estribo}} + \phi_{\text{armadura long.}} + \text{espaçamento} + \left( \frac{\phi_{\text{armadura long.}}}{2} \right) \quad (\text{Eq.13})$$

$$d' = 3\text{cm} + 1,25\text{cm} + 2,5 \text{ cm} + 2,5 \text{ cm} + \left( \frac{2,5}{2} \right) = 10,5 \text{ cm}$$

$$d = h - d' \rightarrow d = 300 - 10,5 = 289,5 \text{ cm} \quad (\text{Eq.14})$$

Cálculo da altura da linha neutra, adotando aço CA50 e o concreto C30.

$$x = 1,25 \times d \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \times b \times f_{cd} \times d^2}} \right) \quad (\text{Eq.15})$$

$$x = 1,25 \times 2,895 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{30409,58}{0,425 \times 5,8 \times 30000 / 1,4 \times 2,895^2}} \right)$$

$$x = 0,1194\text{m} = 11,94\text{cm}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{11,94}{289,5} = 0,04 \leq \beta x = 0,45 \quad (\text{Eq.16})$$

Como a linha neutra está na altura da laje, a longarina deverá ser dimensionada como uma viga de seção retangular. Assim, calcula-se a área de aço necessária.

$$A_s = \frac{M_d}{(d - 0,4 \times x) \times f_{yd}} \quad \therefore \quad A_s = \frac{30409,58}{(2,895 - 0,4 \times 0,1194) \times 50 / 1,15} = 245,53 \text{ cm}^2 \quad (\text{Eq.17})$$

Área de aço necessária nos apoios:

$$R_{st} = \frac{a l}{d} \times V_d = \frac{0,75 \times d}{d} \times V_d \quad R_{st} = 0,75 \times 4076,60 = 3057,45 \text{ kN} \quad (\text{Eq.18})$$

$$A_{s, nec} = \frac{R_{st}}{f_{yd}} \rightarrow A_{s, nec} = \frac{3057,45}{50/1,15} = 70,30 \text{ cm}^2 \quad (\text{Eq.19})$$

Cálculo dos estribos:

Verificação da compressão da biela

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d \quad (\text{Eq.20})$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \left( 1 - \frac{30 \text{ MPa}}{250} \right) \times \frac{30000 \text{ kN/m}^2}{1,4} \times 0,60 \times 2,895 = 8843,81 \text{ kN}$$

$$V_d \leq V_{rd2} = 4076,60 \leq 8843,81 \text{ kN} \therefore \text{OK.}$$

Onde  $V_{rd2}$  é a força cortante de cálculo relativa à ruína da biela.

Verificação da força resistente de cálculo relativa à ruína por tração diagonal  $V_{rd3}$

$$V_d \leq V_{rd3} = V_c + V_{sw} \quad (\text{Eq.21})$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \times 0,3 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\gamma_c} \quad f_{ctd} = 0,15 \times \sqrt[3]{30^2} = 1,45 \text{ MPa} = 1450 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Eq.22})$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad V_c = 0,6 \times 1450 \times 0,60 \times 2,895 = 1511,19 \text{ kN} \quad (\text{Eq.23})$$

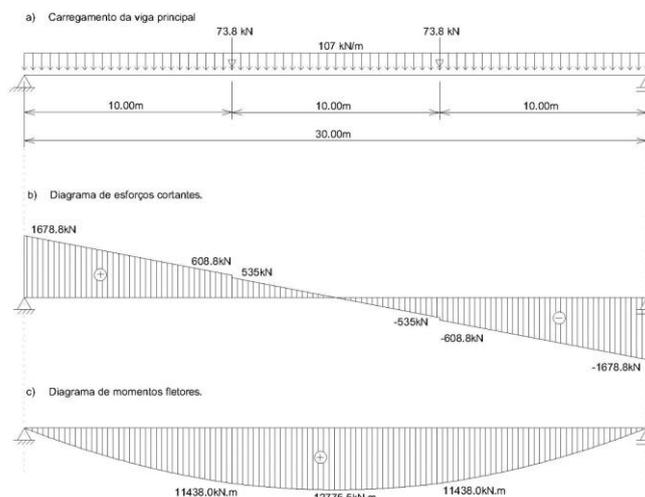
$$V_{sw} = \left( \frac{A_{sw}}{s} \right) \times 0,9 \times f_{ywd} \quad (\text{Eq.24})$$

Substituindo a equação 20 na equação 18, tem-se:

$$\left( \frac{A_{sw}}{s} \right) = \frac{V_d - V_c}{0,90 \times d \times f_{ywd}} \quad \left( \frac{A_{sw}}{s} \right) = \frac{4076,60 - 1511,19}{0,90 \times 2,895 \times 43,5} = 22,63 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (\text{Eq.25})$$

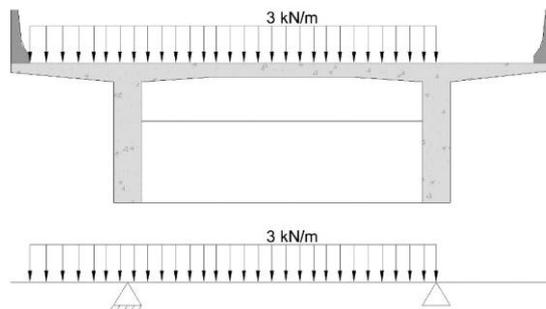
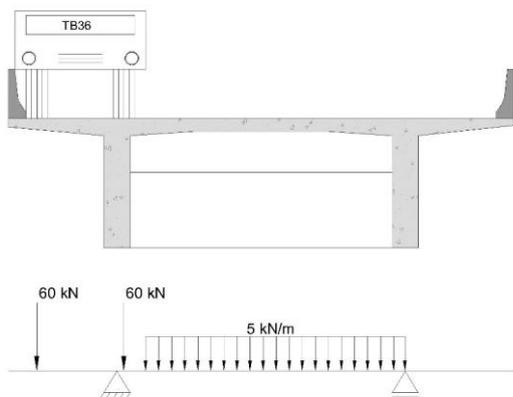
### 3.3 Análise estrutural das longarinas segundo a norma NB 6:1960

Como apontado no item 3.2 deste artigo, seguem-se os mesmos parâmetros para cálculo das cargas permanentes da estrutura objeto desta pesquisa. Importante ressaltar que a carga de recapeamento considerada no primeiro caso não se aplica a este, pois como citado anteriormente, esta passou a ser aplicada a partir do ano de 2013. Neste cenário, haverá uma redução no peso próprio da estrutura, com uma carga permanente de  $g = 107 \text{ kN/m}$  e carga pontual de  $73,75 \text{ kN}$ . Portanto, os esforços solicitantes modificam-se, conforme apresentado na Figura 9.



**Figura 9 - Diagrama de força cortante e momento fletor devido à carga g – NB 6:1960**

Para o levantamento das cargas acidentais, assim como no estudo apresentado no item 3.2, posicionou-se o trem-tipo TB36 na situação mais desfavorável da estrutura, ou seja, na extremidade do tabuleiro. Porém vale ressaltar que a carga  $P$  referente ao peso da roda do caminhão é 60 kN e a  $p$  referente a multidão à frente do veículo é de 5 kN/m<sup>2</sup>. Ainda há a carga de multidão  $p'$  que se refere a multidão no restante do tabuleiro. O carregamento do tabuleiro se dá igual citados no item 3.2, porém com as cargas respectivas a essa versão da norma como mostra as Figuras 10 e 11.



**Figura 10: Posição do trem tipo no tabuleiro – NB 6**    **Figura 11 - Carga de multidão no tabuleiro – NB 6**

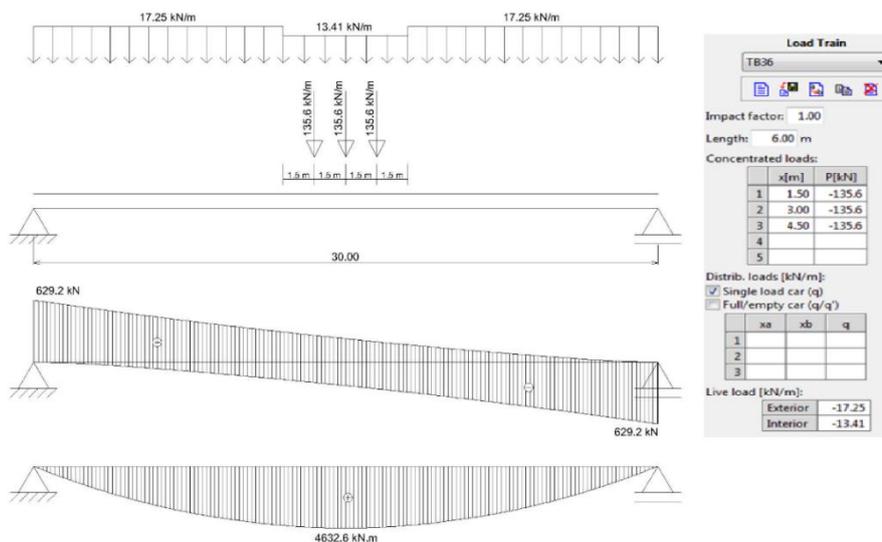
Para o dimensionamento das cargas do trem tipo longitudinal – TTL, utilizou-se o mesmo método de linha de influência, citado no item anterior, com resultado obtido:

$$P = 135,60 \text{ kN} \quad (\text{Eq.26})$$

$$P_i = 13,41 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq.27})$$

$$P_e = 17,25 \text{ kN/m} \quad (\text{Eq.28})$$

Para o dimensionamento das longarinas na versão da norma ABNT NBR 7188:2013, foram acrescentados aos valores das cargas  $P$ ,  $P_i$  e  $P_e$  coeficientes de majoração das cargas, valores não considerados na versão da Norma de 1960. Portanto, os resultados obtidos do carregamento do trem tipo no software *Ftool* (Figura 12) foram de 4632,6 kN.m de momento fletor e 629,2 kN de esforço cortante.



**Figura 12 - Esforços solicitantes devido à carga móvel – TB36**

Para calcular a armadura longitudinal da longarina analisada, segue-se o mesmo roteiro de cálculo apresentado no capítulo 3.2.

Momento fletor de cálculo, pela equação 8

$$M_d = (12775,5 \times 1,35) + (4632,6 \times 1,5) = 24195,15 \text{ kN.m}$$

Cortante de cálculo, pela equação 9

$$V_d = (1678,8 \times 1,35) + (629,2 \times 1,5) = 3210,18 \text{ kN}$$

Dado que se manteve a mesma geometria da estrutura e o mesmo pré-requisito de armação, as verificações de largura da mesa colaborante e altura útil apresentam os mesmos resultados. Assim prossegue-se ao cálculo da altura da linha neutra.

Pela equação 15 tem-se:

$$x = 1,25 \times 2,895 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{24195,15}{0,425 \times 5,8 \times 30000 / 1,4 \times 2,895^2}} \right)$$
$$x = 0,1004 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

Pela equação 16:

$$\frac{x}{d} = \frac{10,00}{289,5} = 0,03 \leq \beta_x = 0,45$$

Como a linha neutra está na altura da laje, a longarina deverá ser dimensionada como uma viga de seção retangular. Assim, calcula-se a área de aço necessária através da equação 17.

$$A_s = \frac{24195,15}{(2,895 - 0,4 \times 0,10) \times 43,5} = 194,82 \text{ cm}^2$$

Área de aço necessária nos apoios, verificada pelas equações 18 e 19 respectivamente.

$$R_{st} = 0,75 \times 3210,18 = 2407,64 \text{ kN}$$

$$A_{s, nec} = \frac{2407,64}{43,5} = 55,35 \text{ cm}^2$$

Cálculo dos estribos: Visto que o valor de  $V_{rd2}$  já foi calculado no item 3.2 deste artigo, tem-se:

$$V_d \leq V_{rd2} = 3210,18 \leq 8843,81 \text{ kN} \therefore \text{OK.}$$

Tendo em vista que o valor de  $V_c$  é o mesmo, calcula-se a armadura de cisalhamento pela equação 25.

$$\left( \frac{A_{sw}}{s} \right) = \frac{3210,18 - 1511,19}{0,90 \times 2,895 \times 43,5} = 15,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

#### 4 Análise dos resultados

No estudo teórico deste artigo, foram apresentados os principais fatores das versões da Norma sobre cargas móveis em pontes e viadutos rodoviários.

Devido às diferenças nos carregamentos das rodas do trem-tipo, da carga de multidão e das solicitações de cálculo para as versões da norma de 1960 e 2013, houve um acréscimo de 25% no carregamento das rodas do trem-tipo e de 66,67% no carregamento das cargas distribuídas de multidão.

Com base nesses carregamentos, a diferença de cortante de cálculo é de 26,98% e para os momentos fletores é de 25,68%, e verifica-se que as taxas de aço possuem uma diferença de 26,03% para armadura de flexão e 50,87% para armaduras de cisalhamento.

#### 5 Discussão dos resultados

De acordo com as avaliações propostas por este estudo, conclui-se que as pontes devam passar constantemente por manutenções e análises técnicas, a fim de evitar o surgimento de patologias. Dentre várias soluções disponíveis para um possível reforço das longarinas analisadas nesta pesquisa, pode-se concluir que a escolha do tipo deste reforço, que podem ser o reforço feito por chapas de aço aderidas externamente às peças, o reforço feito por meio de sistema composto estruturados com plásticos aderidos externa ou internamente ao concreto, como, ainda, a protensão externa reta, que é a adição de armadura ativa externa às longarinas, deva considerar as condicionantes do projeto, como prazo, materiais disponíveis, equipamentos, logística e limitações de aumento do volume da estrutura, bem como a possibilidade do aumento da altura da viga, e a adição de armaduras frouxa de flexão.

## 6 Considerações finais

As pontes sempre simbolizaram o que há de mais significativo para expressar a criatividade da engenharia civil, desde os tempos mais remotos quando se utilizavam materiais e técnicas rudimentares para viabilizar a transposição dos obstáculos naturais, até os tempos atuais quando as obras desafiam a lei da gravidade pela grandiosidade dos vãos, da ousadia das formas, e de desenhos suntuosos e estéticos. Como toda estrutura, uma ponte depois de um determinado tempo, necessita de uma análise para a verificação de seu estado. Devido à concepção estrutural na qual ela é projetada, acaba gerando um conceito de algo com vida prolongada, sem necessidade de verificação e ou manutenção, como afirma Vitério (2007, p. 2), “existe, porém, um costume bastante habitual de considerar que a vida das pontes é extraordinariamente longa, talvez até infinita. Isso se deve, em parte, à impressão que, de modo geral, é transmitida por esse tipo de obra, sempre associada à robustez e solidez.” No Brasil, as pontes típicas das malhas rodoviárias federais, estaduais e municipais, mesmo não sendo obras majestosas em sua maioria, compõem um patrimônio construído de valor inestimável pela importância que representam para o desenvolvimento econômico e social do país. Acontece, que a ausência de políticas e estratégias direcionadas para a conservação das obras públicas faz com que uma significativa quantidade das pontes existentes no território nacional, muitas delas construídas há várias décadas, estejam atualmente em precárias condições estruturais e funcionais.

Considerando estas informações, o presente artigo procurou apresentar os principais aspectos das versões das normas nacionais sobre as cargas móveis em pontes e viadutos rodoviários. O estudo comparativo das normas NB 6 de 1960 e a NBR 7188: 2013 para a longarina de uma ponte em viga de concreto armado apresentado neste artigo, vem não somente acrescentar conhecimento na área de revisão normativa para os novos projetos, ou para as construções já existentes, bem como destacar a importância da necessidade de preservação e manutenção estrutural dessas Obras de Arte Especial – OAE. A saúde estrutural destas construções é de extrema necessidade não somente no que se refere a uma economia dos gastos com essas manutenções constantes, bem como no que se refere à segurança, uma vez que se essa OAE se encontrar em condições precárias de uso, coloca em risco a vida dos que dela se utilizam, podendo ocasionar acidentes de imensas proporções, inclusive fatais. O ideal, assim como a norma é revista periodicamente, as pontes também passarem por análises estruturais constantes.

## 7 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre: NB-6 (1982). Rio de Janeiro, RJ.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre: NBR-7188 (1984). Rio de Janeiro, RJ.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre NBR-7188 (2013). Rio de Janeiro, RJ.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre NBR-6118 (2014). Rio de Janeiro, RJ
- CNT, CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de rodovias. 21ª edição. 2017.
- DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários – Instruções para acompanhamento e análise. Rio de Janeiro, 2010.
- MARQUESI, M. Porque um viaduto cai. Nexo Jornal. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2018/11/20/O-viaduto-que-cedeu-em-SP-de-%E2%80%98carros-voando%E2%80%99-%C3%A0-rea%C3%A7%C3%A3o-oficial>>. São Paulo, 2018. Acesso em: 09 de dezembro de 2018.
- MIGUEL, Issa. Pontes e viadutos: más condições da infraestrutura favorecem ocorrência de acidentes. 2018. CNT. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/imprensa/noticia/mas-condicoes-infraestrutura-pontes-viadutos-acidentes>>. Acesso em: 03 de maio de 2018.
- PFEIL, W. Pontes em Concreto Armado: Elementos de Projetos, Solicitações, Dimensionamentos. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora S.A., 1979.