



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de
maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



A Utilização do Eurocódigo em Projetos de Alargamento e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto

José Afonso Pereira Vitório¹, Rui Manuel de Menezes e Carneiro de Barros²

¹Doutor em Estruturas pela Universidade do Porto, Portugal / afonsovitorio@gmail.com

²Professor Doutor da Universidade do Porto, Portugal / rcb@fe.up.pt

Resumo

A situação atual do tráfego nas rodovias brasileiras, caracterizada pelo aumento da quantidade e dos pesos dos veículos, tem gerado discussões e algumas publicações de trabalhos técnicos sobre as cargas transmitidas às Obras de Arte Especiais que compõem essas rodovias. É quase um consenso que o modelo de cargas móveis adotado desde 1984 pela NBR 7188, composto por um veículo-tipo de três eixos, oriundo de antigas normas alemãs, não corresponde às condições dos veículos reais no que se refere aos esforços transmitidos às pontes e viadutos.

Na busca por um modelo mais apropriado, alguns pesquisadores identificam as cargas móveis do Eurocódigo como mais realistas e adequadas, por terem sido obtidas por meio de calibração do tráfego ao longo de anos e incluírem os efeitos dinâmicos. Por isso, o processo de modificação da NBR 7188 poderá também considerar um modelo nos moldes do que é adotado no Eurocódigo 1. Essa questão torna-se mais complexa nos casos de pontes existentes que necessitam passar por intervenções de alargamento e reforço para se adequarem aos novos gabaritos transversais adotados na ampliação da malha viária brasileira, pelo fato de a maioria delas ter sido projetada para cargas móveis ainda mais defasadas que as atuais.

É nesse contexto que este artigo pretende contribuir para ampliar o conhecimento nessa área ainda pouco explorada, realizando uma análise comparativa com o uso de elementos finitos, entre os modelos de carga LM1 (Load Model 1) do Eurocódigo 1 e do Trem-Tipo Classe 450KN da NBR 7188 em projetos de alargamento e reforço para três diferentes sistemas estruturais de pontes de concreto armado típicas das rodovias brasileiras.

Palavras-chave: alargamento, estruturas, eurocódigos, pontes, reforço.



1. Introdução

As pontes que compõem as malhas rodoviárias nos âmbitos federal, estaduais e municipais, também sofrem com a ausência de políticas de conservação das obras públicas no Brasil e significativa quantidade delas apresenta problemas de natureza estrutural, de gabarito transversal insuficiente para a demanda de tráfego e de desatualização quanto aos carregamentos móveis atualmente exigidos pelas normas vigentes.

Diante disso, este trabalho se propõe a fornecer elementos para a elaboração de projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias convencionais de concreto armado, baseados na análise comparativa entre as cargas móveis da norma brasileira NBR 7188 e do Eurocódigo 1. A comparação entre as cargas móveis do Eurocódigo e as da atual norma brasileira já tem sido objeto de estudos nos projetos de pontes novas e produzido algumas publicações acadêmicas. Porém, ainda não existe conhecimento sobre este tema quando se trata da aplicação em projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias existentes.

2. Modelos de Cargas Móveis Utilizados no Estudo

2.1. Modelo da Norma Brasileira

Na figura 1 estão ilustrados os esquemas dos carregamentos móveis estabelecidos pela norma NBR 7188/84, atualmente em vigor no Brasil, que está em fase de estudos objetivando a revisão e atualização. Na tabela 1 estão indicados os valores das cargas para as três classes de veículo-tipo.

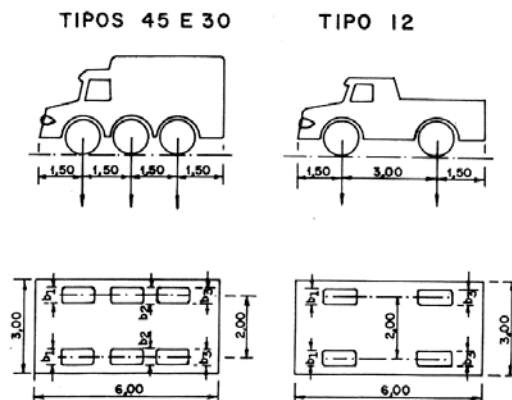


Figura 1 - Esquemas das cargas móveis estabelecidas pela norma brasileira. (Fonte: NBR 7188/84).



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Tabela 1 - Valores das cargas móveis transmitidas pelos veículos conforme a norma brasileira. (Fonte: NBR 7188/84).

Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída					Disposição da carga
	Tipo	Peso total		P		P'		
		kN	t _r	kN/m ²	kgf/m ²	kN/m ²	kgf/m ²	
45	45	450	45	5	500	3	300	Carga p em toda a pista
30	30	300	30	5	500	3	300	Carga p' nos passeios
12	12	120	12	4	400	3	300	

2.2. Modelo do Eurocódigo

As normas europeias para projetos de estruturas (Eurocódigos Estruturais) definem quais as ações provocadas pelo tráfego de veículos em pontes rodoviárias por meio do Eurocódigo 1 (EN 1991-2): *Ações em estruturas. Parte 2: Ações de tráfego em pontes*. São considerados quatro modelos de carga, mas o modelo LM1 (Load Model 1) é o mais utilizado para verificações globais e locais. É constituído por cargas concentradas e cargas distribuídas.

No LM1, que é o principal modelo do Eurocódigo 1, as cargas móveis devem ser colocadas nas posições mais desfavoráveis de modo a obter as envoltórias dos esforços no elemento estrutural. O LM1 define a divisão da seção transversal do tabuleiro da ponte (w) em três pistas ideais (national lanes), nº 1, nº 2 e nº 3 para o posicionamento dos veículos tipo, e em uma área remanescente conforme a figura 2. Na tabela 2 são mostrados os critérios para a definição do número de faixas de tráfego e suas respectivas larguras. Na tabela 3 estão indicados os valores característicos do modelo de carga LM1 que foi formulado levando em conta os efeitos dinâmicos.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Key

w Carriageway width

l w Notional lane width

1 Notional Lane Nr. 1

2 Notional Lane Nr. 2

3 Notional Lane Nr. 3

4 Remaining area

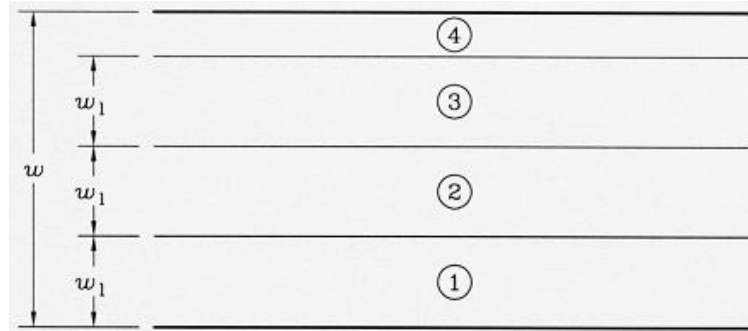


Figura 2 – Divisão de faixas do modelo LM1 (Fonte: Eurocódigo EN1991-2).

Tabela 2 – Definição do número e largura das vias de tráfego (Fonte: Eurocódigo EN1991-2).

Carriageway width w	Number of notional lanes	Width of a notional lane w_l	Width of the remaining area
$w < 5,4m$	$n_l = 1$	$3m$	$w - 3m$
$5,4m \leq w < 6m$	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6m \leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	$3m$	$w - 3 \times n_l$

Tabela 3 – Valores característicos do modelo LM1 (Fonte: Eurocódigo EN1991-2).

Location	Tandem system TS	UDL system
	Axle loads Q_{ik} (kN)	q_{ik} (or q_{ik}) (kN/m ²)
Lane Number 1	300	9
Lane Number 2	200	2,5
Lane Number 3	100	2,5
Other lanes	0	2,5
Remaining area (q_{rk})	0	2,5

A aplicação do modelo LM1 está ilustrada na figura 3 conforme regras definidas no Eurocódigo, como as indicadas a seguir.

- Não mais que um veículo tipo deve ser aplicado em cada pista;
- Apenas veículos completos devem ser considerados;
- Cada eixo deve ser considerado com duas rodas idênticas com uma carga igual a $0,5\alpha_Q Q_k$. As cargas uniformemente distribuídas tem o valor de $\alpha_Q q_k$ por m^2 de pista ideal;
- A área de contato de cada roda deve ser quadrada de lado $0,4m$;



- Para uma análise local um veículo tipo deve ser considerado na posição mais desfavorável;
- As cargas uniformemente distribuídas devem apenas ser aplicadas nas zonas desfavoráveis das superfícies de influência quer longitudinal quer transversalmente.

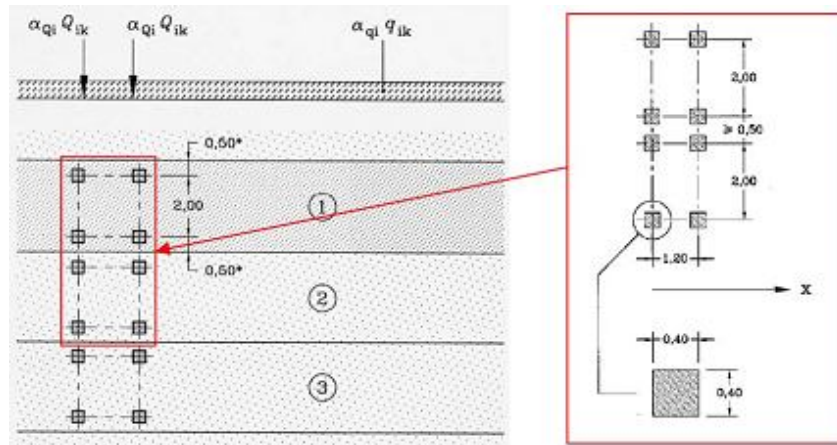


Figura 3 – Aplicação do modelo LM1. (Fonte: Eurocódigo EN 1991-2).

Os coeficientes de correção para as cargas concentradas (α_Q) e para as cargas uniformemente distribuídas (α_q) assumem valores unitários para situações correspondentes a um tráfego industrial, internacional intenso e pesado.

Para composições de tráfego mais comuns (estradas e autoestradas) os coeficientes alfa podem ser reduzidos entre 10% e 20% na pista 1.

3. Descrição das Pontes utilizadas no Estudo

Para a realização do estudo comparativo de alargamento, foram escolhidas três pontes existentes, construídas entre 1960 e 1975 em rodovias federais. Todas elas têm a mesma largura que era utilizada para o tabuleiro das pontes rodoviárias no referido período. As características referentes ao sistema estrutural, aos vãos e aos materiais empregados as classificam como Obras de Arte Especiais típicas das rodovias federais brasileiras, conforme dados do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), publicados por MENDES (2009).

É de fundamental importância esclarecer que este estudo é voltado para os aspectos relacionados ao tabuleiro (original e alargado) das pontes analisadas, ou seja, todas as



modelagens e análises comparativas realizados para o alargamento são limitadas a esse componente estrutural.

A primeira ponte escolhida, denominada ponte 1, tem um único vão com tabuleiro em vigas simplesmente apoiadas. A segunda, (ponte 2) tem tabuleiros constituído por um vão e dois balanços e a terceira, (ponte 3) tem tabuleiro em vigas contínuas com dois tramos.

As principais características dos sistemas estruturais, com as respectivas dimensões das três pontes, estão indicadas nas figuras 4, 5 e 6 que representam um corte longitudinal na geometria existente de cada obra.

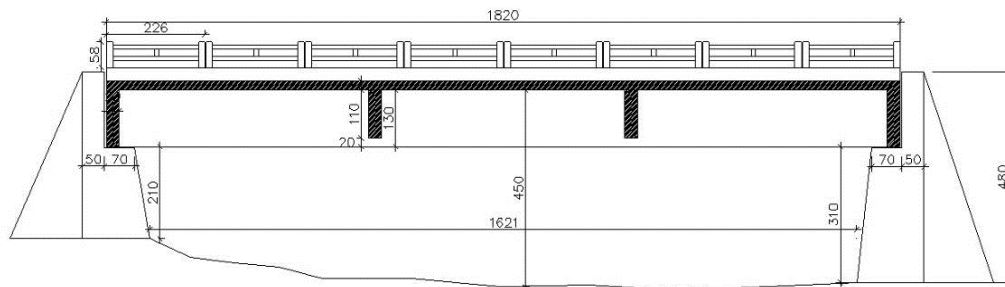


Figura 4 – Corte longitudinal na geometria original da ponte 1.

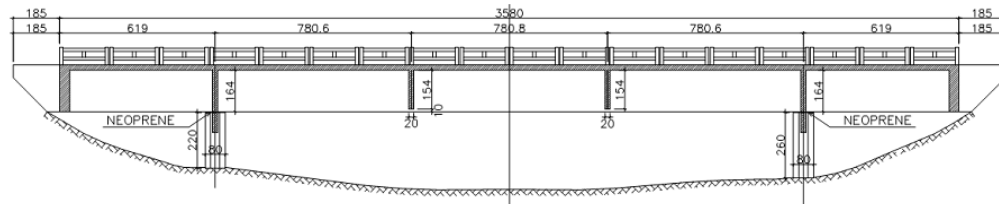


Figura 5 – Corte longitudinal na geometria original da ponte 2.

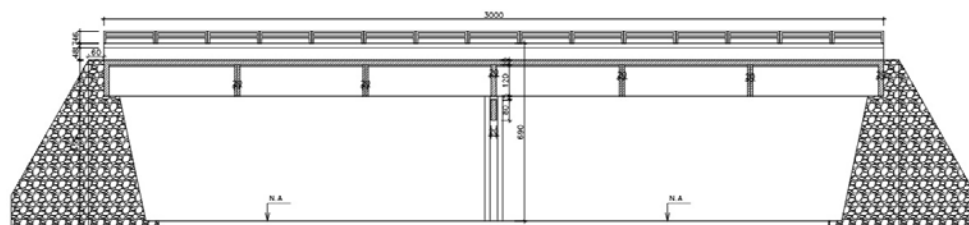


Figura 6 – Corte longitudinal na geometria original da ponte 3.



Na figura 7 está representada a seção transversal original dos tabuleiros das três pontes. É importante observar que para alargar o tabuleiro faz-se necessário eliminar o trecho correspondente aos passeios de pedestres das pontes originais, o que significa demolir $0,60m$ de cada lado. Assim, a largura efetiva do tabuleiro a alargar passa a ser $8,80m$, sendo necessário, portanto, acrescentar $2,00m$ de cada lado para que seja obtida a largura final de $12,80m$, que é o gabarito mais utilizado atualmente nas pontes das rodovias federais brasileiras de pistas simples.

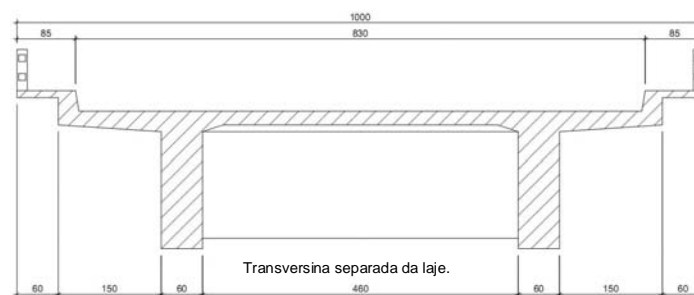


Figura 7 – Detalhe da seção transversal original e da largura efetiva considerada para o alargamento dos tabuleiros das três pontes.

A figura 8 mostra a seção transversal do tabuleiro das três pontes após o alargamento, incluindo os detalhes relacionados à recuperação e reforço que forem necessários. Também estão indicados os consoles que devem ser implantados para o posicionamento dos macacos utilizados para a substituição dos aparelhos de apoio.

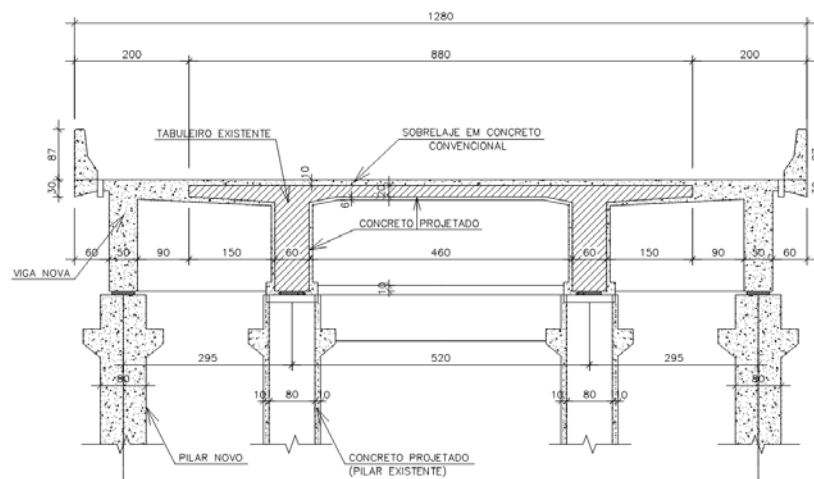


Figura 8 – Seção transversal após alargamento do tabuleiro das três pontes.



4. Estudo Comparativo

4.1. Modelagens do tabuleiro

As análises foram realizadas com a utilização do software de elementos finitos Strap, a partir das discretizações dos tabuleiros originais e dos tabuleiros alargados das três pontes, tendo sido considerado para os tabuleiros originais os carregamentos e propriedades dos materiais adotados na época em que as obras foram executadas. Para os tabuleiros alargados foram utilizadas as cargas móveis atuais da norma brasileira e as cargas móveis do modelo LM1 do Eurocódigo, de modo a permitir uma análise comparativa dos dois modelos de cargas.

As figuras 9, 10 e 11 mostram os modelos de discretização dos tabuleiros alargados com o uso de elementos de barra para as vigas e elementos “Shell” para as lajes.

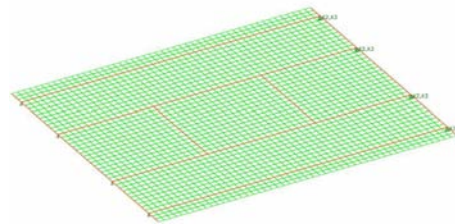


Figura 9 – Discretização do tabuleiro alargado da ponte 1.

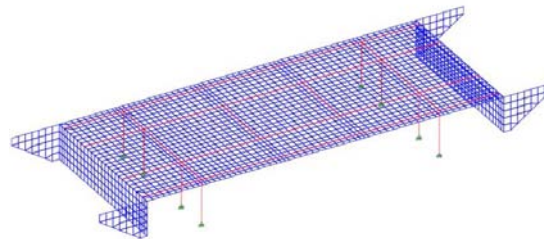


Figura 10 – Discretização do tabuleiro alargado da ponte 2.

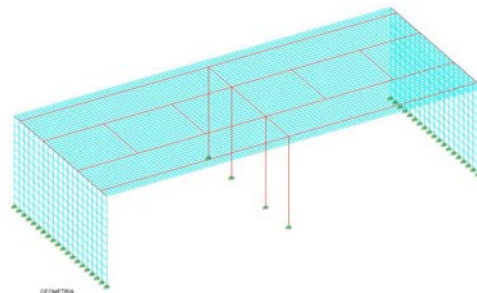


Figura 11 – Discretização do tabuleiro alargado da ponte 3.



4.2. Resultado do Estudo comparativo

As modelagens realizadas permitiram obter os esforços e deslocamentos ao longo dos tabuleiros alargados de modo a estabelecer uma comparação entre os dois sistemas normativos utilizados.

A seguir são feitos comentários sobre os esforços nas lajes e longarinas, que foram obtidos com a utilização da norma brasileira e do LM1. A figura 12 ilustra esquematicamente a configuração dos momentos fletores nas lajes das 3 pontes após o alargamento, para a realização da análise comparativa dos resultados com a utilização das duas normas.

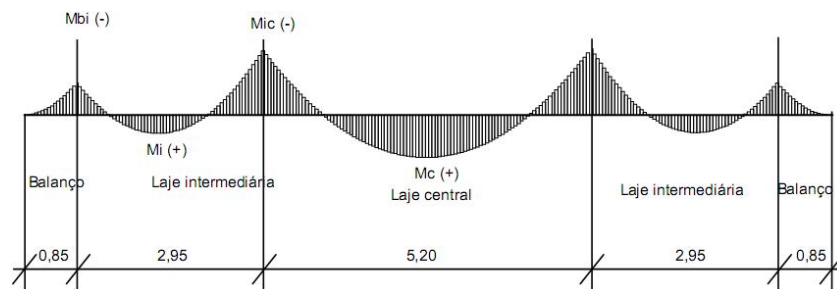


Figura 12 – Ilustração esquemática com a nomenclatura dos momentos nas lajes do tabuleiro alargado.

Na laje central, foi obtido para o momento máximo positivo (M_{c+}) o valor de $30KN.m/m$ para o cálculo feito com a NBR 7188. Quando foi utilizado o modelo LM1 o valor passou para $33KN.m/m$, o que significa um acréscimo de 10%.

Os momentos negativos da laje central (M_{ic}), que correspondem ao momento negativo dos balanços das lajes originais, tem, em média, $69KN.m/m$ pela norma brasileira e $82KN.m/m$ pelo Eurocódigo. Tais momentos, para a configuração original das lajes, tinham um valor da ordem de $64KN.m/m$, de modo que os momentos das lajes nessas regiões de apoio tiveram um acréscimo de 8% pelas normas brasileiras e de 28% pelo Eurocódigo.

No caso das novas lajes intermediárias os momentos fletores positivos médios (M_i) são da ordem de $21KN.m/m$ quando obtidos pelas normas brasileiras e de $26KN.m/m$ quando calculados pelo Eurocódigo, o que implica em um acréscimo de 24% quando é utilizada a norma europeia.



A seguir é feito um resumo dos resultados obtidos para os esforços (momentos fletores e esforços cortantes) e deslocamentos máximos nas principais seções (denominadas seções notáveis) das longarinas novas e antigas dos tabuleiros alargados das 3 pontes estudadas. Os valores estão indicados nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Esforços e deslocamentos nas seções notáveis após alargamento da ponte 1.

Norma utilizada	Longarinas existentes			Longarinas novas		
	Momento fletor (KN.m)	Esforço cortante (KN)	Flecha (cm)	Momento fletor (KN.m)	Esforço cortante (KN)	Flecha imediata + diferida (cm)
Norma brasileira	5140	1060	3,60	3880	777	3,40
Eurocódigo	5540	1120	3,70	4170	847	3,70

Tabela 5 – Esforços e deslocamentos nas seções notáveis após alargamento da ponte 2.

Norma utilizada	Longarinas existentes						Longarinas novas					
	Mom. fletor vão (KN.m)	Esforços cortantes vão (KN)	Mom. fletor balanço (KN.m)	Esforços cortantes balanço (KN)	Flecha total (cm)		Mom. fletor vão (KN.m)	Esforços cortantes vão (KN)	Mom. fletor balanço (KN.m)	Esforços cortantes balanço (KN)	Flecha imediata + diferida (cm)	
					Vão	Balanço					Vão	balanço
NBR 7188	4060	1450	-5140	1070	2,80	1,00	2650	921	-3370	684	2,80	0,80
Eurocódigo	5020	1560	-6510	1300	3,10	1,40	3140	993	-4420	836	3,20	1,80

Tabela 6 – Esforços e deslocamentos nas seções notáveis após alargamento da ponte 3.

Norma utilizada	Longarinas existentes				Longarinas novas			
	Mom. Fletor Vão (KN.m)	Mom. Fletor Apoio (KN.m)	Esforço Cortante (KN)	Flecha Total (cm)	Mom. Fletor Vão (KN.m)	Mom. Fletor Apoio (KN.m)	Esforço Cortante (KN)	Flecha Imediata + Diferida (cm)
NBR 7188	2640	-3010	1140	2,30	1640	-2430	788	2,45
Eurocódigo	2950	-2970	1190	2,30	1800	-2460	829	2,48



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de
maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



5. Conclusão

Os resultados obtidos da análise comparativa entre a norma NBR 7188 e o modelo LM1 do Eurocódigo quando aplicado a projetos de alargamento de pontes rodoviárias típicas de concreto armado, mostram que existem, de modo geral, acréscimos nos esforços obtidos pelo LM1 cujas intensidades dependem do sistema estrutural e dos vãos da ponte. No caso das longarinas novas e das existentes no tabuleiro original as tabelas acima mostram que para a ponte com vigas simplesmente apoiadas o acréscimo nos esforços são de no máximo 9%. Na ponte em balanço tais acréscimos podem chegar a 26% enquanto que nas pontes com dois vãos os acréscimos são de no máximo 11% nos momentos positivos. As flechas (imediatas e diferidas) também são superiores quando calculadas pelo Eurocódigo mas todos os valores obtidos encontram-se dentro dos limites admissíveis.

É possível concluir, portanto nessa etapa do estudo, que o modelo LM1 do Eurocódigo é bastante realista, produz esforços compatíveis em projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias e deve ser utilizado como uma das referências no processo de modificação da NBR 7188.

Referências

- ABNT. NBR 7188 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres, Rio de Janeiro, 1984.
- EN1991-2 Eurocode 1 – Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges CEN, 2002.
- MENDES, P.T.C. – Contribuição para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras (Tese de Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- VITÓRIO, J.A.P. – Um Estudo Comparativo Sobre Métodos de Alargamento de Pontes Rodoviárias de Concreto Armado, com a Utilização das Normas Brasileiras e Eurocódigos (Tese de Doutorado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal (2013).