Desenvolvimento de Modelo de Cargas Móveis para Verificação de Fadiga em Pontes Rodoviárias

Lívia Fernandes Santos¹ Michèle Schubert Pfeil²

Resumo

As pontes são estruturas sujeitas ao fenômeno de fadiga pela acumulação de danos decorrentes da atuação de ciclos não uniformes de variação de tensão devidos à passagem de veículos com diferentes características. A verificação desse fenômeno em estruturas de obras de arte especiais é essencial para garantir a segurança estrutural, especialmente em pontes em aço. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma proposta preliminar de modelo de cargas móveis próprio para verificação de fadiga em pontes rodoviárias no Brasil. É um estudo voltado para pontes em grelha com vãos biapoiados de comprimento entre 10 a 40 m. A calibração do modelo de carga é realizada a partir de dados atuais de tráfego de veículos pesados, coletados de postos de monitoramento de diversas rodovias brasileiras. O resultado deste trabalho pretende, de certa forma, contribuir para a modernização da normalização brasileira para projetos de pontes.

Palavras-chave: Fadiga; Pontes rodoviárias; Espectro de veículos reais; Modelo de cargas móveis.

1 Introdução

As estruturas de pontes, por receberem um carregamento variável de caráter cíclico oriundo do tráfego de veículos, estão suscetíveis ao fenômeno de fadiga, o qual pode levá-las à ruptura. A verificação da resistência das pontes a esse fenômeno é realizada por meio de procedimentos de cálculo com base em modelos de carga móvel e coeficientes de segurança, os quais são estabelecidos em normas de projeto. Em geral, as normas apresentam dois métodos distintos: (a) o método do tempo de vida garantido e (b) o método do dano controlado. Esses dois métodos simplificados são desenvolvidos a partir do método mais geral que consiste no cálculo do dano acumulado na estrutura através da regra de Palmgren-Miner a partir de um espectro de veículos reais que passam pela ponte.

A normalização brasileira que trata das cargas móveis em pontes rodoviárias (NBR7188, 1984) apresenta modelo de cargas móveis para a verificação das estruturas em situações de Estado Limite Último (ELU). Para a verificação da resistência à fadiga no caso de pontes em concreto, a magnitude deste modelo é reduzida a valores frequentes para a aplicação do método do tempo de vida útil à fadiga garantido

(NBR 6118, 2007) sem, entretanto, uma calibração a partir de dados de tráfego em rodovias no Brasil. Esse método será tratado em um trabalho futuro.

Esse trabalho apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento de modelo de cargas móveis para verificação da resistência à fadiga segundo o método do dano controlado com variação de tensão equivalente, específico para o Brasil, tendo como base os dados do tráfego atual em rodovias brasileiras, coletados e tratados por ROSSIGALI (2013). O estudo foi desenvolvido (SANTOS, 2013) com base em ações nominais (sem a multiplicação pelos coeficientes de segurança parciais), para pontes em grelha, com longarinas biapoiadas e para uma faixa de vãos com comprimentos entre 10 e 40 m. A partir do resultado da calibração para diferentes configurações de veículo para o modelo de carga é feita uma proposta preliminar de modelo que atenda à faixa de vãos considerada. O bom desempenho do modelo proposto é demonstrado com um exemplo numérico de ponte de seção mista aço-concreto com quatro longarinas. Apesar de aplicado para um exemplo de ponte de seção mista, o procedimento pode ser aplicado para verificação de fadiga também em pontes de concreto.

¹ livia_fernandes@poli.ufrj.br

² POLI – COPPE / UFRJ / mpfeil@coc.ufrj.br

2 Fadiga em Pontes

O fenômeno da fadiga é associado à repetição de ações dinâmicas. É um processo de modificações progressivas e irreversíveis que ocorre na estrutura de um material quando este é submetido ciclicamente a variações de tensões. Essas modificações podem acarretar na formação de fissuras internas ou no aumento delas, o que, caso o número de ciclos de tensões seja suficientemente grande, pode conduzir a fraturas no material (BOLLOTIN, 1999).

As curvas S-N relacionam o número de ciclos N necessários para a iniciação da fratura por fadiga (tratado estatisticamente) e a variação de tensões ($S = \Delta \sigma$) imposta por um carregamento harmônico, causando assim uma variação constante de tensão. Para componentes estruturais em aço as curvas S-N têm o aspecto mostrado na Figura 1a, onde o trecho reto (em escala log-log) é geralmente expresso por:

$$N = N_{fad} \left(\frac{\Delta \sigma_{fad}}{\Delta \sigma} \right)^m \tag{1}$$

sendo o expoente m a inclinação do trecho, e o par $(\Delta\sigma_{\rm fad}, N_{\rm fad})$ um ponto da reta. Segundo BOLOTIN (1999), há evidências de que para alguns materiais como o aço-carbono, o início das macrofissuras não acontece se a amplitude das tensões for suficientemente pequena. Nesses casos, há um limite para as tensões abaixo do qual a ruptura por fadiga não ocorre, mesmo para um grande número de ciclos de variação constante de tensão, representado pelo valor denominado limite de fadiga sob amplitude constante ($\Delta\sigma_{\rm fad}$ na Figura 1a).

As pontes são estruturas especialmente sujeitas à fadiga devido à natureza cíclica de seus carregamentos, que consistem majoritariamente na passagem de veículos. As variações de tensões Δσ impostas pela passagem dos veículos são não uniformes e

dependem do peso do veículo e de sua configuração geométrica, entre outros fatores. Nesses casos de variações não uniformes de tensões, pode-se utilizar a regra de Palmgren-Miner para a determinação do dano acumulado na estrutura devido a todos os ciclos de carregamento, mesmo aqueles inferiores a $\Delta\sigma_{\rm fad}$ da Figura 1. Assim sendo, uma vez que se determina o número N de ciclos por unidade de tempo necessário para iniciação da fratura associado a um valor $\Delta\sigma$, podese determinar o dano acumulado D, relacionando-o linearmente com o número de ciclos experimentados n, dado por (BRANCO et al.,1999):

$$\sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{N_i} = D \tag{2}$$

Observa-se que o limite da segurança à fadiga é atingido quando D=1. A vida útil à fadiga de uma estrutura pode, então, ser determinada como o inverso do valor do dano acumulado, dado por :

$$VU = 1/D \tag{3}$$

Para esses casos de variações não uniformes de tensões, algumas normas de projeto, como o Eurocódigo 3, indicam a utilização de curvas *SN* com duas inclinações da Figura 1b, em que se define o limite de truncamento, abaixo do qual as variações de tensões não precisam ser consideradas no cálculo dos danos.

A Figura 2 (PFEIL et al., 2007) apresenta a resposta em termos de tensões em um ponto da seção mais solicitada de uma ponte durante a passagem do veículo considerando-se duas condições de pavimento: com e sem um ressalto na pista junto às extremidades da obra decorrentes dos usuais recalques dos aterros de acesso ou da falta de manutenção adequada de juntas de dilatação, ou ainda alguma irregularidade no pavimento. No gráfico da Figura 2 observa-se que a

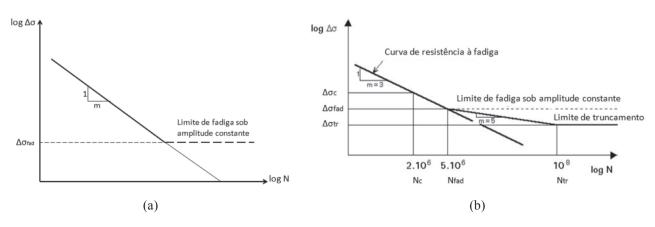


Figura 1 – Exemplos de curva S-N para componentes metálicos (adaptado de ESDEP, 2000).

estrutura tem distintos ciclos de variação de tensões: há um grande ciclo correspondente à resposta quase-estática e diversos ciclos menores decorrentes da vibração da estrutura. Em relação às duas condições do pavimento, vê-se que a presença do ressalto induz a uma resposta dinâmica com ciclos de variação de tensões de amplitudes significativas.

Na prática a análise de estruturas sujeitas a carregamentos móveis é realizada aplicando-se um carregamento estático e majorando o valor de seus efeitos com um coeficiente de impacto, ou coeficiente de amplificação dinâmica para a obtenção do valor máximo da resposta. Para a análise de fadiga, no entanto, os diversos ciclos menores de variação de tensões contribuem também para o dano acumulado, além do ciclo maior.

3 Métodos de Verificação de Fadiga

Os métodos do tempo de vida garantido e do dano controlado são adotados nas normas de projeto

para a verificação da resistência à fadiga em estruturas de pontes. No método do tempo de vida garantido, utilizado pela NBR 6118 (2007), por exemplo, a variação de tensão $\Delta\sigma_{m\acute{a}x}$ provocada pela passagem do correspondente modelo de cargas móveis é comparada ao limite de fadiga para amplitude de tensão constante $\Delta\sigma_{fad}$ como ilustrado na Figura 3a. Em termos nominais, a segurança está garantida para $\Delta\sigma_{m\acute{a}x}<\Delta\sigma_{fad}$. Este modelo de cargas é desenvolvido de modo que $\Delta\sigma_{m\acute{a}x}$ seja correspondente a uma variação de tensões de alta magnitude produzida pelo espectro de veículos reais e que seja excedida diversas vezes durante a vida útil da ponte. Por exemplo, uma variação tal que 99% do dano total resultam de todas as variações de tensão abaixo de $\Delta\sigma_{m\acute{a}x}$ (SANPAOLESI e CROCE, 2005).

O método do dano controlado consiste no atendimento à condição de dano D < 1,0 (em termos nominais) para certa vida útil requerida pelo projeto. O cálculo do dano acumulado pode ser feito por meio da Equação 2 considerando-se o espectro de veículos reais ou um espectro representativo de

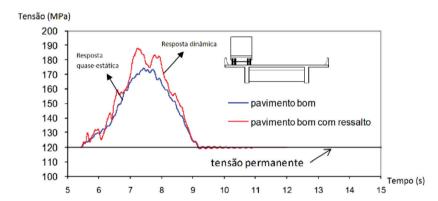


Figura 2 – Variação de tensões na seção mais solicitada em uma ponte (PFEIL et al., 2007).

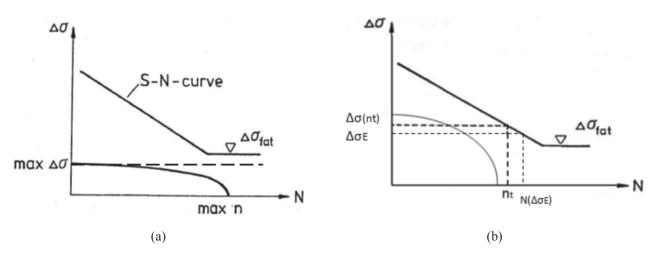


Figura 3 – Ilustração dos dois métodos simplificados de verificação de fadiga. (a) Método do tempo de vida garantido, (b) Método do dano controlado (adaptado de CEB (1987).

veículos derivado do primeiro. O dano pode também ser calculado por meio do conceito de variação de tensões equivalente $\Delta\sigma_{\rm E}$ em que um modelo de carga móvel é desenvolvido de modo a produzir na estrutura o mesmo dano gerado pelo espectro de veículos reais ao longo da vida útil da estrutura. Conforme ilustrado na Figura 3b, o dano devido à $\Delta\sigma_{\rm E}$ é obtido pela razão $N\left(\Delta\sigma_{\rm E}\right)/n_{t}$, sendo n_{t} o número total de ciclos do espectro de veículos reais.

4 Base de Dados de Tráfego

Nesse trabalho, para a calibração dos modelos de cargas de verificação de fadiga em pontes, será utilizado o banco de dados desenvolvido por ROSSIGALI (2013). A base de dados foi montada, principalmente, com informações disponibilizadas pela concessionária CCR AutoBan no ano de 2011.

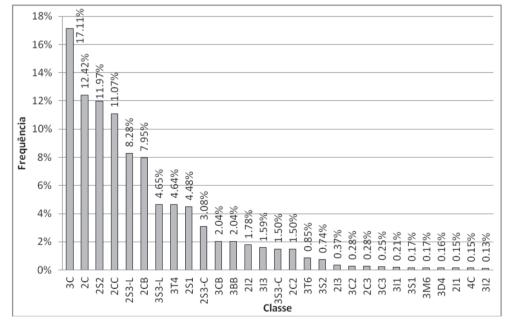
A Figura 4a mostra a composição do tráfego nas rodovias brasileiras de acordo com as 29 classes de veículos da base de dados montada e a Figura 4b apresenta as silhuetas dos veículos mais frequentes da base de dados, tipos 3C, 2C, 2S2, 2CC e 2S3-L. Com base no estudo de ROSSIGALI (2013), adotou-se neste trabalho o volume médio diário de veículos pesados circulando em uma faixa da ponte (VDM) igual 6000 veículos por dia.

5 Modelo de Carga Móvel para Verificação da Fadiga pelo Método de Dano Controlado com Variação de Tensão Equivalente

A Figura 5 ilustra as bases do desenvolvimento do modelo de carga móvel para uso do método de dano controlado por meio de variação de tensão equivalente. O modelo de carga móvel é composto de um veículo padrão cujo peso P foi determinado de modo que a sua passagem sobre a estrutura produza o mesmo dano D_{real} que o espectro de veículos reais para um mesmo número de ciclos total n_c .

Consideram-se pontes em grelha, com longarinas biapoiadas e para uma faixa de vãos com comprimentos entre 10 e 40 m para as quais a situação de tráfego livre é determinante. Para simplificar o desenvolvimento do modelo as seguintes considerações foram feitas (SANTOS, 2013):

- somente um veículo circulando pela ponte, centralizado na faixa de tráfego, não considerando veículos simultâneos na ponte;
- (ii) cada veículo gera somente um ciclo de tensão;
- (iii) o efeito dinâmico da passagem do veículo pela ponte foi considerado através do coeficiente de impacto proposto por TIMERMAN e BEIER (2012);
- (iv) não há alteração do volume de tráfego ao longo da vida útil;



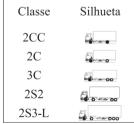


Figura 4 – (a) Histograma de frequência das classes de veículos, (b) Silhuetas de algumas classes mais frequentes (ROSSIGALI, 2013).

- (v) todos os veículos do espectro real e o veículo padrão possuem a mesma bitola;
- (vi) as variações de tensões normais são devidas somente às variações de momento fletor no meio do vão da viga.

Em virtude das hipóteses (v) e (vi) anteriores, o cálculo dos danos é feito somente através da análise longitudinal das pontes.

O modelo de cargas móveis para dano equivalente é obtido aplicando-se os conceitos de acumulação de dano e dano equivalente ao do espectro de variações de tensão provocadas pela passagem dos veículos reais pela ponte e considerando-se o número total de ciclos n_t do espectro de veículos reais um intervalo de tempo medido em anos. Aplicando-se a expressão geral da regra de Palmgren-Miner (Equação 2) e a equação das curvas de fadiga (Equação 1), obtém-se a variação de tensão equivalente ($\Delta \sigma_{no}$):

$$\Delta \sigma_{eq} = \left(\sum_{i=1}^{n_1} n_i \times \Delta \sigma_i^m / n_t \right)^{-m} \tag{6}$$

onde $\Delta \sigma_i$ é a i-ésima variação de tensão; n_i é o número de ciclos de magnitude $\Delta \sigma_i$.

Assim como no desenvolvimento dos modelos de fadiga do Eurocódigo (SANPAOLESI e CROCE, 2005), neste estudo serão utilizadas curvas de fadiga com somente uma inclinação m=5 e limite de truncamento não definido. De acordo com SANPAOLESI e CROCE (2005), os modelos calibrados com curvas S-N com inclinação igual a 5 não apresentavam erros significativos e reproduziam bem o dano real na estrutura.

A variação de tensão equivalente ($\Delta \sigma_{\rm eq}$) é aquela causada pela passagem do veículo padrão de fadiga. Com a configuração do veículo padrão de fadiga definida, o peso total deste veículo (P) pode ser determinado considerando-se, inicialmente, que este

possui peso total unitário (1 kN) e obtendo-se a variação de tensão resultante da passagem desse veículo unitário pela ponte ($\Delta\sigma_{st1}$):

$$P = \frac{\Delta \sigma_{eq}}{\Delta \sigma_{st1}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_t} n_i \cdot \Delta \sigma_i^m}{n_t \cdot \Delta \sigma_{st1}^m}\right)^{-m} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_t} n_i \cdot \left(\frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \sigma_{st1}}\right)^m}{nt}\right)^{-m} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_t} n_i \cdot \left(\frac{\Delta M_i}{\Delta M_{st1}}\right)^m}{n_t}\right)^{-m}$$

$$= \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_t} n_i \cdot \left(\frac{\Delta M_i}{\Delta M_{st1}}\right)^m}{n_t}\right)^{-m}$$

onde ΔM_i é a i-ésima variação de momentos fletores; $\Delta \sigma_{stl}$ é a variação de momentos fletores causada pela passagem do veículo padrão de fadiga de peso unitário.

Como a variação de tensão provocada pelo espectro de veículos e a variação de tensão equivalente são calculadas no mesmo ponto da estrutura, toda a análise da variação de tensão, pode ser reduzida à análise da variação dos momentos fletores na seção mais solicitada.

A Figura 6 ilustra as três configurações selecionadas como candidatas a um modelo de carga móvel para verificação de fadiga no Brasil. A configuração V1 é a de um tandem duplo, escolhida por ser aquela proposta por ROSSIGALI (2013) em seu trabalho visando o desenvolvimento de um novo modelo de cargas móveis para verificação do ELU em pontes rodoviárias brasileiras. A configuração V2 é a de um veículo do tipo 3C, selecionada por ser a classe mais frequente no espectro de veículos reais e por ser responsável por parte considerável do dano acumulado na estrutura. Por fim, também foi estudada uma

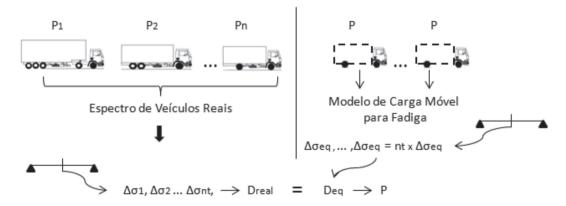


Figura 5 – Desenvolvimento do modelo de carga móvel para aplicação do método do dano controlado.

configuração de veículo adaptada da atual NBR 7188 (V3), o trem tipo TB45 da NBR7188 para verificação do ELU.

A Figura 7 apresenta o gráfico com os resultados obtidos para o peso total *P* dos modelos de carga móvel, em função do comprimento do vão da ponte.

Para todas as configurações de veículo, o peso total do modelo de cargas móveis é mais elevado para as pontes com vão igual a 10 m, devido ao coeficiente de impacto adicional aplicado a esse comprimento de vão, no entanto, para os demais comprimentos de vão, as curvas são assintóticas e tendem para um único valor de peso total do modelo de cargas móveis. Isso leva a conclusão que, para vãos maiores que 40 metros, a configuração dos modelos de carga, dentro do universo analisado, não possui muita influência sobre o peso total do veículo padrão necessário para que este provoque um dano equivalente ao espectro de veículos reais.

Selecionou-se a configuração de *tandem* duplo (V1) por tratar-se de um modelo de cargas móveis que está sendo proposto como modelo calibrado para

ELU (ROSSIGALI, 2013). Observando-se os pesos totais obtidos com a configuração de *tandem* duplo, conclui-se que os resultados, para todos os vãos, estão entre 300 e 390 kN. Dessa forma o peso total do veículo padrão de fadiga pode ser adotado de forma conservadora igual a 400 kN para toda a faixa de vãos analisada. A Figura 8 ilustra o modelo aqui proposto, o qual se baseia em ações nominais (sem aplicação de coeficiente de segurança).



Figura 8 – Modelo de cargas móveis proposto para a verificação da resistência a fadiga em pontes com vãos entre 10 m e 40 m pelo método do dano controlado.

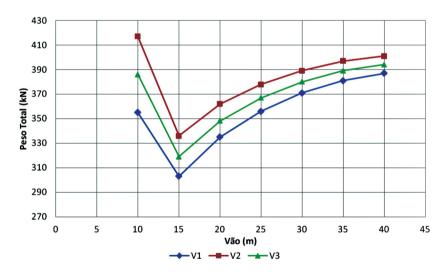


Figura 7 – Peso total dos modelos de cargas móveis desenvolvidos segundo o método da variação de tensões equivalente para curvas de fadiga com inclinação m = 5.

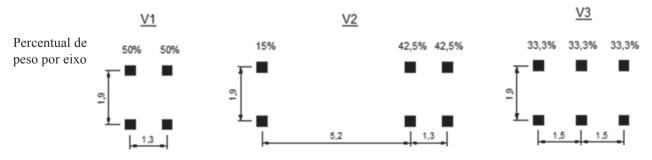


Figura 6 – Configurações das propostas de veículo padrão (dimensões em metros).

6 Exemplo Numérico

Utiliza-se como exemplo numérico (SANTOS, 2013) uma ponte mista com quatro longarinas, biapoioada e reta, com 40 m de comprimento, extraída do trabalho de TOLEDO (2001). Esse exemplo numérico pretende mostrar a eficiência do modelo de cargas móveis proposto para a verificação da fadiga pelo Método de Dano Controlado, desenvolvido através do conceito de variação de tensão equivalente. Foram calculados os danos (Equação 2) para uma vida útil de projeto igual a 100 anos, em um detalhe típico de uma longarina, por três formas distintas: (i) considerando-se os dados do espectro real de veículos (item 4); (ii) com o modelo de cargas móveis V1 da Figura 6 com peso total calculado para o comprimento de vão específico (P=387 kN); (iii) utilizando-se a proposta para o modelo de cargas móveis V1 para dano equivalente, desenvolvido no item 5 (P=400 kN).

O cálculo do dano foi realizado para o detalhe de ligação entre a mesa inferior e a alma do perfil. Essa ligação é feita através de solda de filete, de forma automática e com interrupções, se enquadrando na categoria $112 \, (\Delta \sigma_c = 120 \, \text{MPa})$, segundo o Eurocódigo 3 – Parte1-9 (2005). A curva S-N adotada possui duas retas: um trecho com inclinação m=3 e outro com m=5, conforme apresentado na Figura 1b, no entanto, o limite de truncamento não foi considerado nesta análise, assim, todos os ciclos de variação de tensão contribuem para o cálculo do dano.

A Tabela 1 apresenta o resultado obtido para as três situações analisadas. O saldo de vida útil será igual à vida útil calculada menos a vida útil de projeto, igual a 100 anos.

Verifica-se que o dano acumulado resultante da passagem do espectro de veículos reais (situação i) é igual ao dano calculado considerando-se a passagem do modelo de cargas móveis calibrado para o comprimento de vão analisado (situação ii). Essa concordância completa se deve ao fato de que os ciclos de variação de tensão serem inferiores ao limite de fadiga $\Delta\sigma_{\rm fad}$, região da curva SN em que m=5.

A eficiência do modelo de cargas móveis proposto é confirmada quando se observa que o dano

causado pela passagem deste pela ponte resulta em um dano maior que aquele gerado pelo espectro de veículos reais, sendo, portanto, um modelo de cargas para análise de fadiga conservador, caso todos os ciclos de variação de tensão correspondam a uma inclinação da curva S-N igual a 5.

No que diz respeito à vida útil de fadiga calculada, percebe-se que os resultados obtidos para o detalhe de ligação entre a mesa inferior e a alma do perfil da longarina externa, para as três analises, são bastante superiores à vida útil requerida em projeto, de 100 anos. Entretanto, a garantia da segurança com relação ao fenômeno da fadiga dependerá dos coeficientes de segurança adotados, não considerados no presente trabalho.

7 Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um modelo de cargas móveis para verificação da resistência à fadiga de pontes por meio do método do dano controlado com variação de tensão equivalente. Foi utilizado um espectro de veículos reais que circulam pelas rodovias brasileiras, sendo possível o desenvolvimento de um modelo de cargas móveis compatível com as características do tráfego de veículos atual nas pontes do Brasil.

Considerando-se a configuração do veículo padrão V1, um tandem duplo, utilizando-se o coeficiente de impacto proposto por TIMERMAN e BEIER (2012) e adotando curvas S-N simplificadas com inclinação única m = 5, chegou-se a um modelo de cargas móveis adequado para a verificação da resistência a fadiga em pontes com vãos dentro da faixa analisada, entre 10 e 40 m, a qual tem a configuração de um tandem duplo (V1 da Figura 6) e 400 kN de peso total.

O bom desempenho do modelo proposto foi demonstrado com um exemplo numérico, em que as variações de tensões devidas ao espectro de veículos reais encontram-se na região da curva S-N em que m=5. Um novo exemplo deve ainda ser testado, no qual ocorram variações tensão maiores do que $\Delta\sigma_{\rm fad}$ (região em que m=3).

Tabela 1 – Resultado para cálculo do dano por ano e vida útil para cada situação.

Situação	M (kN.m)	Δσ (MPa)	n	N	Dano/ano	Vida Útil (anos)	Saldo de vida útil (anos)
i	_	_	_	_	1.20E-03	832	732
ii	3744	30.06	1.64E+08	1.83E+09	1.20E-03	834	734
iii	3870	31.07	1.64E+08	1.55E+09	1.41E-03	707	607

8 Referências

ABNT, *NBR-6118:2007 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, 2007.

ABNT, NBR-7188:1984 – Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, 1984.

BOLOTIN, V. V., *Mechanics of Fatigue*, Estados Unidos, CRC Press, 1999.

BRANCO, C. M., FERNANDES, AA., CASTRO, P. M. S. T., *Fadiga de Estruturas Soldadas*, Lisboa, Portugal, Editora Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

CEB, *Fatique Design Concepts*, Plenary Session, Session 4, Fatigue, Treviso, Comité Euro-international du Béton, 1987.

EN1993-1-9, Eurocode 3 – *Design of Steel Structures* – *Parte 1-9: Fatigue*. European Committee for Standardization, Brussels, 2005.

ESDEP (2000), European Steel Design Education Programme, ESDEP, disponível em: http://www.esdep.org. Acesso em 15 dez. 2012.

PFEIL, M. S., MELO, E. S., BATTISTA, R. C., "Efeitos dinâmicos de veículos em pontes rodoviárias", In: *II*

Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Outubro de 2007.

ROSSIGALI, C. E., Atualização do Modelo de Cargas Móveis para Pontes Rodoviárias de Pequenos Vãos no Brasil. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

SANPAOLESI L., CROCE, P., Handbook 4: Design of Bridges – Guide to basis of bridge design related to Eurocodes supplemented by practical examples, JRC Scientific and Technical Reports, 2005.

SANTOS, L. F., Desenvolvimento de um novo modelo de cargas móveis para verificação de fadiga em pontes rodoviárias, Projeto de graduação, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

TIMERMAN, J., MARTIN, B., "Considerações Sobre a Revisão da ABNT NBR 7188 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas". In: *V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Maio de 2012.

TOLEDO, R. L. S., Avaliação de vida útil à fadiga em ponte mista aço-concreto considerando o espectro de veículos reais, Projeto de graduação, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.