



FADIGA DA ARMADURA LONGITUDINAL EM PONTES DE CONCRETO ARMADO: EFEITOS DA CORROSÃO

FATIGUE IN LONGITUDINAL REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES: THE CORROSION EFFECTS

Paulo de Tarso Cronemberger Mendes (1); Paulo de Mattos Pimenta (2); Balthasar Novák (3)

(1) Professor Doutor, Departamento de Estruturas – Universidade Federal do Piauí - Brasil
paulo.tcm@uol.com.br

(2) Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Brasil
ppimenta@usp.br

(3) Professor Doutor, Universidade de Stuttgart - Alemanha
balthasar.novak@ilek.uni-stuttgart.de

Resumo

Pontes de concreto armado pertencentes às rodovias federais que apresentam corrosão da armadura longitudinal evidenciam a má qualidade de execução dessas estruturas, em especial a deficiência / inexistência do recobrimento da mesma. Na imensa maioria a corrosão ocorre na primeira camada e independe das aberturas de fissuras de flexão.

A verificação da fadiga da armadura foi feita através do índice total de danos D_d da estrutura, causada pelos carregamentos cíclicos, obtido a partir dos valores d_{dj} de contribuição de cada classe de veículos, de acordo com o CEB – FIP Model Code 90, considerando a diversidade da frota de veículos em circulação no país através de três tipos de veículos, o Rodo-trem 74/20 (representativo dos veículos de cargas – caminhões simples, semi-reboques, reboques e CVCs, correspondentes a 40,1% da frota), o Ônibus Direcional Duplo Trucado (representativo de todos os tipos de ônibus, correspondentes a 4,5% da frota) e a Van (representativa dos veículos de passeio – motos, automóveis e vans, correspondentes a 55,4% da frota).

As tensões nas barras foram determinadas considerando duas taxas geométricas de armadura, e em cada uma delas foram consideradas três situações: a seção de aço foi considerada integral, com a primeira camada com 40% de corrosão e com a primeira camada totalmente corroída.

Neste trabalho são analisados os resultados e os efeitos da corrosão sobre a durabilidade da estrutura.

Palavras-chave: Pontes de concreto; Corrosão da armadura; Fadiga

Abstract

The reinforced concrete bridges of the Brazilian federal network that present corroded longitudinal reinforcement are the evidence that execution was not adequate, because of excessive porosity or insufficient thickness of concrete cover. In general the corrosion occurs in the first layer and is independent of bending crack widths.

The fatigue of the longitudinal reinforcement was verified according to the CEB – FIP Model Code 90 with the aid of the structure damage index D_d caused by cyclic loads, obtained with the partial contribution d_{dj} of the vehicles classes representing the trucks (40,1% of vehicle fleet), the buses (4,5% of vehicle fleet) and the light vehicles (55,4% of vehicle fleet).

The stresses in the bars were obtained considering two longitudinal reinforced taxes and in each one the reinforcement section was considered integral, with the first layer 40% corroded and with the first layer 100% corroded.

In this paper the results and the effects of reinforcement corrosion on the durability of the structure are analyzed.

Keywords: Concrete Bridges; Reinforcement Corrosion; Fatigue



1 Introdução

As inspeções realizadas em 1.210 pontes das rodovias federais pelo Consórcio Pontis / Maia Melo, constituído pela Pontis Consultoria e Projetos Ltda, sediada no Rio de Janeiro - RJ, e a Maia Melo Engenharia Ltda, sediada em Recife - PE, para implantação do SGO - Sistema de Gestão de Obras, cujo relatório final foi entregue ao DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes em 2003, revelaram diversas patologias existentes, entre as quais a corrosão da armadura longitudinal das longarinas em pontes de concreto armado.

Das pontes inspecionadas, 17 delas apresentavam quadro fissuratório intenso ou com trincas e fissuras com grandes aberturas e 68 apresentavam armadura longitudinal exposta e deteriorada. Do cruzamento dessas informações constatou-se que apenas duas pontes apresentavam simultaneamente essas duas patologias. Este fato e a observação das fotos das pontes apontam para a deficiência / inexistência do recobrimento, causada por deficiência de projeto ou por má qualidade de execução, como causa da corrosão.

A corrosão atinge apenas a primeira camada de barras, na quase totalidade dos casos, conferindo às pontes uma péssima aparência e a sensação para o usuário de grave deficiência de capacidade portante.

Para avaliar a importância da perda de seção da armadura com a corrosão foi considerada uma ponte de concreto armado típica, com longarinas simplesmente apoiadas, vão de 20,0 m e tabuleiro de largura total de 10,0 m.

As longarinas foram consideradas com duas taxas geométricas de armadura. Em cada uma dessas situações as tensões na armadura foram calculadas considerando a seção transversal da armadura sem corrosão, com a primeira camada com 40% de corrosão e com a primeira camada totalmente corroída.

A determinação dos momentos fletores foi feita através do SAP2000-V12, considerando veículos reais e suas respectivas cargas por eixo.

Na verificação da fadiga da armadura foi considerado o índice total de danos D_d da estrutura, causada pelos carregamentos cíclicos, obtido a partir dos valores d_{dj} de contribuição de cada classe de veículos, de acordo com o CEB – FIP Model Code 90, considerando a diversidade da frota de veículos em circulação no país através de três tipos de veículos, o Rodo-Trem 74/20, o mais desfavorável dos veículos de cargas (representativo dos caminhões simples, semi-reboques, reboques e CVCs, correspondentes a 40,1% da frota), o Ônibus Direcional Duplo Trucado (o mais desfavorável entre todos os tipos de ônibus, correspondentes a 4,5% da frota) e a Van, o mais desfavorável dos veículos de passeio (representativa de motos, automóveis e vans, correspondentes a 55,4% da frota).

A aderência entre o concreto e o aço foi considerada perfeita nas regiões não fissuradas.

No trabalho são analisados os resultados e os efeitos da corrosão sobre a durabilidade da estrutura.

2 Pontes com Corrosão na Armadura de Flexão das Longarinas

A figura 1(a) apresenta a localização das 68 pontes com armadura principal exposta e deteriorada, segundo o SGO. A figura 1(b) apresenta a localização das 17 pontes consideradas com quadro fissuratório intenso ou com fissuras de grandes aberturas. Na figura 1(b) destacam-se somente duas pontes que apresentaram simultaneamente um quadro fissuratório intenso e corrosão da armadura longitudinal.

As figuras 2 (a) a 2 (d) apresentam casos típicos de pontes, com idades entre 42 e 51 anos, nas quais as longarinas encontram-se com armadura de flexão corroída, em geral a primeira camada. Destacam-se nas 68 pontes com armadura principal exposta e deteriorada o reduzido cobrimento da armadura e a má distribuição das barras, que praticamente impede a passagem do concreto até a face inferior da longarina, como responsáveis pela exposição da armadura e conseqüente corrosão.

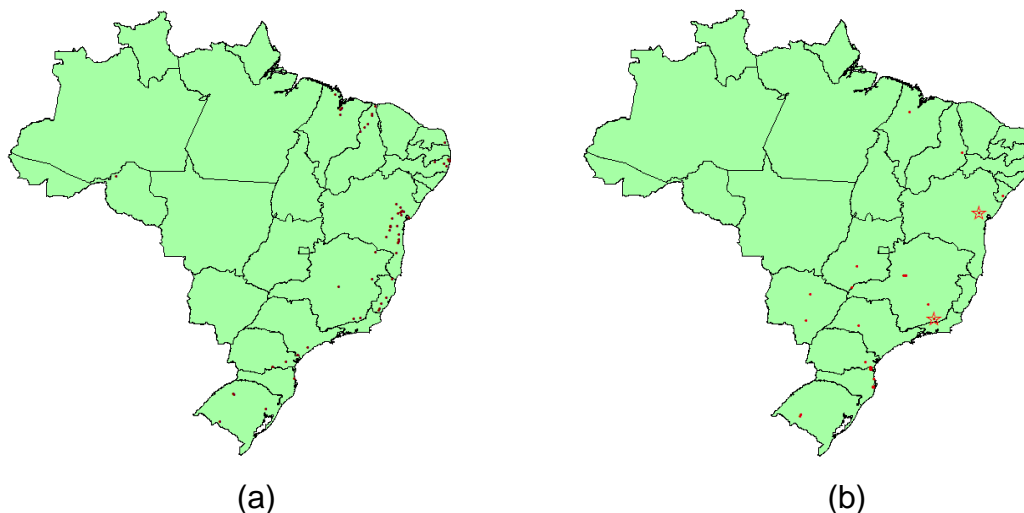


Figura 1 – Localização das 68 pontes com armadura principal exposta e deteriorada (a) e das 17 pontes com quadro fissuratório intenso ou fissuras de grandes aberturas (b).

3 Exemplo de Ponte – Modelo Adotado

A ponte que serviu de exemplo e o respectivo modelo adotado para o SAP2000 encontram-se na figura 3 [1]. As faixas são indicativas da região de passagem dos veículos reais.

As taxas de armaduras $\rho_3=2,68\%$ e $\rho_4=1,63\%$ são compatíveis com o dimensionamento considerando o aço CA25 e CA50, respectivamente. As distribuições das barras para as taxas de armadura ρ_3 e ρ_4 , com as respectivas situações de corrosão da primeira camada, encontram-se na figura 4(a) a (c).



(a) Ponte no Piauí – 51 anos



(b) Ponte na Bahia – 42 anos



(c) Ponte em São Paulo – 48 anos



(d) Ponte no Rio Grande do Sul – 47 anos

Figura 2 (a) a (d) – Exemplos típicos de armadura principal exposta e deteriorada

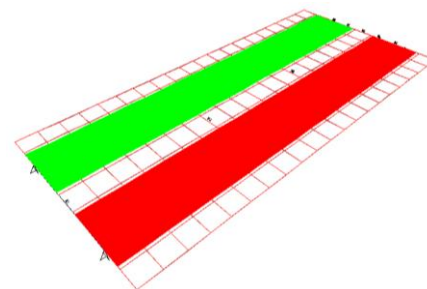
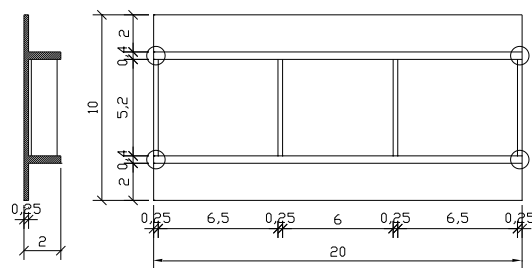


Figura 3 – Ponte típica do exemplo, com modelo adotado para o SAP2000

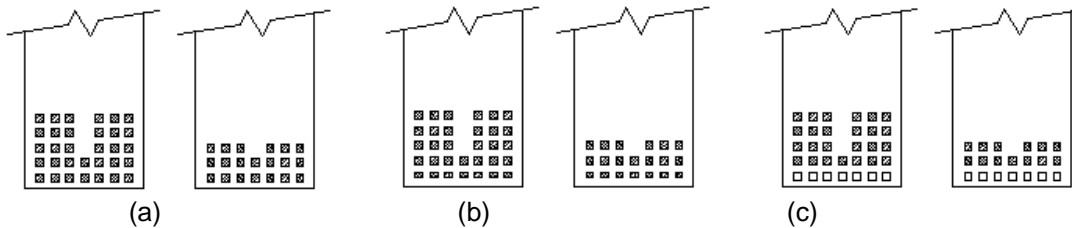


Figura 4 - Distribuição das barras na seção transversal das longarinas com taxas de armadura ρ_3 e ρ_4 , com a primeira camada do arranjo não corroída (a), com a primeira camada com 40% de corrosão (b) e com a primeira camada 100% corroída (c).

4 Resultados obtidos

Para a verificação da fadiga na armadura de acordo com o CEB – FIP Model Code 90 [2] foi considerada a pesquisa de tráfego realizada em 2005 pelo Centro de Excelência em Engenharia de Transportes – CENTRAN para o Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem [3]. A projeção do volume médio diário de veículos (VMD) considerou uma taxa linear de crescimento de 3% ao ano. As figuras 5 e 6 apresentam exemplos de projeções.

PROJEÇÃO DO VMD COM BASE NO VMD_{2005}
VMD_{min} = 500 - UMA FAIXA
 (Taxa de crescimento = 3% ao ano)

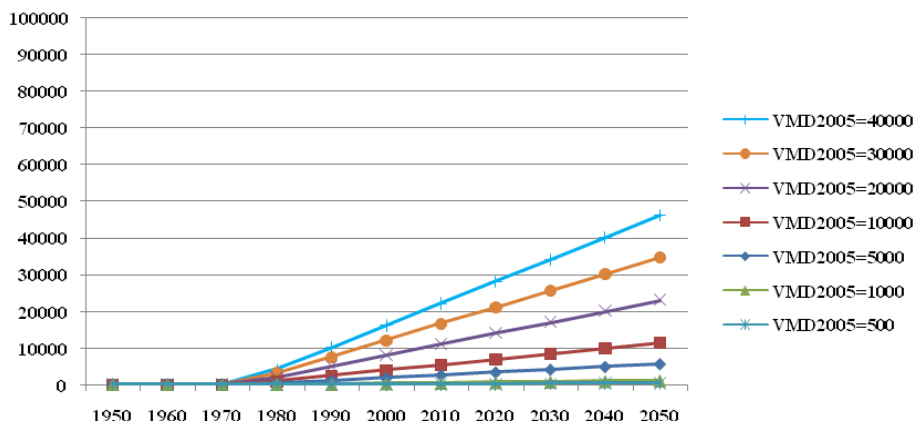


Figura 5 – Projeção do volume médio diário de veículos por faixa com base no VMD_{2005} , com $VMD_{min} = 500$

A partir das projeções dos valores de VMD, da composição da frota de veículos e das variações das tensões de tração provocadas por cada componente dos veículos foram obtidos os valores do índice total de danos D_d para diversas situações. A fadiga da armadura fica caracterizada quando $D_d > 1$.

A figura 7 apresenta os valores de D_d para uma ponte construída em 1950, tendo apresentado um $VMD_{2005}=500$, considerado pouco tráfego. Observa-se para a taxa geométrica de armadura ρ_3 que os valores de D_d são muito inferiores à unidade, mesmo com a primeira camada inteiramente corroída, o que indica uma vida útil quanto à fadiga da armadura muito superior a 100 anos. Para a taxa de armadura ρ_4 íntegra, a vida útil

também supera os cem anos. O mesmo não acontece quando a primeira camada encontra-se com 40% de corrosão, quando a vida útil é reduzida para 65 anos. Com a primeira camada totalmente corroída a redução de vida útil é drástica, chegando a cerca de 10 anos.

PROJEÇÃO DO VMD COM BASE NO VMD₂₀₀₅
VMD_{min} = 2.000 - UMA FAIXA
(Taxa de crescimento = 3% ao ano)

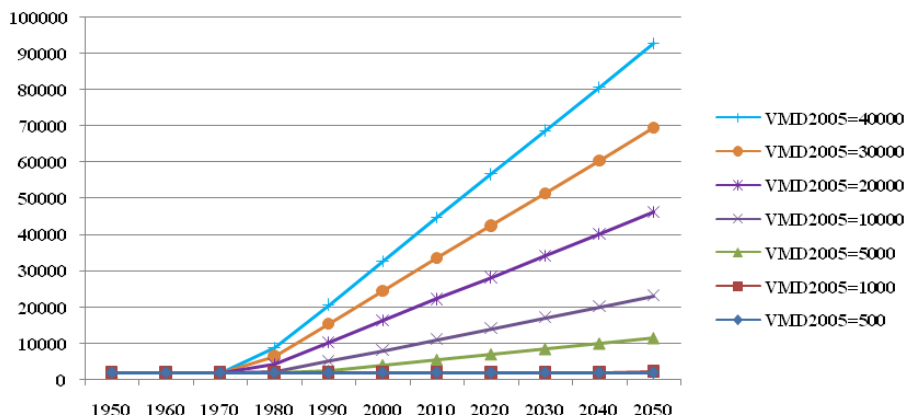


Figura 6 – Projeção do volume médio diário de veículos por faixa com base no VMD₂₀₀₅, com VMD_{min} = 2.000

A figura 8 apresenta os valores de D_d para uma ponte construída em 1950, tendo apresentado um VMD₂₀₀₅=40.000, considerado tráfego intenso. Observa-se para a taxa geométrica de armadura ρ_3 que os valores de D_d são inferiores à unidade apenas quando a primeira camada foi considerada não corroída. Em todos os outros casos ficou caracterizada a redução de vida útil.

No efeito da fadiga foi considerada apenas a redução da seção transversal das barras, sem consideração da redução da capacidade resistente da barra pela estrição da mesma.

FADIGA ($D_d > 1,0$) - (B-C)
AC = 1950 // $VMD_{2005} = 500$ // $VMD_{MIN} = 500$

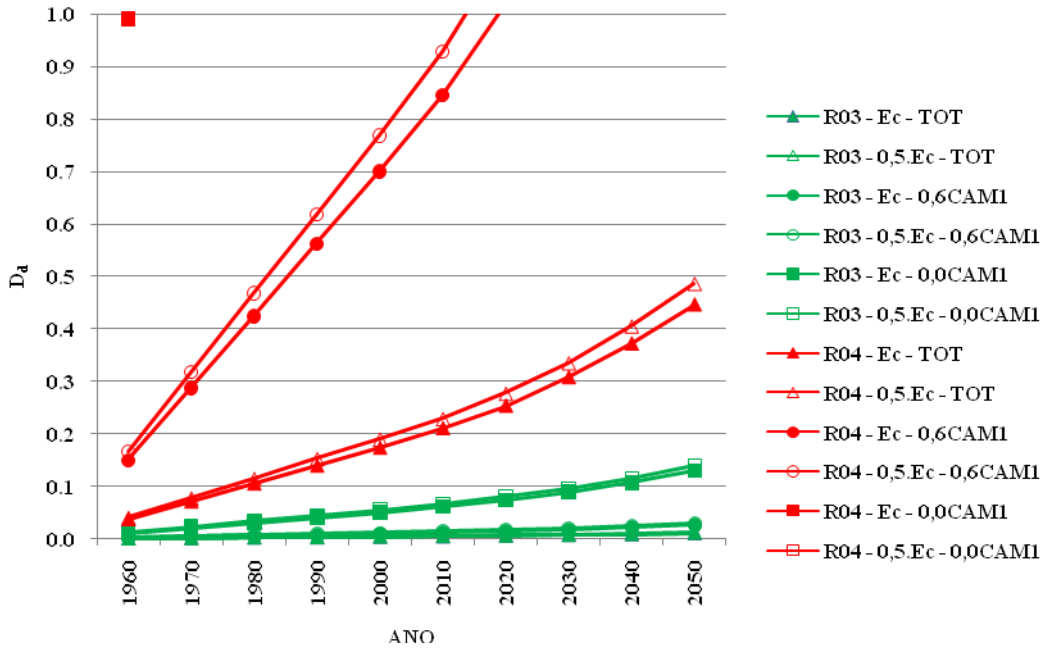


Figura 7 – Valores de D_d para $VMD_{2005} = 500$

FADIGA ($D_d > 1,0$) - (B-C)
AC = 1950 // $VMD_{2005} = 40.000$ // $VMD_{MIN} = 500$

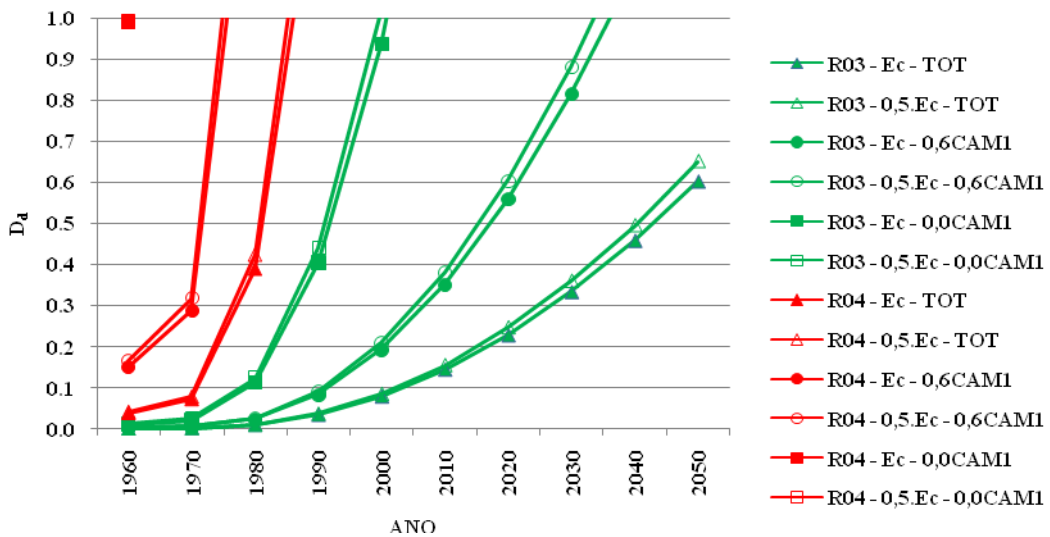


Figura 8 - Valores de D_d para $VMD_{2005} = 40.000$



5 Conclusões

Das 1.210 pontes que foram inspecionadas no âmbito do SGO, 68 delas apresentavam corrosão da armadura longitudinal das longarinas, e destas apenas duas apresentavam também quadro fissuratório intenso ou com fissuras de grandes aberturas. Da observação das fotos dessas pontes contata-se que a corrosão ocorre principalmente na primeira camada, em razão do pequeno cobrimento da armadura e da má distribuição das barras. Essa constatação motivou a modelagem computacional adotada.

A vida útil quanto à fadiga da armadura depende diretamente da intensidade do tráfego, da composição do tráfego e das variações de tensões impostas à armadura decorrentes das taxas geométricas adotadas nos detalhamentos em razão da classe de resistência do aço empregado. A corrosão da armadura, mesmo ocorrendo apenas na primeira camada, pode reduzir significativamente a vida útil da estrutura.

6 Referências bibliográficas

- [1] Mendes, P. T. C. (2009), “**Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras**”, Tese de Doutorado, EPUSP.
- [2] COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. CEB-FIP / MODEL CODE 1990 – **Design Code**. Thomas Telford Services Ltd. 1993.
- [3] CENTRO DE EXCELÊNCIA EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES – CENTRAN. **Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem PDNEP. Volume II. Pesquisa de Tráfego**. Junho/2006.