



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo

Depto. de Engenharia
de Construção Civil

4º Seminário

USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO

27, 28 e 29 de junho de 1989



ALGUNS ASPECTOS DA DETERIORAÇÃO E INSPEÇÃO DE PONTES METÁLICAS

Roberto Martins Gonçalves

José Jairo de Sáles

Walter Abrahão Nimir

0792034

SYSNO	<u>0792034</u>
PROD	<u>00 3327</u>
ACERVO EESC	

ALGUNS ASPECTOS DA DETERIORAÇÃO E INSPEÇÃO DE PONTES METÁLICAS

1 - Introdução

A manutenção e recuperação de pontes metálicas é um problema comum a praticamente todos os países, envolve despesas consideráveis e atenção redobrada dos órgãos governamentais e empresas.

Alguns dados obtidos de outros países reafirmam a preocupação nos aspectos manutenção e recuperação de pontes; nos Estados Unidos estima-se a existência de 560.000 pontes, metálicas e de concreto, sendo que destas 105.000 apresentam problemas de deficiência estrutural ou obsolescência e a cada ano estima-se que cerca de 150 apresentam problemas sérios. Estes problemas vão desde a flambagem de elementos isolados até o colapso total das pontes.

No Brasil não se tem conhecimento de levantamentos sistemáticos da situação atual das pontes, em especial metálicas, porém guardadas as proporções numéricas dos dados apresentados no parágrafo anterior, o problema deve apresentar uma situação semelhante.

A recuperação e manutenção devem necessariamente ser analisadas como um aspecto relevante não só em pontes metálicas mas também em concreto, sendo que é extremamente mais econômico manutenções preventivas e recuperações do que o simples abandono, com o conseqüente risco de colapso e suas implicações não só quanto a possíveis vítimas mas também quanto aos aspectos econômicos com prejuízos devido a interrupções nas vias e elevados custos de reconstrução.

2 - Deterioração de Pontes Metálicas - Principais Causas:

A maioria das pontes metálicas existentes no país são ferroviárias e é necessário lembrar que a implantação da ferrovia data do final do século passado, com companhias estrangeiras instalando as primeiras vias férreas e conseqüentemente implantando todo o sistema do qual as pontes metálicas, quase que na sua totalidade importadas, eram necessárias.

Para melhor compreender as principais causas da deterioração de pontes, o dado histórico apresentado no parágrafo acima deve ser considerado. Tendo em vista que após a década de sessenta um número muito reduzido de pontes metálicas foram construídas.

As principais causas para a deterioração das pontes são:

- corrosão.

- impacto;
- afrouxamento de ligações;
- problemas nas fundações e apoios.

2.1 - Corrosão

Não é objetivo deste trabalho a descrição do fenômeno corrosão mas simplesmente uma análise superficial dos seus efeitos.

Evidentemente, a corrosão como um processo de transformação do aço em óxido de ferro acarreta uma diminuição da seção resistente dos elementos estruturais.

A perda da seção transversal pode introduzir concentrações de tensões provocando a correspondente redução da capacidade última do elemento podendo, em casos extremos, acarretar a ruína por insuficiência de seção ou mesmo a perda de estabilidade.

Os principais tipos de corrosão são: uniforme, puntiforme, esfoliação, em placas, intergranular, intragranular e filiforme. Para cada tipo acima mencionado pode-se estabelecer as causas da corrosão de um dado elemento e sua recuperação deverá considerar o grau de comprometimento da seção e o tipo de corrosão.

2.2 - Fadiga:

Pode-se caracterizar o fenômeno da fadiga como a ruptura de um elemento ou ligação provocada pela flutuação das tensões devido a repetição de carregamentos.

Quanto maior a amplitude da variação de tensões maior será o risco da fadiga do material e, evidentemente, está associada a carregamentos cíclicos.

Os indícios da fadiga do material são caracterizados pelo aparecimento de pequenas fraturas, perpendiculares as linhas de tensões. A detecção do problema é extremamente difícil principalmente pelas condições de acesso aos prováveis pontos de ocorrência e pela dificuldade na observação visual do início do processo.

A fadiga pode ocasionar a ruptura frágil de elementos e vários exemplos, no mundo, relatam acidentes em pontes provocados pela fadiga de elementos e ligações e também constataam a dificuldades na detecção do problema.

Um outro aspecto a ser comentado refere-se ao fato de que, embora o fenômeno da fadiga seja conhecido no meio técnico e científico há muito tempo, ainda hoje é motivo de intensas pesquisas nos principais países do mundo, confirmando a importância do tema.

2.3 - Impactos:

Este tipo de problema é mais comum em pontes rodoviárias onde acidentes com veículos podem ocasionar danos nas pontes.

Este é um tipo de deterioração causado basicamente pelo tráfego sobre as pontes e quando ocorrem devem ser imediatamente reparados.

2.4 - Afrouxamento de ligações:

Este tipo de deterioração é característico de estruturas rebitadas ou parafusadas submetidas a carregamentos móveis nas quais as pontes se enquadram.

O afrouxamento de ligações é um problema bastante sério em pontes ferroviárias e rodoviárias; altera o comportamento inicialmente previsto da estrutura podendo provocar distorções ou grandes deslocamentos os quais podem comprometer a segurança das pontes acarretando, no limite, a ruína da estrutura.

A extensão do problema pode ser aquilatada através de dados estimados por pesquisadores americanos que indicam a substituição de 800.000 rebites por ano em pontes nos Estados Unidos.

Nas pontes ferroviárias este problema é muito frequente nas ligações das longarinas com transversinas.

Inspecções periódicas nas pontes rebitadas e parafusadas constituem o melhor meio de prevenção do afrouxamento de ligações; a substituição dos rebites ou parafusos deve ser realizada com os devidos cuidados e evidentemente a determinação das causas deste afrouxamento devem ser identificadas e corrigidas.

O advento dos parafusos de alta resistência - que trabalham com pré-tensões- minoram este problema, porém, a bibliografia consultada ainda indica que os levantamentos existentes sobre o tema não permitem resultados conclusivos quanto a eficácia destes parafusos relativamente ao afrouxamento ao longo de um período de tempo significativo.

2.5 - Problemas com Fundações e Apoios de Pontes:

O comprometimento das fundações em pontes ferroviárias e rodoviárias, de aço ou concreto, tem sido a causa de vários acidentes. Os principais problemas com fundações são provocados pela alteração dos cursos dos rios e a consequente erosão das bases das fundações e o aumento da carga do trem tipo com a consequente elevação das sobrecargas nas fundações.

O aumento da carga do trem tipo em pontes ferroviárias metálicas é facilmente obtido com o reforço da superestrutura; o

Os problemas relacionados ao apoio das pontes com a infraestrutura constitui um dos aspectos mais preocupantes ao analisarmos a deterioração de pontes.

O impedimento a giros e deslocamentos oriundos da corrosão ou sujeira nos aparelhos de apoios -na maioria das pontes brasileiras em utilização apresentam roletes ou pinos nos apoios- acarreta alterações no comportamento estático da estrutura que, em casos limites, podem alterar significativamente a distribuição dos esforços sobrecarregando ou alterando as solicitações nos elementos que compoem as pontes.

Consta-se que muitos aparelhos de apoio apresentam-se totalmente corroídos, outros com deslocamentos excessivos a ponto de romper chumbadores ou deslocar a reação de apoio para regiões da estrutura não previstas.

3 - Inspeção de Pontes:

Podemos dizer que inspeções sistemáticas constituem no mais importante passo na manutenção e prevenção da deterioração em pontes metálicas.

A complexidade do problema exige que Engenheiros sejam devidamente treinados para realizar com sucesso as inspeções preventivas, não só com conhecimentos técnicos sobre as causas principais da deterioração de estruturas mas também onde elas ocorrem.

Podemos resumidamente dizer que o Engenheiro deve saber onde, como e quando "observar" uma ponte pois alguns problemas são de difícil diagnóstico e somente com um treinamento adequado é possível identificá-los.

Os passos principais para uma inspeção podem ser resumidos nestes tópicos:

- 3.1) Determinação dos pontos comprometidos;
- 3.2) Determinação das causas dos problemas;
- 3.3) Avaliação da resistência da estrutura;
- 3.4) Avaliação da necessidade de reparos;
- 3.5) Seleção dos procedimentos da recuperação.

3.1) Determinação dos Pontos Comprometidos:

O primeiro passo para a recuperação de uma ponte é a constatação de que existe o problema e também é óbvio que a existência deste problema deve ser devidamente avaliada em sua amplitude pois quanto mais rápida for a recuperação menores são

Enfatiza-se a necessidade de um corpo técnico qualificado e treinado pois a identificação dos problemas evita a deterioração das estruturas. Problemas como fadiga, corrosão, afrouxamento de ligações ocorrem muitas vezes em pontos pouco acessíveis da estrutura, na maioria das vezes negligenciados nas pinturas ou inspeções periódicas.

Principais aspectos a serem observados em uma Inspeção:

- Corrosão:

- .Ocorrência ou não de corrosão;
- .Tipos de corrosão;
- .Condições ambientais (local, presença de água, umidade, poluição, presença de elementos corrosivos, etc);
- .Tipo de Aço (em caso de pontes já reforçados é necessário identificar com clareza os pontos de reforços, tipo de aço utilizado e os elementos de ligação);
- .Classificação preliminar do grau de comprometimento dos elementos principais da ponte;
- .Avaliação preliminar de perda de seção transversal dos elementos que compõem os apoios;

- Fadiga:

- .Observação de elementos submetidos a inversão de esforços;
- .Ligações;
- .Normalmente as fissuras são perpendiculares as linhas das tensões;
- .Elementos onde existam concentrações de tensões;

- Impactos:

- .Alteração de linearidade dos elementos que compõem os perfis;
- .Abaulamento de chapas;
- .Cuidados especiais devem ser tomados na identificação do problema pois as consequências de impactos podem ser confundidas com flambagens locais ou globais.

- Afrouxamento de ligações:

- .Exame das ligações;
- .Rotações ou deslocamentos podem ser originados pelo afrouxamento de ligações;
- .Não linearidade de rebites ou parafusos nas ligações.

- Fundações:

- .Impedimentos de deslocamentos nos apoios (corrosão, sujeira, etc);
- .Deslocamentos e rotações excessivas de apoios;
- .Desnivelamentos de encontros, pilares ou tramos das pontes.

Concluindo, a melhor maneira de recuperar uma estrutura é não permitir que seu estado se deteriore a ponto de tornar-se inviável a recuperação; a experiência do corpo técnico envolvido é fundamental para que isto não ocorra.

3.2) Determinação das Causas dos Problemas:

Normalmente não é possível estabelecer regras gerais para a determinação das causas dos problemas numa estrutura comprometida, em particular as pontes.

As causas são várias e os problemas idem, portanto o primeiro e necessário passo é uma inspeção detalhada e pormenorizada desenvolvida por um corpo técnico competente e após isto um levantamento pormenorizado do problema, constatado, o "histórico" da ponte e através de um processo de eliminação detectar a causa provável.

3.3) Avaliação da Resistência da Estrutura:

A avaliação da resistência de uma estrutura deve ser realizada de maneira rápida e a decisão da recuperação ou não, deve ser tão breve quanto possível. Por outro lado esta decisão apresenta, com certeza, enormes dificuldades para os Engenheiros que necessitam determinar as causas do problema e o grau de comprometimento.

A avaliação da resistência de uma ponte deteriorada pode ser feita através de três métodos clássicos:

a) Avaliação estrutural por minoração fixa:

Este método estabelece um fator de minoração único para todos os elementos da estrutura e ligações a partir das condições gerais da ponte a critério do Engenheiro responsável.

Os valores de minoração da resistência dos elementos dependerão unicamente de critérios intuitivos do projetista, salientando que todo projeto de reforço deve ser desenvolvido procurando tirar partido de toda a potencialidade da estrutura existente.

Este método é normalmente utilizado quando a corrosão constitui o principal problema da ponte analisada admitindo-se que o projeto original é adequado.

A utilização de um fator único de minoração da capacidade dos elementos que compõem a ponte deve ser avaliada com extremo cuidado e este procedimento, a nosso ver, compreende somente uma análise preliminar.

b) Análise das condições reais:

Este método procura determinar a real distribuição dos

O processo exige uma inspeção extremamente apurada e um refinamento no cálculo da estrutura onde todas as condições reais da ponte deverão ser consideradas (recalques existentes, perda da seção transversal por corrosão, deformações excessivas, flambagens de elementos, etc).

A análise realizada segundo este procedimento atende aos problemas localizados da estrutura da ponte, bem como aos possíveis aumentos de carga por eixo ou outras adaptações necessárias.

Portanto para cada elemento da estrutura suas condições são avaliadas (por ex.: valor da diminuição de seção transversal por corrosão) e os procedimentos de cálculo deverão representar efetivamente estas condições.

c) Prova de carga:

A realização de provas de carga como método de avaliação de estruturas é normalmente utilizado não só para avaliar o comportamento de elementos como também para propiciar uma estimativa da reserva de resistência de toda a estrutura.

O primeiro passo para que este método seja utilizado é uma avaliação teórica cuidadosa de tal forma que a segurança ante a ruína da estrutura seja razoável.

Este procedimento também é utilizado como um dos métodos para o desenvolvimento e avaliação dos modelos matemáticos utilizados.

Normalmente as provas de carga fornecem um grande número de resultados dos deslocamentos e deformações nas barras e devem ser utilizados com extremo cuidado pelos projetistas pois estes resultados, na maioria dos casos, tendem a indicar reservas de resistência superiores as obtidas nos resultados teóricos; isto é válido particularmente em estruturas onde o comportamento tridimensional e a possibilidade de redistribuição de esforços são maiores.

Por outro lado as provas de carga fornecem subsídios ao projetista quanto ao comportamento global da estrutura e com isto qualquer reserva de resistência pode ser a diferença entre recuperar ou abandonar uma ponte.

Salienta-se que a forma de carregamento e as condições das medições devem ser devidamente avaliadas em função da real utilização da ponte pois muitos fenômenos que influenciam a resistência de uma estrutura não podem ser avaliados por este método, como por exemplo a fadiga de um elemento ou ligação.

Ressalta-se que estes três processos de avaliação de uma estrutura comprometida, em especial as pontes, parte do pressuposto que o projeto original é adequado.

Outro dado a ser considerado é que normalmente os

alterações das sobrecargas ou seja alteração do trem tipo e este é um fator extremamente importante a ser considerado.

3.4) Avaliação da necessidade de reparos:

Definida a real situação da ponte deve ser avaliada a necessidade de reparos que serão realizados considerando não só as condições técnicas apresentadas mas também a viabilidade econômica.

Basicamente podemos estabelecer alguns itens de caráter geral quanto as possíveis atitudes a serem tomadas:

- Permitir que a deterioração da ponte continue, prevendo-se o período em que será reparada ou novamente observada;
- Manutenção superficial, pintura e limpeza, sem nenhum tipo de reforço estrutural;
- Reforçar a estrutura da ponte;
- Abandonar a ponte em questão e construir uma nova em substituição.

Como pode ser observado os tópicos apresentados acima são eminentemente de caráter econômico e somente baseado nos estudos para cada situação é possível determinar qual é a melhor solução a ser adotada para cada caso em particular. Salienta-se que neste estudo econômico devem ser contabilizados os custos de recuperação da ponte, alterações de traçado das linhas ferroviárias ou rodoviárias que, na maioria dos casos, é o fator mais importante na composição final dos custos.

3.5) Procedimentos de Recuperação de Pontes:

Relatar os procedimentos de projeto para recuperação de pontes é extremamente difícil pela própria complexidade e diversidade de situações a que os projetistas são solicitados a resolver, pois recuperar elementos, tracionados, comprimidos, fletidos ou ligações exigem soluções particulares para cada caso.

Em linhas gerais os projetistas tem adotado como regra básica a não alteração da estrutura existente, procurando tirar partido desta, e executando o reforço, quando necessário, de tal maneira que o novo sistema estrutural considere o comportamento do conjunto formado pela nova estrutura, da qual a existente passa a ser um complemento.

Outro tópico importante é a perfeita solidarização, sob o prisma comportamental, entre a estrutura de reforço e a estrutura existente de tal forma que ambas sejam efetivamente solicitadas e trabalhem como um conjunto.

Muitas soluções exigem a introdução de forças externas (na maioria dos casos através de macacos hidráulicos) para a estabilização entre a estrutura existente e o

reforço; cuidados especiais devem ser tomados nestas operações.

Embora o advento da solda elétrica aparentemente permita reparar de maneira simples, com adição de material nas seções existentes, esta solução tem sido evitada pelos projetistas devido, principalmente, a introdução de tensões residuais e também pelas alterações provocadas no comportamento das ligações quando a estrutura existente possui rebites como elemento de ligação.

Vários exemplos de ruína de ligações reforçadas com soldas podem ser encontradas na bibliografia internacional e este fato é explicado pelo comportamento diferenciado entre ligações rebitadas e soldadas.

Uma rápida análise das soluções adotadas por grandes projetistas como Eng. Oscar Machado da Costa na recuperação de pontes no trecho da RFFSA entre Curitiba e Paranaguá ou do Prof. Hermann Schulte em pontes na Alemanha e no Brasil, pode-se constatar que a principal preocupação de ambos consistiu em adotar soluções em que as alterações nas pontes existentes fossem as menores possíveis, procurando esquemas estáticos alternativos com a introdução de novos elementos onde a ponte existente passa a ser parte desta nova alternativa estática.

4 - Conclusão:

Concluindo este trabalho podemos ressaltar alguns itens considerados importantes na recuperação das pontes:

- A resistência da ponte deve ser tal que possibilite um fator de segurança para as cargas atuais e futuras;

- A presença de tensões residuais, existentes ou introduzidas com a recuperação, deve ser devidamente avaliada, pois pode acarretar a diminuição significativa na capacidade última de emendas e ligações.

Este aspecto é particularmente importante quando, no processo de recuperação de uma ponte utiliza-se solda elétrica, cujos procedimentos devem ser adequadamente planejados na medida em que a alteração e introdução destas tensões residuais é inerente a este processo de ligação. Não são raros os casos relatados na bibliografia internacional de rupturas de ligações e elementos devido a este problema.

- As deformações presentes ou ocasionadas pelo processo de recuperação devem ser devidamente avaliadas e consideradas nos cálculos.

- Qualquer deterioração de elementos principais de pontes (por corrosão, impacto, deformação excessiva, etc), deve ser rapidamente reparada; pois o processo de degeneração é extremamente rápido e podendo acarretar até o colapso da estrutura.

- A previsão de sobrecargas acima das previstas deve ser claramente avaliada quando da utilização futura da ponte recuperada.

- O reforço ou a substituição de elementos que compõem uma ponte metálica exigem dos projetistas cuidados especiais quanto a solução adotada, tendo em vista que na maioria dos casos o tráfego não pode ser interrompido.

- A utilização de provas de carga em pontes reforçadas é um procedimento recomendável não somente porque possibilita uma avaliação do comportamento da ponte como também por fornecer subsídios aos projetistas que com estes resultados podem avaliar os reforços projetados, sua eficiência e sua utilização, ou não, em outras recuperações.

5- Bibliografia:

- ALMEIDA, R.O. "Recuperação e Reforço de Pontes Metálicas - Procedimentos" - II Encontro de Engenheiros de Pontes - R.F.F.S.A, Anais, Rio de Janeiro, 1988.
- BYERS, W.G. "Impact from railway loading on steel girder spans" Journal of the Structural Division, ASCE, 96: 1093-1103, Junho, 1976.
- BURDETTE, R.G. & GOODPASTURE, D.W. "Comparasion of measured and computer ultimate strengths of four highway bridges" Highway Research Record (382): 38-49, 1972.
- CSAGOLY, P.F.; JAEGER, L.G. "Multi-load-path structures for highway bridges", Transportation Research Record (711), 34-39.
- CHOLOUS, J. "La précontrainte dans le renforcement des ponts métalliques de la S.N.C.F.". In: CONGRÈS DE LA ASSOCIATION INTERNATIONALE DES PONTS ET CHARPENTES, 7., Rio de Janeiro, 10-16 out, 1964 Annales. Zurich, Verlag, 1964. v.1.
- FILIZOLA, J.C. "Alguns defeitos em superestruturas metálicas", II Encontro de Engenheiros de Pontes - R.F.F.S.A, Anais, Rio de Janeiro, 1988.
- FISHER, J.W. "Detection and repair of fatigue damage in welded highway bridges", National Cooperative Highway Research Program, Report 206 - Transportation Research Board, junho 1979. 85p.
- HEINS, JR., C.P. & GALAMBOS, C.F. "Highway bridge field tests in the United States, 1948-70", Public Roads, 36 (12): 271-291, Feb. 1972.
- MARTINELLI, D.A.O. "Contribuição ao emprego de extensômetros elétricos de resistência no estudo de estruturas", Tese de Doutorado, EESC, 1961.

SPRARAGEN, W. & GRAPNEL, S.L. "Reinforcing structures under load: a review the literatura until January 1, 1943", the Welding Journal, Research Supplement, 23 (2): 65-s-92-s, Feb. 1944.

SWEENEY, R.A.P. "Importance of redundancy in bridge-fracture control", Transportation Research Record (711) 23-30.

VILLAS BOAS, JOSÉ DE MOURA, "A ponte levadiça, soldada, sobre o Rio Guaíba: problemas de obtenção do aço e de fabricação", 13 Congresso da Associação Brasileira de Metais, Volta Redonda, jul. 1958. 17p.

WEST, J.D. "Some methods of extending the life of bridges by major repair or strengthening", Institution of Civil Engineers, Proc., 6: 183-202, Feb. 1957.