

IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

VI CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE

PORTO ALEGRE - RS - BRASIL
21 A 24 DE OUTUBRO DE 1997

ANAIS VOLUME 2

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Civil
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º. Andar
90035-190 - Porto Alegre - RS - Brasil
Fones: +55 (51) 316-3333 / 316-3538
Fax: +55 (51) 316-3999
E-mail: conpat97@vortex.ufrgs.br





**IV CONGRESSO IBEROAMERICANO
DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES**
**VI CONGRESSO DE
CONTROLE DE QUALIDADE**

21 A 24 DE OUTUBRO DE 1997 - PORTO ALEGRE, RS, BRASIL

LEME / CPGEC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

8 635 p

**Principais Aspectos do Reforço e Aumento de Capacidade
de Pontes de aço**

Roberto Martins Gonçalves 555355
Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas,
Escola de Engenharia de São Carlos, USP (E-mail goncalve@sc.usp.br)

Maximiliano Malite 497030
Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas,
Escola de Engenharia de São Carlos, USP

José Jairo de Sáles 404721
Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas,
Escola de Engenharia de São Carlos, USP

RESUMO

Este trabalho apresenta e discute os principais aspectos e as soluções para o reforço e aumento de capacidade portante de pontes de aço.

A recuperação de pontes de aço necessariamente exige a recuperação dos elementos isolados que a compõem, porém a análise de toda a estrutura portante é fator indispensável para que um projeto de reforço e recuperação seja eficiente.

Enfatiza-se as soluções que envolvem a alteração do esquema estático, pois é a solução que melhor atende às pontes brasileiras, pontes antigas, as quais, em sua maioria são rebitadas.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário e ferroviário passou por profundas modificações nas últimas décadas e hoje as cargas por eixo nos veículos e nos vagões ferroviários aumentou significativamente, consequentemente aumentando as solicitações nas pontes existentes.

A simples substituição de pontes antigas, algumas centenárias, envolve custos elevados o que justifica, na maioria dos casos, o reforço e a recuperação das pontes existentes.

A necessidade de reforçar pontes tem várias causas, da deterioração ao aumento do trem tipo, sendo que a vida útil está diretamente associada ao regime de tráfego e à manutenção realizada e este fator consiste num aspecto relegado a um segundo plano na realidade brasileira, porém é importante salientar que a deterioração de uma ponte (corrosão, fadiga, impacto de veículos e objetos, outros) é o principal fator gerador de reforços.

A simples recuperação de elementos isolados (não objeto deste trabalho) não constitui uma boa prática de recuperação e reforço estrutural sem que uma análise global de todas as possibilidades seja realizada.

952520
19.05.98

SYSNO	952520
PROD	003363
ACERVO EESC	

A análise global das possíveis soluções deve considerar as principais técnicas destinadas a este fim : redução da carga permanente, vigas mistas, aumento da rigidez transversal, aumento da seção de elementos, adição ou substituição de elementos, reforço ou alteração de ligações e aparelhos de apoio, protensão da estrutura através de cabos externos e alteração do esquema estático da ponte existente ou a superposição de uma nova estrutura.

2. PROCEDIMENTOS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE PONTES EXISTENTES

A redução da carga permanente sobre uma estrutura reduzirá as tensões, para as pontes ferroviárias e rodoviárias, exigem-se soluções diferenciadas e particulares para cada caso.

Para as pontes ferroviárias pode ser obtida pela retirada de tubulações, passarelas ou pequenos complementos, porém a superestrutura deste tipo de ponte não permite grandes alterações.

Nas pontes rodoviárias existe a possibilidade da diminuição do peso próprio do tabuleiro através de várias soluções: diminuição da espessura da laje através da utilização da ação composta com a viga de aço, substituição do tabuleiro de concreto por grelhas de aço, etc. A substituição do tabuleiro foi usada na ponte Hercílio Luz-Florianópolis.

A ligação entre tabuleiro de concreto e o sistema de vigas (longarinas e transversinas) é um método muito eficiente para o aumento da capacidade resistente de pontes, pois o comportamento conjunto viga de aço-laje de concreto reduz consideravelmente as tensões e deslocamentos provenientes da carga móvel, em função do aumento significativo da rigidez transversal.

O comportamento como viga mista é obtido com a utilização de conectores interligando a laje de concreto existente com as vigas de aço, com a garantia de que estes conectores transmitam as tensões de cisalhamento entre os dois materiais.

As dimensões e espaçamento dos conectores dependem do fluxo de tensões de cisalhamento entre a laje e a viga de aço. Recomenda-se a norma americana AASHTO e a norma inglesa BS-5440-Part 5 para o dimensionamento de vigas mistas.

No caso de recuperação ou aumento de capacidade de pontes onde o tabuleiro é constituído de laje de concreto é necessária a execução de buracos nas lajes para o posicionamento e solda dos conectores que podem ser os comumente utilizados na obtenção de vigas mistas (pino com cabeça - studs, segmentos de perfil tipo U ou cantoneiras, barras redondas em forma de semi-círculo, chapas inclinadas).

Uma outra solução possível é a utilização de parafusos como conectores, como apresenta a Figura 2.1, onde uma máquina especial faz o corte do concreto (furo com pequeno diâmetro) e após a furação da viga de aço é fixado o parafuso com porcas e arruelas.

Uma terceira possibilidade é a utilização de pinos em espiral (pinos testados no Welding Institute-Cambridge, Inglaterra), cuja fixação é feita pela parte inferior da mesa superior onde é realizado um furo no aço e no concreto e após isto é introduzido o conector em espiral sob pressão através de um macaco hidráulico, Figura 2.2. A principal vantagem deste tipo de conector consiste no fato de sua colocação ser feita sem interrupção do tráfego.

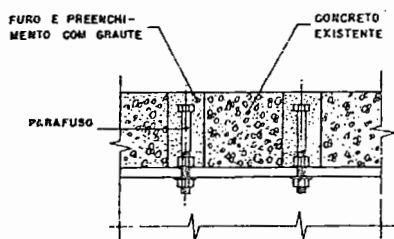


Figura 2.1- Parafusos utilizados como conectores

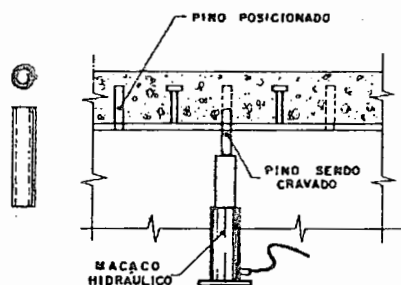


Figura 2.2- Colocação de conectores em espiral

O aumento da rigidez transversal de uma ponte é realizado através da introdução de sistemas de contraventamento transversais entre vigas ou pela utilização de diafragmas. Este tipo de reforço é normalmente utilizado em ponte rodoviárias quando o sistema estrutural é constituído de várias vigas principais.

O uso deste sistema de reforço para aumentar a capacidade e redistribuir as solicitações da carga móvel é recomendável para pontes em vigas e o principal objetivo é fazer com que o sistema de vigas isoladas passe a trabalhar de maneira conjunta.

O primeiro aspecto negativo deste processo consiste na necessidade de transmissão dos momentos fletores entre os novos elementos e as vigas existentes, pois as ligações necessárias para tanto, são de difícil execução e o segundo, é a eficiência deste sistema em função dos custos elevados e de uma redistribuição de momentos fletores não tão eficiente.

Este sistema passa a ser recomendado quando a ponte já apresentar problemas relativos a rigidez transversal e uma das possíveis soluções esta apresenta na Figura 2.3.

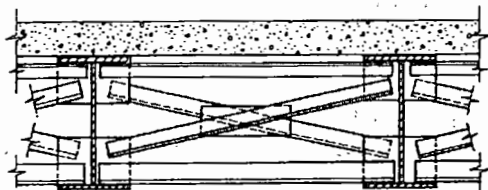


Figura 2.3- Sistema de contraventamento entre vigas

A alteração do esquema estático em pontes existentes deve ser realizada com o aumento do grau de hiperestaticidade, constituindo em um método extremamente eficiente para o aumento da capacidade resistente de pontes existentes.

Em função do esquema estrutural das pontes, várias soluções são passíveis de serem adotadas e, como em todos os processos de aumento de capacidade resistente, os estudos são praticamente particulares para cada ponte.

Entre as soluções mais comuns encontram-se: vigas isoladas transformadas em contínuas, apoios intermediários obtidos pela execução de novos pilares ou estruturas auxiliares, introdução de apoios intermediários através de elementos atirantados. O item seguinte deste trabalho apresenta os principais aspectos relativos à adição de vínculos externos em pontes existentes.

3. ALTERAÇÃO DO ESQUEMA ESTÁTICO DE PONTES EXISTENTES

Para cada tipologia estrutural de uma ponte existente é possível obter uma solução adequada destinada a aumentar a capacidade resistente através do aumento do grau hiperestático.

Qualquer análise para a adoção deste tipo de reforço deve considerar que a solução contemple as particularidades da estrutura a reforçar (tipologia estrutural, condições da estrutura quanto à deterioração, condições locais de acesso à ponte e seus elementos, viabilidade econômica, vida útil após o reforço, condições de inspeção, etc). O detalhamento da solução a ser adotada deve estar adequado ao modelo teórico proposto, em particular nas ligações, apoios e dimensionamento de elementos.

O principal aspecto a ser realizado, independente da solução adotada, é a compatibilização das deformações entre a estrutura existente e a de reforço, de tal forma que ocorra a garantia de um comportamento conjunto de ambas e que este comportamento seja efetivamente o idealizado no cálculo.

A alteração do esquema estático de uma ponte pode ser realizada utilizando-se de várias soluções, tais como pilares intermediários, continuidade em vigas simplesmente apoiadas, apoios intermediários pela adição de arcos (superiores ou inferiores) ou pórticos à estrutura existente, duplicação de vigas principais, utilização de apoios obtidos através de apoios atirantados (não é objeto deste trabalho), mísulas de enrijecimento, etc.

Apoios intermediários são muito utilizados como solução para reforço e são simples do ponto de vista de cálculo, cuja função principal é a diminuição dos vãos e como consequência os momentos fletores (vigas) ou esforços axiais (treliças).

O aumento do grau de hiperestaticidade reduz os momentos positivos e também os deslocamentos, porém, há o aparecimento de momentos negativos e forças cortantes significativos sobre o vínculo introduzido. Deve-se considerar os seguintes aspectos:

- verificação dos elementos sujeitos à inversão do momento fletor;
- verificação da força cortante na região dos novos vínculos;
- verificação do sistema de contraventamento, adequando-os às novas situações;
- verificação dos efeitos locais da reação de apoio;
- compatibilização entre a estrutura existente e a de reforço, de tal forma a que o funcionamento de ambas ocorra de maneira conjunta (é conveniente utilizar a “eliminação” da carga permanente através de içamento da estrutura existente antes da execução dos reforços ou verificar as condições da ação permanente atuando somente na estrutura existente).

A título de exemplo, para pontes rodoviárias com 20m de vão, simplesmente apoiadas, a introdução de apoio intermediário reduz os momentos positivos para algo em torno de 65% do momento máximo e introduz momentos negativos da ordem de 55% dos momentos da viga simplesmente apoiada.

As Figuras 3.1 e 3.2 ilustram a adição de pilares intermediários em pontes ferroviárias, enfatizando que entre outras vantagens, todo o trabalho de recuperação e aumento da capacidade pode ser realizado sem a interrupção do tráfego.

REFORÇO COM PILAR CENTRAL
VIGA CONTÍNUA

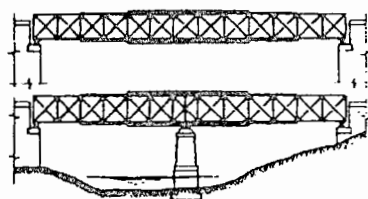


Figura 3.1- Reforço com pilar central

REFORÇO COM PILAR CENTRAL PENDULAR
VIGA CONTÍNUA

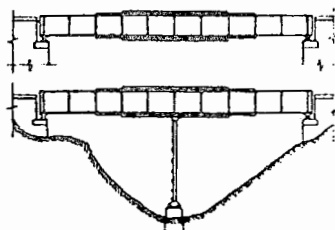


Figura 3.2- Reforço com pilar central pendular

A adição de vigas principais como reforço estrutural e aumento de capacidade de pontes existentes é uma solução viável e pode ser utilizada principalmente onde a introdução de apoios intermediários não é viável (em casos em que a ponte apresenta grande altura em relação ao solo). A Figura 3.3 ilustra este tipo de reforço.

REFORÇO POR ADIÇÃO DE VIGAS

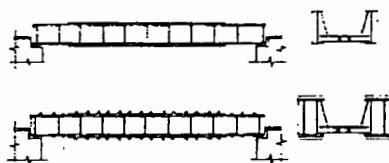


Figura 3.3- Adição de vigas

Cabe salientar que a solução de duplicação de vigas apresenta como principais problemas a dificuldade de garantir uma distribuição efetiva das tensões e dos deslocamentos entre as vigas existentes e as de reforço e os problemas de manutenções futuras devido ao pouco espaço disponível entre as vigas.

A superposição inferior ou superior de arcos é uma solução recomendável quando a estrutura portante principal é constituída de vigas treliçadas com banzos paralelos. Normalmente superpõem-se o arco na treliça existente e através de tirantes vincula-se aos nós, criando assim uma nova estrutura com aumento significativo da rigidez em relação a treliça existente. A Figura 3.4 e 3.5 ilustram duas situações de vigas treliçadas simplesmente apoiadas e contínuas, respectivamente.

REFORÇO VIGA TRELIÇADA - ARCO SUPERIOR BI-ARTICULADO

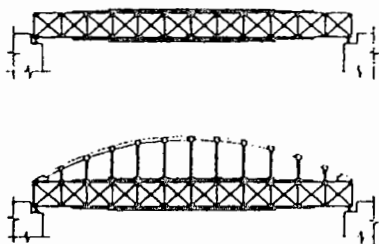


Figura 3.4- Arco superior como reforço de ponte em viga treliçada simplesmente apoiada

REFORÇO EM VIGA CONTÍNUA COM ARCOS SUPERIORES ARTICULADOS

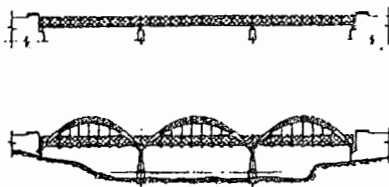


Figura 3.5- Arco superior como reforço de ponte em viga treliçada contínua

Pode-se utilizar arcos inferiores adicionando-se montantes deste aos nós da estrutura existente, porém esta solução exige condições de vinculação adequada ao arco e também só é recomendada quando não é possível adotar a superposição.

A introdução de pórticos inferiores responsáveis pela introdução de novos apoios às pontes em vigas ou treliças é também uma solução passível de ser adotada e recomendada quando o vão das pontes é significativo (acima de 40m de vão livre) e associado à necessidade do reforço exigir mais de um apoio como reforço.

Outro aspecto importante é que a introdução de pórticos pode ser feito externamente às pontes existentes (particularmente para as pontes ferroviárias cujas larguras não são elevadas) e também para pontes em curva pois este reforço permite garantir um conjunto com uma grande rigidez lateral. A Figura 3.6 ilustra um exemplo deste tipo de reforço em viga treliçada simplesmente apoiada e a Figura 3.7 ilustra uma viga treliçada contínua reforçada com pórticos.

REFORÇO COM ARCO TRIARTICULADO INFERIOR

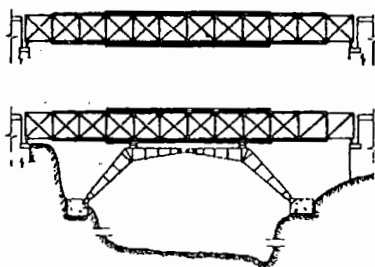


Figura 3.6- Reforço em viga treliçada simplesmente apoiada com pórticos criando dois apoios intermediários

REFORÇO ARCO TRIARTICULADO INFERIOR EM VIGA CONTÍNUA

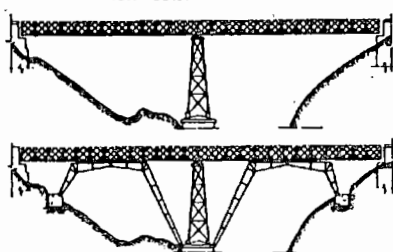


Figura 3.7- Reforço em viga treliçada contínua com pórticos criando quatro apoios

É possível também utilizar tirantes retos ou poligonais como reforço transversal, não sendo objeto deste trabalho uma descrição mais detalhada sobre este método, porém é comum a utilização de mais de um tipo de reforço transversal, através do aumento do grau de hiperestaticidade.

Na Figura 3.8 apresenta-se um exemplo da utilização simultânea de pilares e atirantamento com vigas armadas. Trata-se da reprodução esquemática do viaduto Sinimbú, situado na Serra da Graciosa no trecho ferroviário Curitiba-Paranaguá, cujo reforço foi executado na década de trinta pelo Eng. Machado da Costa.

REFORÇO VIGA ARMADA e PILARES ARTICULADOS
Viaduto SINIMBÚ

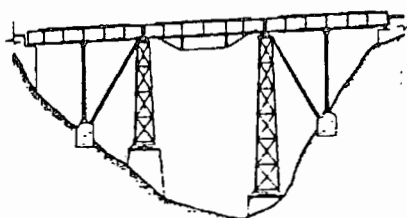


Figura 3.8- Reforço utilizado no viaduto Sinimbú, pilares intermediários e viga armada

4. CONCLUSÕES

É possível estabelecer algumas conclusões a partir do relato deste trabalho:

- a) deve-se analisar os vários fatores estruturais envolvidos na tomada de decisão para a escolha do tipo de reforço a adotar:
 - características da ponte existente (tipologia estrutural; tipos de detalhes; ano de fabricação; parafusos, rebites ou solda; condições de utilização e manutenção, condições de acesso para a execução dos reforços; etc)
 - características do tráfego (rodoviário; ferroviário; volume/frequência, possibilidade e tempo de possíveis interrupções; etc)
 - características locais (características do solo; altura livre da ponte; condições de acesso dos equipamentos de montagem; fundações existentes; etc)
- b) deve-se analisar a viabilidade econômica do reforço versus substituição sendo que o estudo de viabilidade não deve desconsiderar todos os itens envolvidos (condições locais, condições meteorológicas, equipamentos necessários, tempo de interrupção disponíveis, etc)
- c) é necessário aos engenheiros de projeto o estudo de soluções já utilizadas no Brasil e em outros países em casos semelhantes, pois é comum fracassos “retumbantes”, ou seja, é necessário experiência dos projetistas na recuperação e aumento de capacidade de pontes existentes em função de todas as particularidades já apontadas;

Concluindo, a recuperação e reforço de ponte deve considerar as particularidades de cada projeto, ser adequada as condições locais, permitir a sua execução e, evidentemente, ser economicamente viável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e a colaboração do Eng. Raul Osório de Almeida.

REFERÊNCIAS

- AASHTO. *Standard specifications for highway bridges: with 1977-1981 interim specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. *Load and resistance factor design specification for structural steel buildings*. Chicago, AISC, 1986. 219p.
- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION. Steel structures: chapter 15. In: _____. *Manual for railway engineering*. Washington, AREA, 1990.
- BELENYA, E. *Prestressed load-bearing metal structures*. Translated from the Russian by I.V. Savin. Moscow, Mir Publ., 1977. 463p.
- BRUNGRABER, R.J., KIM, J.B. *Rehabilitation of steel truss bridges using a superimposed arch system*. *Transportation Research Record*, n.950, p.146-149, 1984. (Second Bridge Engineering Conference, Minneapolis, v.1)
- COSTA, O.M. Estudo do reforço das pontes da Rede de Viação Paraná-Santa Catarina. Curitiba: Paranense, 1937. 40p.
- GONÇALVES, R.M. *Alguns aspectos relativos à inspeção e recuperação de pontes de aço: ênfase em pontes ferroviárias*. São Carlos, 1992. 309p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.