

## **PONTES ESTAIADAS COM SELAS OU ANCORAGENS INDIVIDUAIS?**

IZAN GOMES LACERDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel - PR, izanlacerda@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC'2016  
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 - Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** A utilização de soluções técnicas em estais para pontes e viadutos tem sido uma tendência em várias partes do mundo, entretanto estes estais (tirantes) podem ser providos por selas conjugadas por ancoragens individualizadas ou somente por ancoragens individualizadas, cabendo um estudo mais aprofundado na questão de uma análise de risco em que se faça necessária a substituição de um ou mais tirantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Selas, estaiamento, ponte estaiada, ponte extradorso.

### **CABLE-STAYED BRIDGES ANCHORS WITH SADDLES OR INDIVIDUAL ANCHORS?**

**ABSTRACT:** The use of technical solutions in stay cables for bridges and viaducts has been a trend in many parts of the world, however these stays can be provided by saddles combined by individual anchorage or only for individual anchorages, leaving further study on the issue of a risk analysis that makes necessary the replacement of one or more stays.

**KEY-WORDS:** Saddles, stays, stayed bridge, extradozed bridge.

### **INTRODUÇÃO**

Em diversos países do mundo existem pontes estaiadas executadas com tirantes de cabos flexíveis e mais recentemente no Brasil essa parece ter sido uma solução adotada por vários projetistas, em grandes obras de arte. Nos últimos 18 anos contabilizamos aproximadamente 50 obras, entre as já executadas e as em execução. Algumas poucas soluções têm sido adotadas com a utilização de selas (figura 01), em substituição ao uso de pares de ancoragens individuais nos estais (figura 02) e essa técnica tem levantado alguns questionamentos.

Figura 01 - Ponte Estaiada de Hortolândia



Fonte: o autor

Figura 02 - Ponte Estaiada Gov. Orestes Quércia



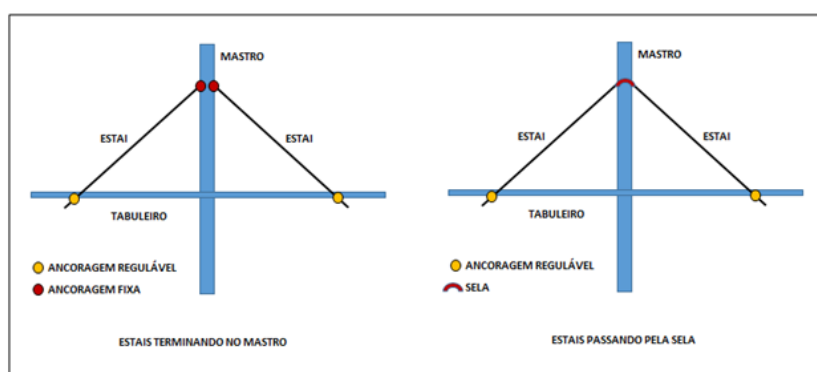
Fonte: o autor

## MÉTODOS

### Definição do processo - sistema

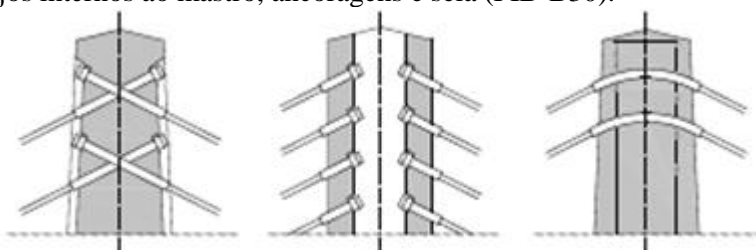
Alguns técnicos optam pela utilização de selas por supor que este sistema seja mais econômico do que o sistema de pares de ancoragens (reguláveis e fixas) utilizadas em estais, uma vez que um estai com o sistema de sela terá apenas duas ancoragens reguláveis e a própria sela como ancoragem fixa, em comparação à utilização de duas ancoragens reguláveis e duas fixas no sistema convencional de estai individual (arranjo geral e detalhes de fixação no mastro nas figuras 03 e 04), comparando-se o mesmo par de estai. Cabe a ressalva de que as selas dispõem de um sistema de injeção no seu interior, de maneira a garantir que as cordoalhas não se movimentem em sua região.

Figura 03 - Detalhe genérico de estais com sela e sem sela.



Fonte: o autor

Figura 04 - Arranjos internos ao mastro, ancoragens e sela (FIB-B30).

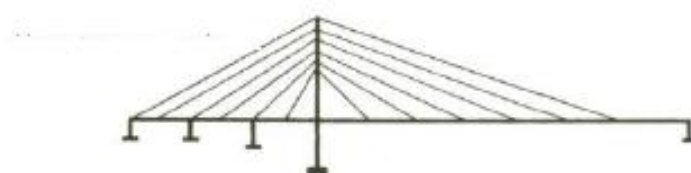


Fonte: FIB-B30

Muitos são os fatores que determinam o uso de um ou outro sistema, e não apenas o “simples” fator do número de ancoragens a serem utilizadas em um estai.

Um sistema estrutural proposto para a solução da arquitetura de uma ponte ou viaduto, em alguns casos onde não há simetria da quantidade de estai, por sua configuração geométrica já não permite optar pelo uso de selas. Esse é um limitador de opção, muitas vezes imposto pela própria solução geográfica do local ou mesmo pelo arquiteto do projeto (figuras 05 e 06).

Figura 05 - Sistema assimétrico (Walther et. al, 1985).



Fonte: Walter et. al, 1985

Figura 06 - Ponte do Saber sobre a Linha Vermelha - Rio de Janeiro - RJ

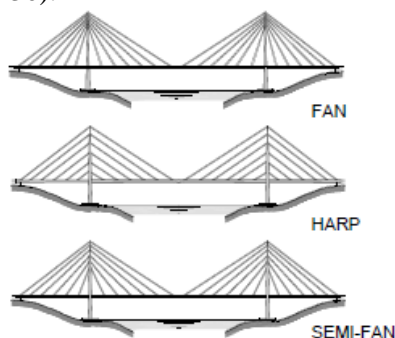


Fonte: Google

### Condicionantes para a definição do sistema

A distribuição geométrica de estais, nos casos em que seja possível a simetria dos mesmos em relação ao mastro, pode ser em harpa (cabos paralelos), semi-harpa ou leque (figura 07), porém a utilização de selas “engessa” (limita) a opção do sistema, uma vez que a utilização das mesmas em estais não paralelos implica em maior dificuldade na geração de diferentes geometrias (devido a variação angular dos estais em relação ao mastro e ao tabuleiro), encarecendo o processo de otimização do fornecedor e criando um controle muito mais rigoroso na produção destes dispositivos. Devido a este fato é mais apropriado como opção básica para selas, o uso do sistema de paralelismo de estais, conhecido com “harpa”.

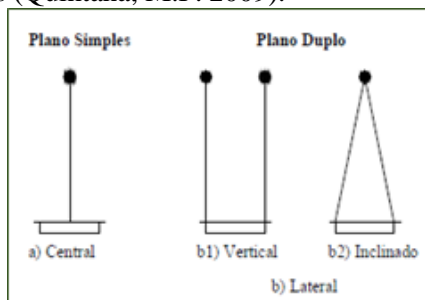
Figura 07 - Geometria dos estais (FIB-B30).



Fonte: FIB-B30

Outro critério a ser verificado é a seção transversal da ponte ou viaduto, que também poderá inviabilizar o uso de selas. Na figura 08 pode-se identificar algumas geometrias usuais em obras estaiadas e perceber que o plano duplo inclinado praticamente impossibilita o uso de selas, em função do alto grau de complexidade das angulações ali estabelecidas.

Figura 08 - Planos Verticais de estais (Quintana, M.F. 2009).



Fonte: Quintana, M.F. 2009

## RESULTADO E DISCUSSÃO

### Comparação do sistema adotado

Uma análise menos acurada poderá mostrar uma vantagem na utilização do sistema de selas devido a diminuição da seção dos pilares (mastros) por não haver necessidade de espaço interno para alojamento das ancoragens fixas e a não necessidade de protensão transversal dos mesmos; entretanto essa questão deve ser avaliada com maior cuidado pois o grau de economia na seção de concreto deve também considerar que existe um maior comprimento dos estais propriamente dito (feixe de cabos), pois os mesmos atravessam toda a dimensão transversal do mastro, assim como um consumo maior do produto a ser injetado para garantia da aderência das cordoalhas no interior da sela (parte fixa do estai por atrito). Deve-se também levar em consideração a metodologia executiva, uma vez que o uso de selas obriga a que sejam construídos balanços simultâneos, com estaiamento também simultâneo, dobrando a necessidade de mão de obra e equipamentos.

O custo levantado com alguns poucos fornecedores nacionais do sistema de estaiamento, tanto para selas quanto para ancoragens fixas, não demonstrou uma diferença representativa dos valores que compõem o estai, do ponto de vista individual, o que implica em dizer que além dos custos diretamente envolvidos, temos que levar em consideração todo o processo construtivo. Parece bastante razoável afirmar que o custo absoluto do sistema (apenas os dispositivos mecânicos que compõem o estai) pode até ser ligeiramente menor (uma redução na ordem de 5% a 10% no custo relativo aos dispositivos mecânicos de fixação dos estais), mas o custo total do empreendimento poderá vir a ser maior quando se utiliza o sistema de selas.

Outros fatores de maior relevância definirão o sistema a ser utilizado.

Em diversos artigos, publicados no Japão, EEUU e Europa, fica evidenciada a redução de aproximadamente 5% (cinco por cento) na carga de ruptura a ser considerada nos cabos que compõem o estai, devido aos efeitos gerados pela geometria curva da sela.

Considerando uma obra cuja solução estrutural possa ter ambas opções, ou seja, estais com ancoragens individuais (reguláveis e fixas) e estais com sela e ancoragens reguláveis, e levando-se em conta o período da vida útil da obra de arte com as intervenções de manutenção preventiva e/ou corretiva necessárias, a sela se mostra menos econômica.

No caso do uso de sela, qualquer eventual necessidade de substituição de estai, seja por deficiência do produto ou por sinistro, por exemplo, implicará na troca total de seu par, pois o estai é constituído de lado a lado do mastro (o estai inicia no tabuleiro, atravessa o mastro e termina no tabuleiro). Além da troca ser completa, também a parte interna da sela deverá ser totalmente substituída; já em se tratando de estai com ancoragens individuais (o estai inicia no tabuleiro e termina no mastro) a troca pode ser efetuada apenas do estai danificados, podendo ser reutilizada a ancoragem fixa (vide o incêndio ocorrido em São Paulo em 21/11/2013 na Ponte Estaiada Governador Orestes Quércia - Marginal do Rio Tietê - Figura 09). Convém ressaltar que com o uso de selas ou não, havendo substituição de estai todos os clavetes de fixação mecânica nas ancoragens reguláveis e fixas, deverão ser substituídos.

Figura 09 - Ponte Estaiada Gov. Orestes Quércia - São Paulo – SP



Fonte: o autor



Um dos principais problemas da protensão é a corrosão sob tensão (stress corrosion), e os estais são tirantes protendidos, ou seja, cabos constituídos por um conjunto de cordoalhas individuais sob tensão. A proteção contra corrosão tem sido objeto de muitos estudos ao longo do tempo. A garantia da proteção das ancoragens reguláveis ou fixas, é ponto de extrema atenção, pois aí as cordoalhas e as próprias ancoragens encontram-se desprotegidas, entretanto tais ancoragens permitem acesso visual para controle e manutenção preventiva. O sistema de utilização de sela pode ocasionar falhas no pleno preenchimento dos vazios com produto que tenha essa finalidade (nata de cimento, ceras ou graxas) e o acesso à região das selas (lados externos dos topos dos mastros) dificulta uma inspeção e manutenção preventiva.

A substituição de um estai afeta todo o conjunto de uma ponte ou viaduto, entretanto ao substituímos um estai em sela estamos alterando em maior grau a distribuição dos esforços de estabilidade do conjunto pois o estai é contínuo em vãos contíguos e a intervenção é dupla.

Em soluções estruturais do tipo de sistema denominado extradorso, devido a geometria em harpa dos cabos e comprimento não muito longos dos estais, existe uma tendência em se optar pelo uso de selas, entretanto a utilização de ancoragens reguláveis e fixas deve ser levada em consideração, por questões de manutenções preventivas e/ou corretivas (quando necessárias) da obra de arte, e essa tem sido uma tendência dos projetistas especializados. Em sistemas estruturais do tipo ponte estaiada há uma tendência mundial do uso de pares de ancoragens em detrimento ao uso de selas.

## CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra que não apenas o critério de execução deve ser levado em consideração na concepção do projeto, pois muitas vezes a análise de risco da ocorrência de um sinistro que exija a substituição de um tirante (estai) será preponderante para a definição do sistema estrutural a ser implantado. Houve um sinistro decorrente de um incêndio que danificou alguns tirantes da Ponte Estaiada Governador Orestes Quércia, sobre o rio Tietê (SP), em frente ao Anhembi, na qual foi necessária a substituição de alguns estais com ancoragens individuais, o que certamente foi possível por não se tratar de tirantes em sela.

## REFERÊNCIAS

- Document of discussion in internet about "In Extradosed/Cable stayed Bridge, use of saddle or anchorages?" - Engineer opinions: Matthias Schueller - Vice President at Delcan; Michael Luethi - Principal Engineer at VSL Technical Centre Asia/Australia (TCAA); Marco Rosignoli -Tappan Zee Bridge Technical Leader at HDR; Ben Morris - Bridge Engineer at Parsons; Marlen Buitelaar - Project Manager, Structures; Ben Morris - Bridge Engineer at Parsons; John Philp - Senior Structural Engineer at Klohn Crippen Berger; Bhagirath Joshi - Senior design engineer at STUP Consultants P. Ltd; Prateek Jain - Chief Marketing Officer (CMO) at Force Structural Engineers Pvt. Ltd.
- FIP-CEB - Bulletin 30 - Acceptance of stay cable systems using prestressing steels, January 2005.
- MIRANDA, Mario de. Discussão entre uso de selas e ancoragens individuais [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <izan@gomeslacerda.com.br> em abril 2014, Studio de Miranda Associati Ingegneria Strutturale.
- WALTHER, R; HOURIET, B; ISLER, W; MOÍÁ P. Ponts haubanés. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1985. 202p.
- WILLIAM A. WESEMAN, TECHNICAL ADVISORY - Cable Stays of Cable-Stayed Bridges, June 1994.