



## **Estudo de Conectores de Cisalhamento em uma Ponte Rodoviária em Vigas Mistas Aço-Concreto em Teresina-PI**

**Carlos Henrique Leal Viana<sup>1</sup>, Carlos Frederico Cardoso Fernandes, MSc<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PCA Engenharia Ltda. /carloshenriquev@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Piauí /Centro de Tecnologia e Urbanismo /cfcfernandes@gmail.com

### **Resumo**

Estruturas mistas de aço-concreto têm sido usadas extensivamente na construção de pontes rodoviárias, especialmente a partir de meados do século XX, quando a escassez de recursos foi relevante na busca por novas maneiras de utilizar os materiais disponíveis. A popularidade desse tipo de solução deve-se principalmente à combinação da ótima resistência à tração do aço e à compressão do concreto. No Brasil, o fato de não existir uma norma específica que trate do dimensionamento de pontes rodoviárias em estruturas mistas fez com que o tema se tornasse foco de discussões. Este trabalho discorre sobre o comportamento estrutural, o dimensionamento, as características e os aspectos construtivos mais relevantes dos elementos mecânicos responsáveis pela ligação entre a laje de concreto e o perfil metálico, ou seja, os conectores de cisalhamento. Embasado na revisão bibliográfica e nas prescrições da norma americana AASTHO-LRFD:2017, propôs-se um estudo de duas soluções de conectores de cisalhamento para a Ponte Anselmo Dias: conector tipo pino com cabeça e conector tipo perfil U. Observou-se que o efeito da fluência sobre as propriedades da viga mista é relevante. Por fim, os resultados mostraram que a resistência à fadiga do perfil U estudado é cerca de três vezes a de um conector pino com cabeça e que a resistência ao cisalhamento do primeiro é cerca de quatro vezes a do último.

### **Palavras-chave**

Pontes rodoviárias; vigas mistas aço-concreto; conectores de cisalhamento.

### **Introdução**

A crescente demanda por obras de infraestrutura no Brasil exige uma evolução tecnológica dos métodos construtivos e a criação de novos sistemas que permitam avanços no que diz respeito às construções. Obras mais econômicas, cujos impactos ao meio ambiente sejam mínimos e o tempo de construção seja reduzido, são as premissas para o desenvolvimento sustentável e socioeconômico do país. A busca por novos materiais e sistemas construtivos que atendam satisfatoriamente essas características está cada vez mais presente na realidade da Engenharia. Do ponto de vista estrutural, materiais como o concreto e o aço são os mais utilizados em todo o mundo. De tal modo, associando-se peças de concreto ligadas a perfis de aço estrutural (aços de alta resistência e baixa liga), formando-se uma estrutura mista, procura-se obter o melhor desempenho de cada material. Esse tipo de estrutura tem sido bastante empregado em diversos tipos de obras, sobretudo pontes rodoviárias.

No Brasil, a NBR 8800:2008 se aplica às estruturas de edifícios, incluindo também passarelas de pedestres e suportes de equipamentos, o que leva ao projetista a buscar normas internacionais para definir os critérios de dimensionamento e verificação de pontes mistas. Entre aquelas, destaca-se a norma americana AASTHO-LRFD:2017, que

regulamenta os parâmetros de projeto e construção de pontes nos Estados Unidos desde 1931. Sendo assim, o texto americano será a premissa para desenvolvimento deste trabalho.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo estudar e analisar duas soluções de conectores de cisalhamento para uma ponte em estrutura mista (Ponte Anselmo Dias). Serão comparadas soluções com conectores em pinos com cabeça e em perfis laminados U; com base nas recomendações da AASTHO-LRFD:2017, e afim de fundamentar as escolhas num projeto de ponte rodoviária em estrutura mista.

### **Vigas mistas**

Conforme a NBR 8800:2008, pode-se definir viga mista como a associação de um perfil metálico, seja ele um perfil I, caixão ou tubular retangular, ou treliça, com uma laje de concreto sobre a sua face superior. Essa ligação mecânica é feita por meio de conectores de cisalhamento soldados ao longo da viga, de tal forma que o conjunto resista aos esforços solicitantes.

Nas pontes mistas, o principal problema a ser resolvido é a determinação da distribuição dos esforços no aço e no concreto, levando-se em conta a ligação solidária do tabuleiro com as vigas metálicas. Por outro lado, a principal vantagem desse tipo de estrutura é a combinação do ótimo desempenho à tração do aço estrutural com a resistência à compressão do concreto, tornando-o, então, um sistema mais eficiente quando comparado à viga somente de aço, por exemplo.

PFEIL e PFEIL (2009) apontam que as vigas mistas passaram a ter grande utilização após a Segunda Guerra Mundial. Anteriormente, empregavam-se vigas metálicas com lajes de concreto, sem considerar no cálculo a participação da laje no trabalho da viga. Essa participação já era, entretanto, conhecida e comprovada pelas medidas de flechas das vigas com lajes de concreto. A carência de aço após a guerra levou os engenheiros a utilizar laje de concreto como parte do vigamento, iniciando-se pesquisas sistemáticas que esclareceram o comportamento da viga mista para esforços estáticos e cíclicos.

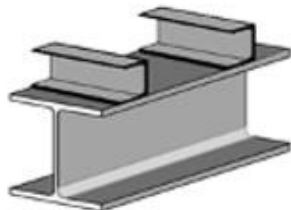
### **Conectores de cisalhamento**

Para o comportamento adequado da estrutura mista aço-concreto, faz-se necessária a ligação entre ambos os materiais, que é garantida pelos conectores de cisalhamento, cujas principais funções são absorver os esforços cisalhantes que atuam na direção longitudinal da laje com a mesa superior da seção de aço e impedir o afastamento vertical desses elementos.

O conector em perfil U deve ser soldado à mesa superior do perfil de aço com solda contínua pelo menos nas duas extremidades de sua mesa, e com o plano da alma perpendicular ao eixo longitudinal da viga de aço. A NBR 8800:2008 recomenda que a solda utilizada para estabelecer a ligação com o perfil metálico deve ter resistência mínima igual a 1,25 vez a força resistente de cálculo do conector. PINHO e BELLEI (2007) também mencionam que o filete de solda mínimo deve ser 4,75 mm ao longo da base do perfil U.

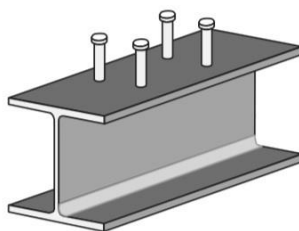
Por meio dos ensaios de flexão em vigas mistas, constatou-se que no conector em perfil U (Figura 1) a maior parte da força é transmitida pela mesa do conector soldada à viga, e uma pequena parte é transmitida pela alma, sendo que as maiores tensões ocorrem na

região próxima à solda. No concreto, ocorrem elevadas tensões de compressão na região de contato. (DAVID, 2007)



**Figura 1 – Conectores em perfil U soldados sobre perfil metálico**  
Fonte: SOUZA (2012)

CHAVES (2009) registra que os estudos referentes aos conectores tipo pino com cabeça (Figura 2) foram iniciados em 1954 nas Universidades de Lehigh e de Illinois. Em VIEST (1956 apud DAVID, 2007) são apresentados resultados de ensaios em conectores tipo pino com cabeça com o objetivo de investigar a influência da resistência do concreto, o espaçamento e o diâmetro dos conectores.



**Figura 2 – Conectores tipo pino com cabeça soldados sobre perfil metálico**  
Fonte: SOUZA (2012)

Os conectores tipo pino com cabeça, também conhecidos como *stud bolts*, são os mais utilizados por oferecer uma boa ancoragem com o concreto impedindo o afastamento da laje com a viga, não oferecer interferência com a armadura do tabuleiro e sua fixação ser bastante rápida e econômica.

A norma americana AASTHO-LRFD:2017 prescreve recomendações para o cálculo e a verificação desses dois tipos de conectores em pontes rodoviárias, enquanto a NBR 8800:2008 trata do mesmo assunto para aplicação em edifícios.

### **Efeito da fadiga**

A resistência à fadiga dos conectores de cisalhamento é determinada com base nessas variações de tensão a que estes estão solicitados durante a vida útil da estrutura (KLINSKY, 1999). Em virtude da relevância desse efeito, os conectores de cisalhamento devem ser calculados para resistir ao Estado Limite de Fadiga e quantidade de conectores provenientes dessa verificação deve ser maior ou igual à quantidade aferida no Estado Limite Último.

As combinações de fadiga levam em conta apenas as cargas transientes (tráfego) para seus fatores de fadiga. Como as cargas transientes são cargas de curta duração, o fluxo de cisalhamento deve advir da análise de curta duração, ou seja, com a homogeneização da seção transversal a partir de  $\alpha$  ( $=E_s/E_c$ ) (LINHARES, 2015). Portanto, a resistência ao cisalhamento para um conector é determinada a partir de um parâmetro dependente do número de ciclos a que a estrutura estará submetida em sua vida útil. Tendo-se a

resistência de um conector e a tensão de cisalhamento atuante na interface, pode-se determinar o número de conectores e seu espaçamento. (LINHARES, 2015)

Pelo fato de não existir uma norma brasileira que prescreva os critérios para determinar a resistência à fadiga de conectores em pontes mistas, optou-se por adotar as recomendações da AASTHO-LRFD:2017.

## Metodologia

Tomou-se o exemplo prático da Ponte Anselmo Dias em Teresina-PI para estudo e análise dos resultados com base em duas soluções de conectores de cisalhamento: pino com cabeça e perfil U. Para a determinação da resistência à fadiga e da resistência ao cisalhamento, e, por conseguinte, quantidade e espaçamento dos conectores, foram consideradas as prescrições da norma americana AASTHO-LRFD:2017.

## Ponte Anselmo Dias

Dentre as pontes em estrutura mista da capital piauiense, está a Ponte Anselmo Dias, localizada sobre o Rio Poti entre as Avenidas Industrial Gil Martins e José Francisco de Almeida Neto, na cidade de Teresina, estado do Piauí.

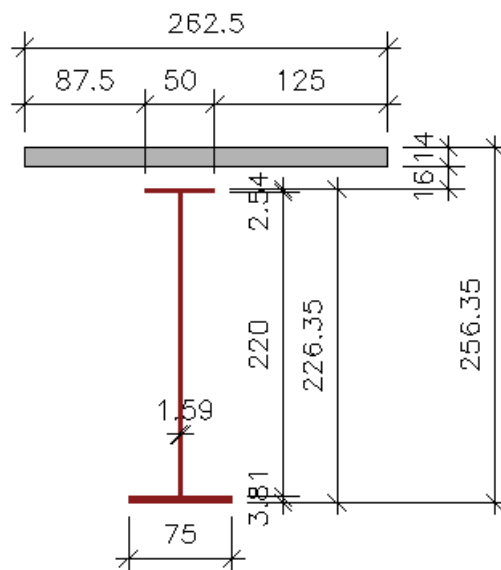
Os detalhes, esforços e outras informações foram obtidos do memorial de cálculo da estrutura junto à empresa PCA Engenharia Ltda., responsável pelo projeto da Ponte Anselmo Dias.

O tabuleiro é reto ortogonal, constituído por dez vãos centrais biapoiados sendo seis de 26,50 m e quatro de 42,00 m de comprimento no nível do greide (incluindo as juntas de dilatação) totalizando um tabuleiro de 327,00 m de comprimento, apresentando também laje de aproximação retangular em cada cabeceira apoiada em cortinas externas. A seção transversal da ponte tem 26,35 m de largura, composta por seis faixas de rolamento de 3,30 m; duas faixas de passeio para ciclistas e pedestres com 2,50 m de largura cada, incluindo os guarda-corpos metálicos e três guarda-rodas tipo *New Jersey*, sendo dois de 0,40 m e outro de 0,65 m de largura. O tabuleiro é executado com placas pré-moldadas de concreto armado (pré-lajes) incorporadas na laje de concreto armado moldada *in loco* com resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias maior ou igual a 30 MPa ( $f_{ck} \geq 30$  MPa). As longarinas metálicas dos vãos de 42,00 m possuem comprimento modular de 41,80 m com 2,20 m de altura de alma, são de aço estrutural COR-500 (limite de escoamento igual a 380 MPa e limite de resistência igual a 500 MPa) e enrijecidas ao longo do comprimento com enrijecedores soldados as longarinas com o mesmo aço estrutural. Essas longarinas são travadas por transversinas metálicas treliçadas e parafusadas às longarinas.

Já as longarinas metálicas dos vãos de 26,50 m possuem comprimento modular de 26,30 m com 1,50 m de altura de alma e as mesmas propriedades das longarinas dos vãos de 42,00 m.

## Viga mista da Ponte Anselmo Dias

Levando-se em consideração a viga de extremidade de um dos vãos de 42,00 m, tem-se a seguinte representação esquemática (Figura 3) da seção transversal da mesma:



**Figura 3 – Seção transversal do perfil metálico de extremidade com laje de concreto**

**Fonte: AUTOR (2018)**

A laje é composta por lajes pré-moldadas de 16 cm de espessura e laje moldada *in loco*. O perfil metálico possui as seguintes propriedades: área da seção transversal igual a 762,55 cm<sup>2</sup>; momento de inércia do perfil em torno do eixo “x” igual a 6.087.107,49 cm<sup>4</sup>.

Considerando a viga metálica com a colaboração da laje de concreto armado para as cargas de curta duração, ou seja, a seção transversal funcionando como mista, tem-se a largura efetiva da laje tomada como:

$$b_e = 112,5 + 150 = 262,5\text{cm} \quad (1)$$

Adotando-se o módulo de elasticidade do aço ( $E_s$ ) igual a 205.000 MPa e o módulo de elasticidade do concreto ( $E_c$ ) dado por:

$$E_c = 0,88 \cdot 5600 \sqrt{30} = 26.991,77\text{MPa} \quad (2)$$

Tem-se, então, a relação entres os módulos de elasticidade ( $\alpha$ ) igual a:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_c} = \frac{205.000}{26.991,77} = 7,595 \quad (3)$$

$$\frac{b_e}{\alpha} = \frac{262,5}{7,595} = 34,56\text{cm} \quad (4)$$

A área equivalente de concreto é dada por:

$$A_c = \frac{262,5 \cdot 14}{7,595} = 483,87\text{cm}^2 \quad (5)$$

Portanto, pode-se determinar as propriedades geométricas da seção homogeneizada para  $\alpha=7,595$ . A Tabela 1 mostra os valores de área das seções transversais ( $A$ ), distância da face superior da laje de concreto para o centro de gravidade da respectiva seção transversal ( $y'$ ) e produtos das multiplicações para determinar o momento de inércia da seção correspondente ( $I$ ).

**Tabela 1 – Propriedades geométricas da seção homogeneizada para as cargas de curta duração**

	A (cm <sup>2</sup> )	y' (cm)	A y'	A y' <sup>2</sup>	I (cm <sup>4</sup> )
Seção equivalente de concreto	483,87	7,00	3.387,10	23.709,68	7.903,23
Perfil metálico	762,55	165,94	126.537,55	20.997.640,55	6.087.107,49
Total	1.246,42		129.924,64	21.021.350,23	6.095.010,71

$$y_{\text{superior}} = \frac{129.924,64}{1.246,42} = 104,24\text{cm} \quad (6)$$

$$y_{\text{inferior}} = (226,35 + 16 + 14) - 104,24 = 152,11\text{cm} \quad (7)$$

Portanto, o momento de inércia da seção homogeneizada é:

$$I = 6.095.010,71 + 21.021.350,23 - 1.246,42 \cdot (104,24)^2 \quad (8)$$

$$I = 13.573.253,52\text{cm}^4 \cong 0,136\text{m}^4$$

Os módulos resistentes superior e inferior são dados por:

$$W_{\text{superior}} = \frac{13.573.253,52}{104,24} = 130.213,85\text{cm}^3 \quad (9)$$

$$W_{\text{inferior}} = \frac{13.573.253,52}{152,11} = 89.232,07\text{cm}^3 \quad (10)$$

Considerando a viga metálica com a colaboração da laje de concreto armado para as cargas de longa dura, tem-se o valor de  $\alpha$  multiplicado por 3:

$$\alpha_{\infty} = 3 \cdot \alpha = 3 \cdot 7,595 = 22,785 \quad (11)$$

$$\frac{b_e}{\alpha_{\infty}} = \frac{262,5}{22,785} = 11,52\text{cm} \quad (12)$$

A área equivalente de concreto é dada por:

$$A_c = \frac{262,5 \cdot 14}{22,785} = 161,29\text{cm}^2 \quad (13)$$

Portanto, pode-se determinar as propriedades geométricas da seção homogeneizada para  $\alpha=22,785$ . A Tabela 2 mostra os valores de área das seções transversais (A), distância da face superior da laje de concreto para o centro de gravidade da respectiva seção transversal (y') e produtos das multiplicações para determinar o momento de inércia da seção correspondente (I).

**Tabela 2 – Propriedades geométricas da seção homogeneizada para as cargas de longa duração**

	A (cm <sup>2</sup> )	y' (cm)	A y'	A y' <sup>2</sup>	I (cm <sup>4</sup> )
Seção equivalente de concreto	161,29	7,00	1.129,03	7.903,23	2.634,41
Perfil metálico	762,55	165,94	126.537,55	20.997.640,55	6.087.107,49
Total	923,84		127.666,58	21.005.543,77	6.089.741,90

$$y_{\text{superior}} = \frac{127.666,58}{923,84} = 138,19\text{cm} \quad (14)$$

$$y_{\text{inferior}} = (226,35 + 16 + 14) - 138,19 = 118,16\text{cm} \quad (15)$$

Portanto, o momento de inércia da seção homogeneizada é:

$$I = 6.089.741,90 + 21.005.543,77 - 923,84 \cdot (138,19)^2 \quad (16)$$

$$I = 9.452.891,14\text{cm}^4 \cong 0,095\text{m}^4$$

Os módulos resistentes superior e inferior é dado por:

$$W_{\text{superior}} = \frac{9.452.891,14}{138,19} = 68.404,45\text{cm}^3 \quad (17)$$

$$W_{\text{inferior}} = \frac{9.452.891,14}{118,16} = 80.001,57\text{cm}^3 \quad (18)$$

### Conectores de cisalhamento para a Ponte Anselmo Dias

Adotando-se o conector tipo pino com cabeça, com as seguintes propriedades geométricas: altura igual a 150 mm; diâmetro igual a 19,1 mm (3/4"); área da seção transversal igual a 2,87 cm<sup>2</sup>; tem-se a sequência de cálculo a seguir para se determinar o espaçamento e a quantidade mínima de conectores.

A NBR 8800:2008 recomenda que os conectores do tipo pino com cabeça devem ter, após a instalação, comprimento mínimo igual a 4 vezes o diâmetro:

$$\frac{L}{C} = \frac{150}{19,1} = 7,85 > 4 \quad (19)$$

De acordo com a AASTHO-LRFD:2017, a resistência à fadiga do conector ( $Z_r$ ) com essas características para a via com 5.000 ciclos de carregamento (média diária de tráfego menor que 2.500) é:

$$Z_r = a \cdot d^2 = 7,3 \cdot (1,91)^2 = 26,63\text{kN} \quad (20)$$

A faixa de variação da força cortante devido à carga móvel mais impacto ( $V_f$ ) para seção em estudo é tomada como a diferença entre os valores mínimo e máximo da envoltória de cortante (incluindo cargas permanentes) de projeto:

$$V_f = V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}} = 1.549,8 - 944,7 = 605,1\text{kN} \quad (21)$$

O momento estático da área de compressão de concreto transformada ( $Q$ ) em relação ao eixo neutro da viga mista é:

$$Q = \frac{262,5 \cdot 14}{7,595} \cdot (104,24 - 7) = 47.051,61\text{cm}^3 \quad (22)$$

O momento de inércia da seção mista na região de momento positivo ( $I$ ), já determinado anteriormente, é igual a 13.573.253,52 cm<sup>4</sup>.

Logo, segundo a AASTHO-LRFD:2017, a faixa de variação do cisalhamento horizontal entre a laje de concreto e a viga metálica é determinada por:

$$V_{\text{fat}} = \frac{V_f \cdot Q}{I} = \frac{605,1 \cdot 47.051,61}{13.573.253,52} = 2,10\text{kN/cm} \quad (23)$$

Considerando um grupo de 4(quatro) *stud bolts*, o espaçamento ( $p$ ) necessário entre conectores é determinado por:

$$p = \frac{n \cdot Z_r}{V_{fat}} = \frac{4 \cdot 26,63}{2,10} = 50,72 \text{ cm} \quad (24)$$

Para verificar o número de conectores mínimo (n), toma-se a razão entre a menor resultante de plastificação entre o perfil de aço e a laje de concreto (P) e a resistência ao cisalhamento de um conector ( $Q_r$ ).

O concreto possui resistência à compressão igual a 30 MPa e o perfil possui tensão de escoamento igual 38 kN/cm<sup>2</sup>. O parâmetro P é expresso pelo menor dos seguintes valores:

$$P = 0,85 \cdot f_{ck} \cdot b_e \cdot t_c = 0,85 \cdot \frac{30}{10} \cdot 262,5 \cdot 14 = 9.371,25 \text{ kN} \quad (25)$$

$$P = A \cdot f_y = 762,55 \cdot 38,0 = 28.976,9 \text{ kN} \quad (26)$$

Portanto, o parâmetro P é igual 9.371,25 kN.

Para o Estado Limite Último, a AASTHO-LRFD:2017 considera que a resistência ao cisalhamento de um conector deve ser tomada como:

$$Q_r = \phi_{sc} \cdot Q_n \quad (27)$$

Assim, a resistência nominal ao cisalhamento de um conector tipo pino com cabeça deve ser dada pelo menor dos seguintes valores:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c} = 0,5 \cdot 2,87 \cdot \sqrt{3,0 \cdot 2699,177} = 129,13 \text{ kN} \quad (28)$$

$$Q_n = A_{sc} \cdot F_u = 2,87 \cdot 41,5 = 119,11 \text{ kN} \quad (29)$$

Portanto, a resistência nominal ao cisalhamento de um *stud bolt* é igual 119,11 kN.

$$Q_r = \phi_{sc} \cdot Q_n = 0,85 \cdot 119,11 = 101,24 \text{ kN} \quad (30)$$

Sendo assim, o número mínimo de conectores é: 9371,25/101,24=93.

Considerando-se linhas com 4 conectores, tem-se um número mínimo de 24 linhas, totalizando 96 conectores.

Adotando-se o conector tipo perfil U com as seguintes propriedades geométricas: altura igual a 152 mm; comprimento medido no plano da alma perpendicular ao eixo longitudinal da viga de aço igual a 150 mm; espessura média da aba igual a 9 mm; espessura da alma igual a 6 mm; tem-se a sequência de cálculo a seguir para se determinar o espaçamento e a quantidade mínima de conectores.

De acordo com a AASTHO-LRFD:2017, a resistência à fadiga do conector ( $Z_r$ ) com essas características para a via com 5.000 ciclos de carregamento (média diária de tráfego menor que 2.500) é:

$$Z_r = B \cdot w = 5,3 \cdot 15 = 79,5 \text{ kN} \quad (31)$$

A faixa de variação do cisalhamento horizontal independe do tipo de conector. Logo, esse valor corresponde a 2,10 kN/cm, já determinado anteriormente.

O espaçamento (p) necessário entre conectores é determinado por:

$$p = \frac{n \cdot Z_r}{V_{fat}} = \frac{1 \cdot 79,5}{2,10} = 37,86 \text{ cm} \quad (32)$$

O parâmetro P, determinado anteriormente, é igual 9.371,25 kN.

Para o Estado Limite Último, a AASTHO-LRFD:2017 considera que a resistência ao cisalhamento de um conector deve ser tomada como:

$$Q_r = \phi_{sc} \cdot Q_n \quad (33)$$



Assim, a resistência nominal ao cisalhamento de um conector tipo perfil U e o número de conectores devem ser dados por:

$$Q_n = 0,3 \cdot (t_f + 0,5 \cdot t_w) \cdot L_c \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c} = 0,3 \cdot (0,9 + 0,5 \cdot 0,6) \cdot 15 \cdot \sqrt{3,0 \cdot 2699,177} = 485,93kN \quad (34)$$

$$Q_r = \phi_{sc} \cdot Q_n = 0,85 \cdot 485,93 = 413,04kN \quad (35)$$

$$n = \frac{P}{Q_r} = \frac{9.371,25}{413,04} = 22,68 \cong 23 \quad (36)$$

## Conclusões

Levando-se em conta o estudo das propriedades de uma das vigas de extremidade da Ponte Anselmo Dias, observa-se uma redução de 30% no momento de inércia da seção mista para as cargas de longa duração em relação ao cálculo para as cargas de curta duração com  $\alpha=7,595$ . A consequência é um acréscimo nos deslocamentos referentes à carga de mesmo valor, porém de longa duração. Por outro lado, o módulo resistente inferior teve redução de apenas 10%; logo, as tensões na mesa inferior serão pouco alteradas pelo efeito de fluência do concreto. Já o módulo resistente superior tem uma redução significativa de 47%, ou seja, a mesa superior sofrerá mais alterações provenientes das tensões.

No que diz respeito aos conectores de cisalhamento para a Ponte Anselmo Dias, foram estudadas duas soluções: conectores pino com cabeça e conectores em perfil U. Assim, observou-se que a resistência à fadiga do conector tipo U estudado é cerca de três vezes a de um conector pino com cabeça. Tratando-se do Estado Limite Último, a resistência ao cisalhamento do perfil U é cerca de quatro vezes a do *stud bolt*. Para o efeito da fadiga, espaçamento entre conectores é maior no caso de pinos com cabeça, que foram considerados em grupo de quatro. Convém mencionar que esse espaçamento pode ser alterado por questões construtivas, que levem a facilitar o posicionamento das lajes pré-moldadas, por exemplo.

O número mínimo de conectores provenientes da análise do Estado Limite Último mostra que é necessária uma maior quantidade de *stud bolts* comparado a perfis em U, visto que a resistência ao cisalhamento do primeiro é menor. Para o caso estudado, percebeu-se a relevância do efeito das cargas de longa duração quando comparado às cargas de curta duração, cujo fato reflete diretamente nas propriedades da seção mista, como momento de inércia e módulo de resistência. Também, o comparativo entre as duas soluções de conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça e perfil U, mostrou que esse último possui maior resistência à fadiga e ao cisalhamento do que o primeiro. Em pontes rodoviárias, as ações repetidas podem provocar grandes variações de tensões, favorecendo a danificação do material. Portanto, esse fenômeno é de suma importância para a consolidação da interface aço-concreto. Por isso, conclui-se que o conector em perfil U estudado pode ser considerado como a melhor solução para a Ponte Anselmo Dias.



## Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO-LRFD: Bridge Design Specifications. Washington, 2017. 1780 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.
- CHAVES, Igor Avelar. Viga mista de aço e concreto constituída por perfil formado a frio preenchido. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- DAVID, Daniela Lemes. Análise teórica e experimental de conectores de cisalhamento e vigas mistas constituídas por perfis formados a frio e laje de vigotas pré-moldadas. 2007. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- KLINSKY, Gelafito Eduardo René Gutiérrez. Uma contribuição ao estudo das pontes em vigas mistas. 1999. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- LINHARES, Bruno Tasca de. Análise de pontes em estruturas mistas de aço concreto de seção caixão com protensão externa. 2015. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- PFEIL, Walter do Couto; PFEIL, Michèle Schubert. Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. 357 p.
- PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. Manual de construção em aço: Pontes e viadutos em vigas mistas. Rio de Janeiro: Ibs/cbca, 2007. 138 p.
- SOUZA, Victor José Luiz de. Contribuição ao projeto e dimensionamento da superestrutura de pontes rodoviárias em vigas mistas de aço e concreto. 2012. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- VIEST, I. M. Investigation of stud shear connectors for composite concrete and steel T-beams. Journal of the American Concrete Institute. v. 27, n. 8, 1956.