

ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DA INFLUÊNCIA DA LIGAÇÃO DE VIGAS MISTA AÇO- CONCRETO COM LAJES MACIÇA E ALVEOLAR PROTENDIDA COM CONCRETO DE PREENCHIMENTO E CONECTORES TIPO PINO COM CABEÇA

Marcel Willian Reis Sales¹
Wanderlei Malaquias Pereira Junior²
Felipe Bernardes Mendes³
Raissa Silva³
José de Souza Sales⁴

RESUMO

Neste trabalho é realizada uma análise paramétrica das características de vigas mistas aço / concreto com lajes maciças e alveolar protendida, a partir de uma revisão bibliográfica, para a resistência do concreto ao cisalhamento. Para isso, serão usados artigos, normas e recomendações técnicas para lajes maciças, por não existir uma norma para o dimensionamento desse tipo de sistema, quando a ruptura ocorre no concreto. Assim, através de uma análise paramétrica, verificar a qual norma melhor adaptada, aos ensaios experimentais, dos tipos de estruturas mistas aqui analisadas, verificando se a equação está a favor ou não da segurança. Também, verificar se o tipo de vínculo entre a chapa o perfil de base e o conector influencia na resistência da ruptura da ligação.

Palavras-chaves: *conector de cisalhamento, ensaio de cisalhamento direto, vigas mista aço/concreto*

ABSTRACT

This work is carried out a parametric analysis of the characteristics of composite steel / concrete beams with massive and alveolar prestressed slabs from a literature review, to the strength of concrete shear. For this, items will be used, technical standards and recommendations for solid slabs, because there is no standard for the design of such a system, when the break occurs in the concrete. Thus, through a parametric analysis, check which standard best adapted to the experimental tests, the types of composite structures analyzed here, making sure that the equation is in favor or not of security. Also, verify that the type of link between the base plate profile and the connector influences on lead break resistance.

Keywords: *Shear connector, Push out Test, steel-concrete composite beams*

¹ Engenheiro Civil da Universidade Federal de Goiás, Mestre em engenharia civil pelo PPG-GECON da EEC/UFG.

² Professor e coordenador da Faculdade Evangélica de Goianésia, Mestre em engenharia civil pelo PPG-GECON da EEC/UFG.

³ Engenheiro Civil, PUC/GO.

⁴ Doutor em Física e professor da Universidade Estadual de Goiás.

INTRODUÇÃO

A construção civil, de uma maneira geral, tem sido afetada pela evolução de técnicas construtivas que tentam industrializar o processo produtivo de uma edificação, substituindo assim os modelos totalmente artesanais. Um dos sistemas que atualmente se destacam nesse âmbito, são sistemas pré-moldados, que de uma maneira geral apresentam ganho de produtividade quando comparado aos modelos de concreto moldado *in loco*. Portanto, a industrialização da construção e a racionalização da execução de estruturas de concreto são os principais motivos para o emprego do concreto pré-moldado, onde o uso do mesmo em grandes obras no Brasil já acumula quase 75 anos e a pré-fabricação quase 50 anos.

No âmbito da utilização de novas tecnologias este trabalho traz um estudo bibliográfico relativo ao comportamento da ligação conector/concreto em vigas mistas com lajes alveolares protendidas e lajes maciças. As vigas mistas aço / concreto são bastante empregadas em sistemas estruturais de edifícios de múltiplos pavimentos (residenciais e comerciais) e pontes.

Atualmente as normas brasileiras não levam em consideração no dimensionamento os parâmetros do sistema misto aço / concreto com laje alveolar protendida (Figura 1 do apêndice), levando apenas a consideração do sistema de laje maciça. Portanto, ainda existe uma carência de pesquisas acerca deste assunto, no caso de análise de ligações com lajes protendidas. Dessa forma, este trabalho pretende contribuir para um melhor entendimento do funcionamento desses sistemas, analisando bibliograficamente trabalhos, que a partir do ensaio de cisalhamento direto, propuseram equações para o dimensionamento da resistência da ligação quando a ruptura ocorre no concreto e não no conector, além de contribuir para uma futura formulação de norma que considere essa avaliação da ligação aço / concreto em sistemas pré-moldados com protensão.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para os estudos aqui realizados foram extraídas informações de 6 artigos sobre ensaios de cisalhamento direto (Figura 2 do apêndice). Todos os estudos relatam ensaios experimentais com diferentes tipos de lajes, (maciças e alveolares) estruturas de ligação (conectores e concreto de preenchimento) e armação longitudinal. Portanto, foram propostos o valores numéricos para a carga de ruptura no concreto através dos modelos de norma ABNT NBR 8800:2008, CEN EC 4:2004 e o modelo elaborado por Lam (2007) segundo a equação de (1) a (3), respectivamente, que são descritas a seguir:

$$P_u = 0,5A_{cs} \sqrt{F_{cm} E_{cm}} \quad (1)$$

$$P_u = 0,29\alpha d^2 \sqrt{F_{cm} E_{cm}} \quad (2)$$

$$P_u = 0,29\alpha\beta\epsilon d^2 \sqrt{F_{cm} E_{cm}} \quad (3)$$

Onde foram utilizados os parâmetros dos modelos:

A_{cs} : Área transversal do conector;

f_{cm} : Resistência média à compressão do concreto moldado no local;

E_{cm} : Módulo de elasticidade médio do concreto moldado no local;

P_u : Ruptura do conector;

d : Diâmetro do conector;

h : Altura do conector

$\alpha = 0,2(h/d + 1)$ se $3 \leq h/d \leq 4$

ou

$\alpha = 1$ se $h/d > 4$

$\beta = 0,5(g/71 + 1) < 1$: coeficiente que leva em consideração a largura da junta

longitudinal ($g \geq 30$ mm)

$\epsilon = 0,5(\phi/20 + 1) < 1$: coeficiente que leva em consideração a armadura transversal ao conector.

Artigo por Tanaka e Murakoshi (2011)

Para identificar os mecanismo de rolamento e uma possível falha nas barras de aço embutidos no concreto submetido a carga transversal, foram utilizados vinte e quatro blocos de concreto com f_{ck} variando de 24,5 MPa a 59,50 MPa e módulo de elasticidade (E) variando de 23560 MPa 36716 MPa contendo armaduras de ligação com conectores de diâmetro entre 9,53 mm e 19,10 mm. Este artigo descreve o comportamento dos conectores quando livres, rosqueados por arruela e soldado, envolvendo o a ruptura do concreto em cada tipo de ligação. E os cálculos de ruptura no concreto são apresentados na tabela 1 do apêndice.

Neste estudo, os testes de carga utilizando 24 blocos de concreto contendo armaduras de ligação, barras montadas na viga e aparafusadas ou soldadas foram realizadas, seguido por uma pesquisa de dissecação para determinar a profundidade da fragmentação observada sob armaduras de ligação e a região de deflexão residual das barras. O comportamento da falha foi investigada

utilizando os dados experimentais. A analogia elástica ainda oferece algumas implicações para ilustrar o comportamento dos conectores (chumbadores) incorporado em concreto.

Este estudo, dependendo do analogia tradicional, pode ser insuficiente para identificar totalmente o comportamento dos conectores. A abordagem é útil para engenheiros e pesquisadores para desenhar um esboço, relativo à processo de falha das armaduras de ligação.

Artigo por Lam et. al. (2006)

Neste artigo foram analisados: o efeito de reforço transversal, efeito do enchimento da junta longitudinal no concreto moldado no local, efeito da moldagem no local na resistência do concreto, efeito da espessura lajes alveolares, efeito do perfil do fim lajes alveolares e altura do conector utilizando concreto com f_{ck} variando de 19,92 MPa a 51,7 MPa, modulo de elasticidade (E) entre 21224 MPa à 34754 MPa e conectores com diâmetro de 19 mm e 22 mm. Um novo procedimento de cisalhamento direto foi desenvolvido, neste trabalho, para utilização com vigas mistas com lajes alveolares pré-moldado para determinar a capacidade de cisalhamento dos conectores de cisalhamento liderado. Cálculos de ruptura no concreto representados na Tabela 2 do apêndice.

Com experimentos expostos nas tabelas mencionadas, Lam (2006) concluiu que o procedimento de teste padrão de cisalhamento foi desenvolvido para ser utilizado com vigas mistas com lajes alveolares pré-moldado para determinar a capacidade de corte dos conectores de cisalhamento. Testes foram realizados pela primeira vez em conectores ligados em lajes sólidas para validar os procedimentos de ensaio para mostrar que o novo teste é compatível com os resultados especificados nos códigos e normas atuais de prática. Uma vez que um procedimento padrão é estabelecido, os testes em conectores ligados a lajes alveolares são realizados para determinar as capacidades de cisalhamento dos conectores quando há o deslizamento em relação a lajes alveolares pré-fabricados. Então, 72 testes de pressão em larga escala foram realizados, onde mostram resultados de carga-deslizamento e curvas características e obteve o resultado de que as equações de projeto propostas para capacidade final de cisalhamento se comparam aos resultados experimentais de forma satisfatória, e pode ser utilizada para estimar a capacidade de corte de cisalhamento nos conectores em lajes alveolares pré-fabricados.

Artigo de Sales (2014)

Sales (2014) estudou as lajes alveolares protendidas, com resistência à compressão maior que 50 MPa. O modelo de laje confeccionado tinha dois padrões de altura de 160 mm e 210 mm, com largura e comprimento fixo em 1200 mm e 500 mm respectivamente. O concreto utilizado no preenchimento e na confecção da capa de 40 mm de espessura foi produzido em laboratório com

dosagem específica. Os modelos ensaiados por Sales (2014) são apresentados na Tabela 3 do apêndice, onde demonstra que o mesmo utilizou dos cálculos dos parâmetros α , β e ϵ , para adaptar as equações do EUROCODE 4 e Lam *et. al.* (1998).

Com os experimentos realizados por Sales (2014) foi concluído que o diâmetro da armadura transversal e o capeamento de 4 cm sobre a laje alveolar influenciaram diretamente na resistência de ruptura do concreto na ligação.

Artigo por Xue et. al.(2008)

Foram realizados trinta testes de cisalhamento direto em vigas mistas a fim de investigar os efeitos do diâmetro do conector, sua altura e técnica de soldagem, assim como a resistência do concreto e armadura transversal. Neste ensaio, foram utilizados concretos com f_{ck} que variam de 30MPa a 50 MPa, modulo de elasticidade entre 26071 MPa e 33658 MPa e conectores com diâmetro que variam de 13 a 16mm. Durante o carregamento foram medidos continuamente os deslizamentos longitudinais, que ocorreram entre a laje de concreto e o perfil metálico, assim como também foram acompanhadas as tensões nos *Stud bolts* e nas lajes de concreto na posição vertical. Os Deslizamentos longitudinais entre a laje de concreto e o perfil metálico foram medidos continuamente durante o carregamento e as tensões nos *Stud bolts* e nas lajes de concreto na posição das vigas. Os modelos ensaiados são apresentados na Tabela 4 do apêndice.

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões: A curva de carga-deslizamento típico consistia de peças no estado elástico e plástico. O ramo descendente das curvas de carga-deslizamento foi curta e íngreme. Uma óbvia influência da resistência do concreto e dimensão dos conectores e sua capacidade foi observada. Os resultados mostraram aumentos da capacidade de carga de cisalhamento da ligação com o aumento em resistência do concreto, diâmetro e altura do conector e ao julgar pelos resultados dos ensaios de extração, a qualidade da soldagem deve ser cuidadosamente controlada. A quantidade de armadura transversal na laje de concreto teve uma ligeira influência sobre a capacidade de suporte do conector de cisalhamento de 13mm. O aumento foi de cerca de 10%. O efeito do tipo de viga de aço na capacidade de cisalhamento do conector foi insignificante. A avaliação da capacidade de cisalhamento de acordo com a fórmulas, mostrou que a equações propostas onde as contribuições combinadas de ambos concreto e viga, que levam em consideração o diâmetro e altura do conector, força material, e módulo de elasticidade podem fornecer uma estimativa melhor da capacidade de cisalhamento.

Artigo por Lam et. al. (2007)

Os testes de cisalhamento direto experimentais foram utilizados para avaliar a capacidade do conector de cisalhamento e da curva de carga versus deslizamento do conector. O concreto utilizado no ensaio teve seu f_{ck} variando de 20MPa a 50 MPa, seu módulo de elasticidade teve valores que iam de 21287 MPa a 33658 MPa e os conectores utilizados foram de 19 mm de diâmetro. Os modelos ensaiados são apresentados nas Tabelas 6 do apêndice e as tabelas 5 de Lam e Ehab (2005).

Lam et. al. (2007), concluiu a partir de um modelo de elementos finitos que foi desenvolvido para simular a carga deslizamento característica do conector de cisalhamento em contato com uma laje maciça. O modelo leva em consideração as propriedades do material linear e não linear da viga de concreto e cisalhamento. Os resultados comparados dos elementos finitos bem com os resultados obtidos a partir dos testes experimentais de desprendimento e dados especificados de códigos. Todos os tipos de falha foram previstos com exatidão pelo modelo de elementos finitos. A partir do estudo paramétrico, mostrou as fórmulas indicadas em CEN EC 4:2004 deu uma boa correlação com os resultados experimentais e soluções do modelo de elementos finitos, embora pareça que o BS5950 (1997) e o AISC (2005) pode ter superestimado a capacidade do esforço cortante da viga. Além disso, todos os resultados parecem superestimar a capacidade de corte do conector *Stud Bolt* de diâmetro 22 milímetros. Em conclusão, com a evolução deste tipo de modelo de elemento finito, pode ser possível substituir, no futuro, a necessidade de caros experimentos de cisalhamento para determinar a capacidade cortante dos conectores.

METODOLOGIA

A partir dos artigos descritos acima, serão analisados a resistência última dos modelos nos ensaios de cisalhamento direto, comum a todos os artigos obtidos de maneira experimental, e comparados com os resultados obtidos através de equações normatizadas como da ABNT NBR 8800:2008, CEN EC 4:2004, que são para vigas mistas com laje maciça, e uma equação proposta por Lam et. al. (2007), que leva em consideração propriedades de vigas mistas com laje alveolar protendida. Depois da obtenção dos resultados das equações, será verificado em qual equação se adéqua melhor ao comportamento real da viga mista aço/concreto, seja com laje alveolar ou maciça, a partir de observações estatísticas, como média e desvio padrão. Também, analisando se existe influência de formas de ligação e diferentes entre a chapa de base e o conector na resistência quando a ruptura ocorre no concreto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa são apresentados os resultados obtidos das comparações entre os artigos e suas substituições nas equações dos respectivos modelos proposto pela ABNT NBR 8800:2008, CEN EC-4:2004 e Lam et. al.(2007). Da Tabela 1 a 6 apresentadas no apêndice desse trabalho mostram os resultados das substituições realizadas para as equações (1), (2) e (3) com posterior comparação com o modelo experimental.

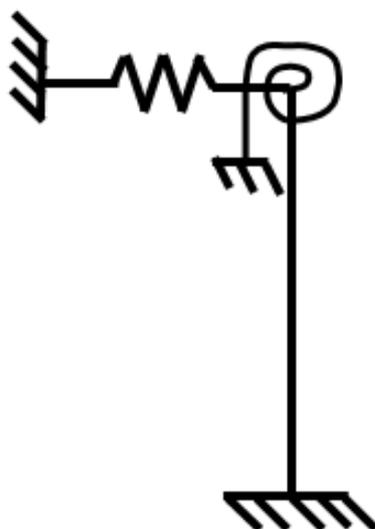
Uma média de cada trabalho foi retirada (Tabelas 1 a 6 do apêndice), e por fim uma média geral para cada relação foi encontrada (Tabela 7 do apêndice). Dessa forma, valores da média acima de 1 significam que a equação está contra a segurança, pois a equação superestima o resultado do ensaio. Então, abaixo de 1 significa que o modelo está a favor da segurança, pois a equação subestima o resultado do ensaio. E valores iguais a 1 seriam o ideal, afinal a equação estaria de acordo com os valores reais dos modelos. Assim, quanto menor o desvio padrão, menor a dispersão das equações em relação aos ensaios. Percebe-se que a equação de Lam *et. al* (2007) possui média a favor da segurança, ou seja, abaixo de 1, com um desvio padrão menor que as outras normas. O modelo da ABNT NBR 8800:2008 está contra a segurança em aproximadamente 42% e com um alto desvio padrão, da ordem de 0,46. E por fim o CEN:EC4:2004 está a favor da segurança em 13% e com um desvio padrão igual ao da ABNT NBR 8800:2008. O modelo de Lam *et. al* (2007) foi baseado no modelo do CEN EC4:2004 com a inclusão de parâmetros que levam em consideração a armadura transversal e a junta longitudinal entre as lajes alveolares, quando existirem. Tais parâmetros não eram previstos pelo modelo do CEN:EC4:2004, que porém prevê a geometria do conector de cisalhamento. Ainda assim, o modelo de Lam *et. al* (2007) obteve um desvio mais alto que o do CEN:EC4:2004 e igual ao da ABNT NBR 8800:2008. Porém, está a favor da segurança com valor da ordem de 0,89. Já a ABNT NBR 8800:2008 possui uma equação que não prevê nenhum desses parâmetros, e por isso a dispersão e a média ficaram acima dos encontrados pelas outras equações.

Foi observado também que os resultados do artigo de Takana e Murakoshi (2008), que as séries B e N não utilizam os conectores soldados ao perfil e sim o conector rosqueado com arruela e livre, respectivamente, o que pode ser observado nas tabelas 1, 2 e 3 do apêndice deste trabalho, portanto na tabela 7 do mesmo apêndice, mostram as médias e desvios padrão quando utilizamos apenas a Série S do experimento, que utiliza apenas os conectores soldados ao perfil, aproximando assim os valores ao ideal e reduzindo significativamente o desvio padrão de cada modelo apresentado. Com a nova comparação o modelo de Lam et. al. (2007) ficou com uma relação F/E (formula/experimento) igual a 0,71 (valor abaixo de 1), estando muito a favor da segurança, com

desvio padrão de 0,28 o passa a possuir a maior dispersão entre os modelos. A ABNT NBR 8800:2008 obteve uma relação força/experimento de 1,18 e um desvio padrão de 0,20 e o CEN:EC4:2004 0,95 e o menor desvio padrão. Dessa forma, a equação do CEN:EC4:2004 é a equação que melhor se adéqua à ruptura quando ela se dá no concreto.

Outro fator interessante foi a forma da deformada do conector, que apresenta singela rotação na cabeça. Isso indica que houve giro na cabeça do conector. Imaginando que a solda é um engaste perfeito percebe-se que o conector pode ser descrito como uma viga engastada e apoio semi-rígido na cabeça promovida pelo volume de concreto. Então, um modelo estrutural interessante pode ser expresso segundo a Figura 1. A partir desse modelo estrutural, pode-se encontrar a sollicitação promovida pelas forças acionadas pelo concreto que o envolve. Sendo que valores das rigidezes dessas molas podem ser retirados da equação do trabalho de TANAKA e MURAKOSHI (2011)

Figura 1- Modelo estrutural proposto para o conector



CONCLUSÃO

Conclui-se que a equação do CEN:EC4:2004, que possui a menor dispersão, e a equação proposta por Lam (2007) estão a favor da segurança. A equação da ABNT NBR 8800:2008 está contra a segurança quando o quesito é o rompimento do concreto com conectores tipo pino com cabeça (*stud bolt*) soldados à viga metálica de perfil “I”, isso porque não leva em consideração nenhum parâmetro de geometria do conector, a não ser o diâmetro, nem armadura transversal e junta longitudinal. Outro fator importante é a dispersão nos modelos analisados que quando comparados com os modelos de Lam (2007) e CEN EC4:2004. Conclui-se, também, que a forma que é feita a ligação entre o metal base (perfil metálico “I”) e o conector, soldado ou rosqueado por arruela, influencia diretamente na ruptura por cisalhamento do concreto; e o diâmetro da armadura transversal e o capeamento, abordados no artigo de Sales (2014) influenciam também na

resistência de ruptura do concreto na ligação. Um modelo estrutural para o conector foi proposto, baseado na observação das formas da linha elástica do conector apresentados nos artigos, associado à observação das resistências dos conectores apresentados pelas ligações da chapa de base e do conector ensaiadas por Xue et. al. (2008). Afinal, neste último, ficou provado que a solda atribui ao sistema maior rigidez, e associado à linha elástica observada nos ensaios, em geral, foi possível propor um modelo estrutural para o cálculo da resistência do conector.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR 8800 – **Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios**, 2008

EL DEBS, M, K, **Estruturas mistas aço-concreto: origem, desenvolvimento e perspectivas**, Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2005. © 2005 IBRACON

HOLLOWAY R. T.; **Precast Composite Sections in Structures**, 1972.

JOHNSON R. P.; **Longitudinal Shear Strength of Composite Beams**, 1970.

LAM D., M.ASCE and Ehab El-Lobody; **Behavior of Headed Stud Shear Connectors In Composite Beam**, 2005.

LAM D.; **Journal of Constructional Steel Research, Capacities of headed stud shear connectors in composite steel beams with precast hollow cores labs**, 2006.

LAM, D. Capacities of headed stud shear connectors in composite steel beams with precast hollowcore slabs. **Journal of Constructional Steel Research**. v.63, n. 9, p. 1160-1174, 2007.

NIE J., XIAO Y., TAN Y., WANG H.; **Aci Structural Journal, Experimental Studies on Behavior of Composite Steel High-Strength Concrete Beams**, 2004.

SALES, M., W., R., **Conector de cisalhamento tipo pino com cabeça para viga mista aço-concreto com laje alveolar**. UFG, 2014

TANAKA, Y; MURAKOSHI. J. Reexamination of dowel behavior of steel bars embedded in concrete. **ACI Structural Journal**.V. 108, N. 6, p. 659-668, 2011.

XUE W., DING M., WANG H., LUO Z.; **Static Behavior and Theoretical Model of Stud Shear Connectors**, 2008.

EUROPEAN STANDARD (EN 1994-1-1) – **Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1.1: General rules and rules for buildings**. Brussels: European Committee for Standardization, 2004

Recebido em 02 de dezembro de 2015.

Aprovado em 22 de dezembro de 2015.

ANEXOS E APÊNDICES

Figura 1. Viga mista com perfil metálico em “I” e laje alveolar, demonstrando os conectores stud-bolts, El Debs (2005)

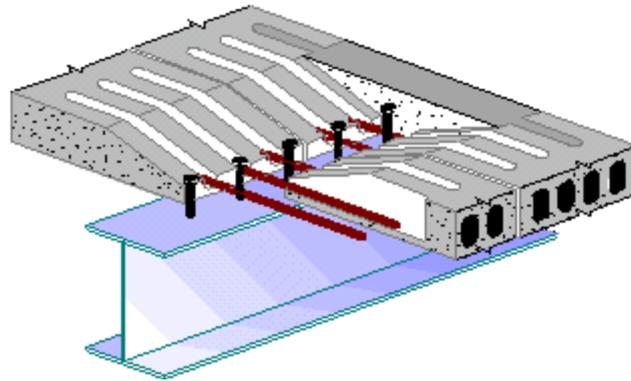


Figura 2. Ilustração do ensaio de cisalhamento direto, Lam *et. al.* (2007)

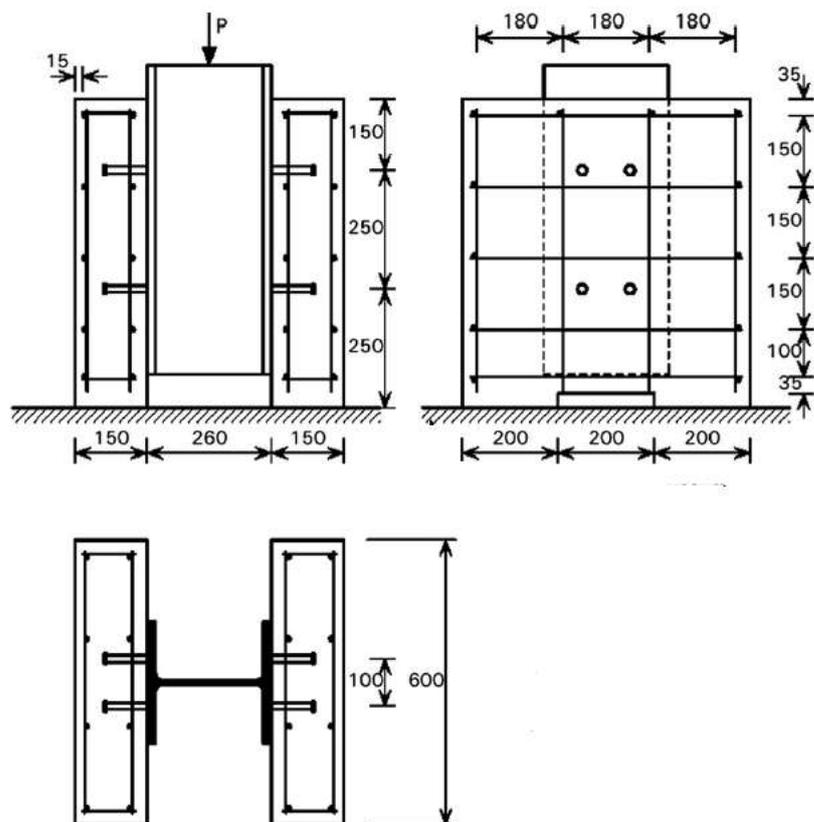


Figura 3. Viga mista após o ensaio de cisalhamento com rompimento do concreto no sistema com conectores tipo pino com cabeça, Lam *et. al.* (2007)



Tabela 1 SERIE 1 por Tanaka e Murakoshi (2011)

Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008) / AISC (2005)			Modelo EUROCODE 4		
	Fórmula	Exp.	Razão F/E	Fórmula	Exp.	Razão F/E	Fórmula	Exp.	Razão F/E
N2419	80,379	33,3	2,414	108,789	33,3	3,267	80,379	33,3	2,414
N3010	25,473	9,05	2,815	34,476	9,05	3,809	25,473	9,05	2,815
N3013	42,601	16,1	2,646	57,659	16,1	3,581	42,601	16,1	2,646
N3019-345	101,182	39,35	2,571	136,944	39,35	3,48	101,182	39,35	2,571
N3019-390	101,182	41,9	2,415	136,944	41,9	3,268	101,182	41,9	2,415
N4019	128,504	46,5	2,764	173,924	46,5	3,74	128,504	46,5	2,764
B3013	45,237	46,3	0,977	61,226	46,3	1,322	45,237	46,3	0,977
B3019	102,319	116	0,882	138,483	116	1,194	102,319	116	0,882
B5013	69,135	47,8	1,446	93,57	47,8	1,958	69,135	47,8	1,446
B5019	156,371	118	1,325	211,64	118	1,794	156,371	118	1,325
S24	79,54	96,7	0,823	107,653	96,7	1,113	79,54	96,7	0,823
S30	101,25	118	0,858	137,037	118	1,161	101,25	118	0,858
S40	127,162	116	1,096	172,107	116	1,484	127,162	116	1,096
S60	154,738	134	1,155	209,43	134	1,563	154,738	134	1,155
MÉDIA	99,034	61,99	2,061	134,037	61,99	2,79	99,034	61,99	2,061
DESVIO	40,38	39,88	0,916	53,502	39,04	1,214	40,38	39,88	0,916

Tabela 2 **SERIE 2 por Lam (2006)**

Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008) / AISC (2005)			Modelo EUROCODE 4		
	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E
PT1	76,797	63,4	1,21	103,94	63,4	1,64	76,797	63,4	1,21
PT2	76,797	57,8	1,33	103,94	57,8	1,8	76,797	57,8	1,33
PT3	102,15	73,5	1,39	138,25	73,5	1,88	102,15	73,5	1,39
PT4	102,15	82,1	1,24	138,25	82,1	1,68	102,15	82,1	1,24
PT5	140,43	91,7	1,53	190,07	91,7	2,07	140,43	91,7	1,53
PT6	112,29	83,2	1,35	151,98	83,2	1,83	112,29	83,2	1,35
PT7	112,29	82,1	1,37	151,98	82,1	1,85	112,29	82,1	1,37
PT11	90,332	101	0,89	122,26	101	1,21	90,332	101	0,89
PT12	115,61	81,3	1,42	156,48	81,3	1,93	115,61	81,3	1,42
PT13	83,548	112,8	0,74	113,08	112,8	1	83,548	112,8	0,74
PT22	89,069	87,8	1,01	120,55	87,8	1,37	89,069	87,8	1,01
PT23	76,92	114,3	0,67	104,11	114,3	0,91	76,92	114,3	0,67
PT24	76,92	95,3	0,81	104,11	95,3	1,09	76,92	95,3	0,81
PT25	76,92	101,9	0,76	104,11	101,9	1,02	76,92	101,9	0,76
PT26	83,38	105,1	0,79	112,85	105,1	1,07	83,38	105,1	0,79
PT27	83,38	97,6	0,85	112,85	97,6	1,16	83,38	97,6	0,85
PT34	121,56	130,1	0,93	164,53	130,1	1,27	121,56	130,1	0,93
PT35	83,524	82,5	1,01	113,05	82,5	1,37	83,524	82,5	1,01
PT36	90,659	102,7	0,88	122,7	102,7	1,2	90,659	102,7	0,88
PT37	90,659	102,7	0,88	122,7	102,7	1,2	90,659	102,7	0,88
PT38	90,659	82,6	1,1	122,7	82,6	1,49	90,659	82,6	1,1
PT39	83,524	89,2	0,94	113,05	89,2	1,27	83,524	89,2	0,94
PT40	80,972	86,5	0,94	109,59	86,5	1,27	80,972	86,5	0,94
PT41	80,972	97,4	0,83	109,59	97,4	1,13	80,972	97,4	0,83
PT42	106,44	117,5	0,91	144,07	117,5	1,23	106,44	117,5	0,91
PT43	106,44	114,6	0,93	144,07	114,6	1,26	106,44	114,6	0,93
PT44	106,44	114,5	0,93	144,07	114,5	1,26	106,44	114,5	0,93
PT50	120,39	131,6	0,92	162,94	131,6	1,24	120,39	131,6	0,92
PT58	84,648	81,1	1,04	114,57	81,1	1,41	84,648	81,1	1,04
PT59	114,17	118	0,97	154,52	118	1,31	114,17	118	0,97
PT66	80,123	103,4	0,78	108,44	103,4	1,05	80,123	103,4	0,78
PT67	80,123	92,4	0,87	108,44	92,4	1,17	80,123	92,4	0,87
PT68	105,89	98,8	1,07	143,32	98,8	1,45	105,89	98,8	1,07
PT69	105,89	97,3	1,09	143,32	97,3	1,47	105,89	97,3	1,09
PT70	107,42	91,7	1,17	145,39	91,7	1,59	107,42	91,7	1,17
PT71	112,46	128,9	0,87	152,21	128,9	1,18	112,46	128,9	0,87
PT72	112,46	116,9	0,96	152,21	116,9	1,3	112,46	116,9	0,96
MÉDIA	98,696	102,08	0,98	133,58	102,08	1,33	98,696	102,08	0,98
DESVIO	18,326	17,144	0,2	24,803	17,144	0,27	18,326	17,144	0,2

Tabela 3 SÉRIE 3 por Sales (2014)

Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008)			Modelo EUROCODE 4		
	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E
M1-A	38,42	77,36	0,5	122,04	77,36	1,58	124,34	77,36	1,61
M1-B	38,31	75,29	0,51	121,7	75,29	1,62	123,99	75,29	1,65
M2-A	55,95	99,64	0,56	126,95	99,64	1,27	129,34	99,64	1,3
M2-B	52,33	90,73	0,58	118,73	90,73	1,31	120,97	90,73	1,33
M3-A	55,01	106,79	0,52	116,49	106,79	1,09	118,69	106,79	1,11
M3-B	47,23	83,41	0,57	100,02	83,41	1,2	101,9	83,41	1,22
M4-A	58,59	96,41	0,61	114,53	96,41	1,19	116,69	96,41	1,21
M4-B	56,42	93,63	0,6	110,3	93,63	1,18	112,38	93,63	1,2
M5-A	56,31	119,52	0,47	99,384	119,52	0,83	101,26	119,52	0,85
M5-B	58,49	125,38	0,47	103,23	125,38	0,82	105,17	125,38	0,84
M6-A	38,9	89,16	0,44	123,57	89,16	1,39	162,41	89,16	1,82
M6-B	36,51	80,49	0,45	115,98	80,49	1,44	152,45	80,49	1,89
M7-A	42,04	107,53	0,39	95,399	107,53	0,89	125,39	107,53	1,17
M7-B	44,13	119,21	0,37	100,12	119,21	0,84	131,6	119,21	1,1
M8-A	53,76	117,57	0,46	121,98	117,57	1,04	160,33	117,57	1,36
M8-B	57,32	132,57	0,43	130,06	132,57	0,98	170,95	132,57	1,29
M9-A	52,74	101,55	0,52	111,7	101,55	1,1	146,82	101,55	1,45
M9-B	59,29	154,25	0,38	125,56	154,25	0,81	165,03	154,25	1,07
M10-A	51,44	126,63	0,41	100,56	126,63	0,79	132,17	126,63	1,04
M10-B	68,41	96,8	0,71	133,74	96,8	1,38	175,79	96,8	1,82
MÉDIA	51,08	104,7	0,5	114,6	104,7	1,14	133,88	104,7	1,32
DESVIO	8,747	20,681	0,09	11,51	20,681	0,26	23,489	20,681	0,31

Tabela 4 SÉRIE 4 por Xueet. al(2008)

Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008)			Modelo EUROCODE 4		
	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E
STUD1-3	63,579	147,7	0,43	86,051	147,7	0,583	63,579	147,7	0,43
STUD4-6	96,309	164,9	0,584	130,35	164,9	0,79	96,309	164,9	0,584
STUD7-9	96,309	212,8	0,453	130,35	212,8	0,613	96,309	212,8	0,453
STUD10-12	65,657	154,3	0,426	88,864	154,3	0,576	65,657	154,3	0,426
STUD21-22	63,579	147,1	0,432	86,051	147,1	0,585	63,579	147,1	0,432
STUD23-24	43,344	137,4	0,315	58,664	137,4	0,427	43,344	137,4	0,315
Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008)			Modelo EUROCODE 4		
	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E
SP1	135,811	130,4	1,041	183,814	130,4	1,41	135,811	130,4	1,041
SP2	68,31	71,6	0,954	92,453	71,6	1,291	68,31	71,6	0,954
SP3	92,587	93	0,996	125,312	93	1,347	92,587	93	0,996

SP4	103,934	102	1,019	140,67	102	1,379	103,934	102	1,019
MÉDIA	100,161	99,25	1,003	135,562	99,25	1,357	100,161	99,25	1,003
DESVIO	28,03	24,368	0,037	37,937	24,368	0,051	28,03	24,368	0,037
Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008)			Modelo EUROCODE 4		
	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E
RC1	55,876	71,7	0,779	75,626	71,7	1,055	55,876	71,7	0,779
RC2	90,496	102,6	0,882	122,481	102,6	1,194	90,496	102,6	0,882
RC3	89,093	101,6	0,877	120,582	101,6	1,187	89,093	101,6	0,877
RC4	87,918	100,1	0,878	118,992	100,1	1,189	87,918	100,1	0,878
RC5	136,015	133,22	1,021	184,089	133,22	1,382	136,015	133,22	1,021
RC6	105,004	120,8	0,869	142,117	120,8	1,176	105,004	120,8	0,869
RC7	167,128	124,3	1,345	226,198	124,3	1,82	167,128	124,3	1,345
MÉDIA	104,504	107,76	0,95	141,441	107,76	1,286	104,504	107,76	0,95
DESVIO	36,488	20,475	0,188	49,385	20,475	0,254	36,488	20,475	0,188

Tabela 5 SÉRIE 5 por Lam *et. al*(2005)

Modelo	Modelo LAM			Modelo NBR 8800 (2008)			Modelo EUROCODE 4		
	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E	Fór. F	Exp. E	F/E
SP1	135,811	130,4	1,041	183,814	130,4	1,41	135,811	130,4	1,041
SP2	68,31	71,6	0,954	92,453	71,6	1,291	68,31	71,6	0,954
SP3	92,587	93	0,996	125,312	93	1,347	92,587	93	0,996
SP4	103,934	102	1,019	140,67	102	1,379	103,934	102	1,019
MÉDIA	100,161	99,25	1,003	135,562	99,25	1,357	100,161	99,25	1,003
DESVIO	28,03	24,368	0,037	37,937	24,368	0,051	28,03	24,368	0,037

Tabela 6 Resultados e comparações dos artigos

ARTIGO		Modelo LAM	Modelo NBR 8800 (2008)	Modelo EUROCODE 4
Série 1 - Tanaka and Murakoshi 2011	<i>Média (F/E)</i>	2,06	2,79	2,06
	<i>Desvio</i>	0,92	1,21	0,92
Série 2 - Lam 2006	<i>Média (F/E)</i>	0,98	1,33	0,98
	<i>Desvio</i>	0,2	0,27	0,2
Série 3 - Sales 2014	<i>Média (F/E)</i>	0,5	1,14	1,32
	<i>Desvio</i>	0,09	0,26	0,31
Série 4 - Xue et.al. 2008	<i>Média (F/E)</i>	0,46	0,63	0,46
	<i>Desvio</i>	0,09	0,12	0,09
Série 5 - Lamet .al. 2005	<i>Média (F/E)</i>	1	1,36	1
	<i>Desvio</i>	0,04	0,05	0,04

Série 6 - Lam 2007	<i>Média (F/E)</i>	0,34	1,29	0,95
	<i>Desvio</i>	0,35	0,25	0,19
<i>Média (média)</i>		0,89	1,42	1,13
<i>Desvio (média)</i>		0,46	0,46	0,37

Tabela 7 Resultados e comparações dos artigos com os resultados da Série S de Tanaka (2011)

ARTIGO		Modelo LAM	Modelo NBR 8800 (2008)	Modelo EUROCODE 4
Série 1 - Tanaka and Murakoshi 2011	<i>Média (F/E)</i>	0,98	1,33	0,98
	<i>Desvio</i>	0,16	0,19	0,18
Série 2 - Lam 2006	<i>Média (F/E)</i>	0,98	1,33	0,98
	<i>Desvio</i>	0,2	0,27	0,2
Série 3 - Sales 2014	<i>Média (F/E)</i>	0,5	1,14	1,32
	<i>Desvio</i>	0,09	0,26	0,31
Série 4 - Xue et al. 2008	<i>Média (F/E)</i>	0,46	0,63	0,46
	<i>Desvio</i>	0,09	0,12	0,09
Série 5 - Lamet et al. 2005	<i>Média (F/E)</i>	1	1,36	1
	<i>Desvio</i>	0,04	0,05	0,04
Série 6 - Lam 2007	<i>Média (F/E)</i>	0,34	1,29	0,95
	<i>Desvio</i>	0,35	0,25	0,19
<i>Média (média)</i>		0,71	1,18	0,95
<i>Desvio (média)</i>		0,28	0,2	0,17