
ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO DE VIGAS MISTAS DE AÇO-CONCRETO COM STUD BOLT E CONECTOR TRELIÇADO

COMPARATIVE STUDY OF THE COSTS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS WITH STUD BOLT AND TRUSS TYPE CONNECTOR

Maria Aurilene Rocha ¹

Jerfson Moura Lima ¹

Múcio Bonifácio Guimarães Filho ²

Eric Mateus Fernandes Bezerra ²

Ramon Saleno Yure Rubim Costa Silva ²

Luciano Mendes Bezerra ²

Resumo: As vigas mistas de aço-concreto são elementos estruturais constituídos por uma laje de concreto armado conectada a um perfil de aço. A ligação entre esses dois elementos é feita por conectores de cisalhamento. Muitas pesquisas buscam desenvolver conectores alternativos ao *stud bolt* que possuam baixo custo e que garantam um bom desempenho estrutural. Entre eles, pode-se destacar o conector treliçado. O presente trabalho tem como objetivo realizar a comparação entre os custos da aplicação dos conectores *stud bolt* e treliçado em vigas mistas. Foram utilizadas as formulações presentes na NBR 8800:2008 e no trabalho de Lima (2021) para dimensionar as vigas. Por fim, foi elaborada a composição de insumos de cada conector e, portanto, determinado o custo unitário de ambos. Foi verificado que o custo unitário do conector treliçado foi aproximadamente 46% inferior quando comparado ao *stud bolt*. Ademais, o custo final dos conectores treliçados para a estrutura foi aproximadamente 51% inferior em relação ao *stud bolt*, representando uma notável vantagem econômica.

Palavras-chaves: Estruturas mistas, conector de cisalhamento, conector alternativo.

Abstract: Steel-concrete composite beams are structural elements consisting of a reinforced concrete slab connected to a steel profile. The connection between these two elements is made using shear connectors. Much research has developed alternative connectors to the *stud bolt* that are low cost and guarantee good structural performance. Among them, the Truss-Type connector can be highlighted. The present work aims to compare the costs of applying *stud bolt* and Truss-Type connectors to composite beams. The formulations present in NBR 8800:2008 and in the study of Lima (2021) were used. Finally, the composition of inputs for each connector was prepared and, therefore, the unit cost of both was determined. It was found that the unit cost of the lattice connector was approximately 46% lower when compared to the *stud bolt*. Furthermore, the final cost of the lattice connectors for the structure was approximately 51% lower than *stud bolts*, representing a notable economic advantage.

Keywords: Composite structures, shear connector, alternative connector.

¹Universidade Federal do Ceará, Campus Russas – Brasil, email: aurilenerocha@alu.ufc.br, jerfson.lima@ufc.br

²Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro – Brasil, email: mucioBonifacio33@gmail.com, eric_mateusjes@hotmail.com, ramon.silva@unb.br, lmbz@unb.br

1 Introdução

Devido à crescente exigência de qualidade e produtividade do mercado da construção civil para fazer frente aos novos desafios da área, novas soluções de engenharia são continuamente desenvolvidas e implementadas. Nesse contexto, as estruturas mistas foram concebidas para melhorar o emprego de dois dos principais materiais estruturais empregados na construção civil: o aço e o concreto.

Com intuito de explorar as principais características dos dois materiais (tanto em termos mecânicos como construtivos), os elementos estruturais são associados de tal modo que o concreto seja o principal responsável por absorver os esforços de compressão e o aço os esforços de tração. No entanto, pelas restrições impostas pelos carregamentos e pela geometria das peças, essa situação ideal dificilmente é encontrada na prática, de forma que o bom dimensionamento se constitui um importante passo de projeto para que a solução final se aproxime, o máximo possível, da utilização eficiente e econômica dos materiais.

As vigas mistas de aço-concreto são compostas pela associação de um perfil de aço simétrico em relação ao seu plano de flexão no qual se apoia uma laje de concreto. Para viabilizar a ação conjunta desses elementos, empregam-se os denominados conectores de cisalhamento, que são responsáveis por restringir o deslizamento longitudinal (*slip*) e a separação transversal (*uplift*) entre os elementos. Do ponto de vista mecânico, as vigas mistas de aço-concreto apresentam desempenho superior às equivalentes de aço ou concreto armado (LIMA et al., 2020).

Nas últimas décadas, diversos tipos de conectores de cisalhamento foram desenvolvidos. Entretanto, apenas dois deles são normatizados no Brasil: o conector *stud bolt* e o conector de perfil U. O primeiro é o mais utilizado nas estruturas mistas de aço-concreto (BONILLA et al., 2019), principalmente pela alta produtividade na sua instalação e soldagem rápida (KIM et al., 2016). Ressalta-se, porém, que a soldagem do *stud bolt* é feita por máquina específica que requer o uso de geradores de alta potência (BEZERRA et al., 2018). Somando isso à baixa resistência à fadiga e a suas propriedades geométricas que induz baixa inércia, o seu uso em estruturas mistas tem sido limitado (TABET-DERRAZ et al., 2021).

Dentre os conectores alternativos desenvolvidos nos últimos anos, merece destaque o conector treliçado. Apresentado em Barbosa (2016), esse conector é produzido a partir da dobra de vergalhões de aço CA-50 em formato triangular – que pode ser isóscele ou reto, conforme Figura 1. Em seguida, são ligados à mesa superior do perfil por solda comum. Segundo Lima (2021), esse conector apresenta diversas vantagens em relação ao *stud bolt*, tais como baixo custo da matéria-prima, alta capacidade resistente, facilidade de fabricação e independência de equipamentos específicos para instalação.



a) Conector Treliçado Isósceles



b) Conector Treliçado Reto

Figura 1. Tipos de conectores treliçados

Fonte: Barbosa (2016)

Em que pese o fato de serem intuitivamente mais econômicos que os conectores *stud bolt*, dadas as características mencionadas anteriormente, não existem estudos comparativos de custos que corroborem essa conclusão. Cumpre mencionar, ainda, que o principal empecilho para a utilização mais recorrente das estruturas mistas de aço-concreto são os custos, sendo importante o estudo de opções para a diminuição dos encargos e, assim, aumento da viabilidade dessas estruturas.

Diante do exposto, este trabalho possui, como objetivo principal, realizar, a partir do dimensionamento de uma estrutura fictícia composta por vigas mistas de aço-concreto, uma comparação de custos entre o conector *stud bolt* e o conector treliçado. Marginalmente, também será procedida a comparação entre a quantidade necessária de cada um desses conectores, a proposição de uma composição de custos unitária para ambos e, conseqüentemente, a proposição de custos unitários.

2 Objeto de estudo

Esse estudo comparativo será aplicado em uma adaptação da estrutura proposta por Carini (2014), ilustrada na Figura 2, sendo aproveitada a mesma concepção estrutural. Trata-se de uma área para uso comercial, cujo carregamento incidente foi dividido em permanente e acidental. O carregamento permanente foi composto pelas seguintes parcelas: 1) 1,20 kN/m² referente à camada de regularização e assentamento de piso (5 cm de espessura); 2) 0,56 kN/m² do revestimento em granito (2 cm de espessura); 3) 0,25 kN/m² do forro em gesso (2 cm de espessura); 4) 2,40 kN/m devido às paredes de vedação da fachada (altura de 3,30 m). Já a carga acidental foi tomada como 5,0 kN/m², já considerando 1,0 kN/m² das divisórias. Pela combinação de cargas para o estado limite último, a carga permanente foi majorada por 1,4 e a carga acidental foi majorada por 1,5. Considerou-se, ainda, concreto com resistência característica à compressão de 30 MPa. A análise estrutural foi feita com auxílio do *software* Ftool.

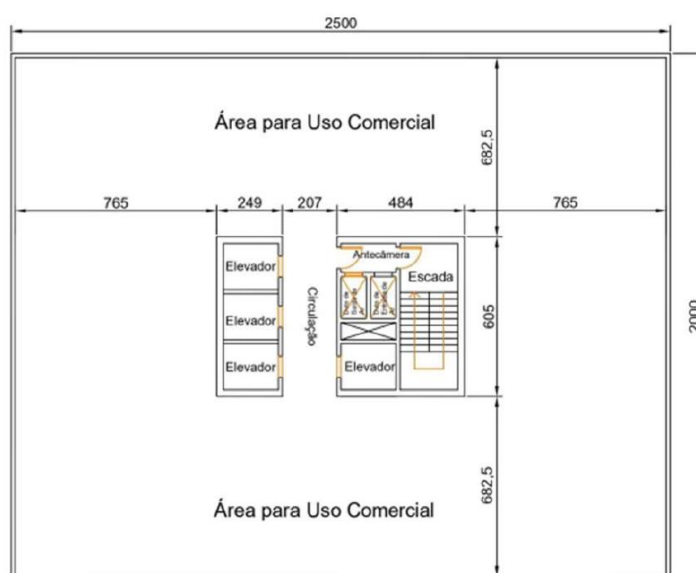


Figura 2. Planta da edificação em estudo

Fonte: Carini (2014)

Conforme indicado na Figura 3, as vigas foram divididas em grupos de acordo com o vão; vigas que vencem vãos idênticos foram classificadas no mesmo grupo. O perfil pré-selecionado para as vigas variou de acordo com o vão, sendo adotado, para todos os casos, o

aço ASTM A572 – Grau 50, cuja resistência de escoamento (f_y) é igual a 345 MPa e cuja resistência última (f_u) é igual a 450 MPa. A Tabela 1 apresenta um resumo das informações dos perfis utilizados.

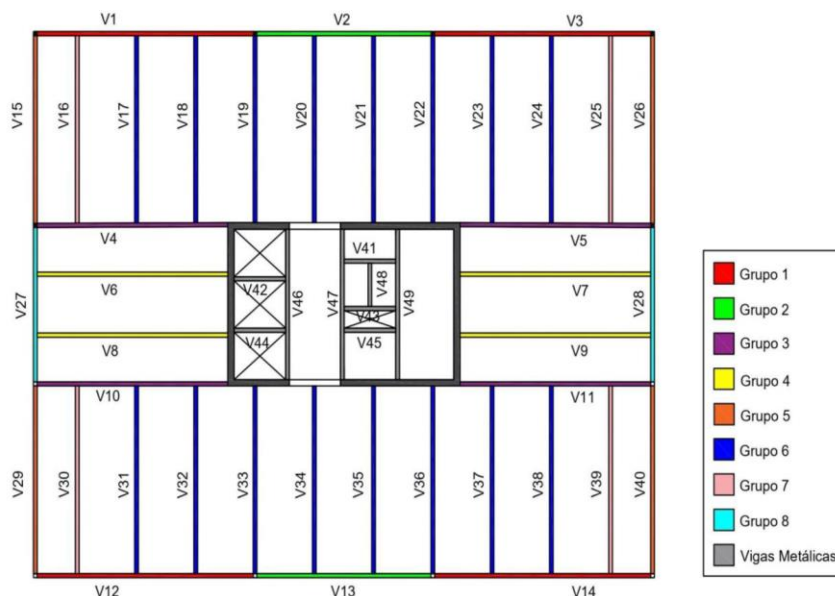


Figura 3. Planta da edificação em estudo

Fonte: Carini (2014)

Tabela 1 – Resumo das vigas e perfis escolhidos

Grupos	Vigas	Vão (cm)	Perfil
1	V1; V3; V12; V14	890	W410 x 53
2	V2; V13	720	W360 x 39
3	V4; V5; V10; V11	785	W410 x 53
4	V6; V7; V8; V9	707,5	W310 x 23,8
5	V15; V26; V29; V40	707,5	W310 x 23,8
6	V17; V18; V19; V20; V21; V22; V23; V24; V31; V32; V33; V34; V35; V36; V37; V38	707,5	W310 x 23,8
7	V16; V25; V30; V39	707,5	W310 x 23,8
8	V27; V28	585	W360 x 39

Fonte: Autoria própria (2024)

Por fim, cumpre detalhar as características dos conectores utilizados. No caso do *stud bolt*, foi utilizado o modelo cujo diâmetro (d_{cs}) corresponde a 19 mm e cuja altura (h_{cs}) corresponde a 80 mm. Para o conector treliçado, foi utilizado o modelo isóscele, com altura de 90 mm, diâmetro de 12,5 mm e ângulo de abertura das hastes 80° – que, de acordo com Lima et al. (2020), confere maior resistência à peça – e geometria detalhada na Figura 4.

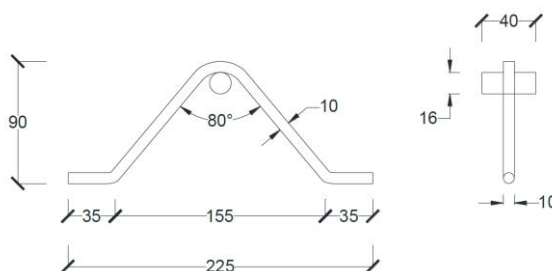


Figura 4. Geometria do conector treliçado

Fonte: Lima (2021)

3 Resultados e discussões

No dimensionamento das vigas mistas, foram analisados, primeiramente, o número de conectores utilizados e, em seguida, o detalhamento, de modo a permitir a visualização da distribuição desses elementos. Para o dimensionamento à flexão, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 2. Alguns grupos de vigas foram dimensionadas com interação total, outras com interação parcial. A consideração inicial era de interação total para todas as vigas. Contudo, por questões de atendimento ao espaçamento mínimo, na fase de detalhamento, foi necessário considerar interação parcial para alguns grupos. Além disso, foram definidas as resistências dos conectores a partir de formulações encontradas na literatura. O resultado, que apresenta maior resistência dos conectores de cisalhamento em relação aos conectores stud bolt, é compatível com os resultados encontrados por Lima (2021).

Tabela 2 – Momento solicitante (M_{Sd}), grau de interação e momento resistente (M_{Rd}) das vigas

Grupos	M_{Sd} (kNm)	Grau de interação	M_{Rd} (kNm)
1	564,2	0,56 (Parcial)	565,8
2	338,1	0,7 (Parcial)	397,21
3	548,7	0,6 (Parcial)	594,9
4	239,88	1 (Total)	270,04
5	104,2	1 (Total)	253,38
6	230,55	1 (Total)	267,25
7	197,23	1 (Total)	271,79
8	236,7	0,55 (Parcial)	371,93

Fonte: Autoria própria (2024)

As resistências do conector *stud bolt* (Q_{Rd}) e do conector treliçado (Q_{CT}), obtidas segundo as formulações presentes em Lima et al. (2020), foram de, respectivamente, 94,13 kN e 103,49 kN. O valor da resistência do conector treliçado é superior em comparação com a resistência do conector *stud bolt* (cerca de 10%), o que está em conformidade com os resultados obtidos pelos ensaios experimentais realizados por Barbosa (2016) e Lima (2021).

De posse das informações sobre a resistência e o grau de interação dos conectores, foi possível determinar as quantidades necessárias para cada uma das vigas. Esse resultado é ilustrado pela Figura 5. Comprova-se, assim, que, para o caso em análise, a quantidade de conectores treliçados (total de 840) é aproximadamente 9% inferior à quantidade de conectores *stud bolt* (total de 920).

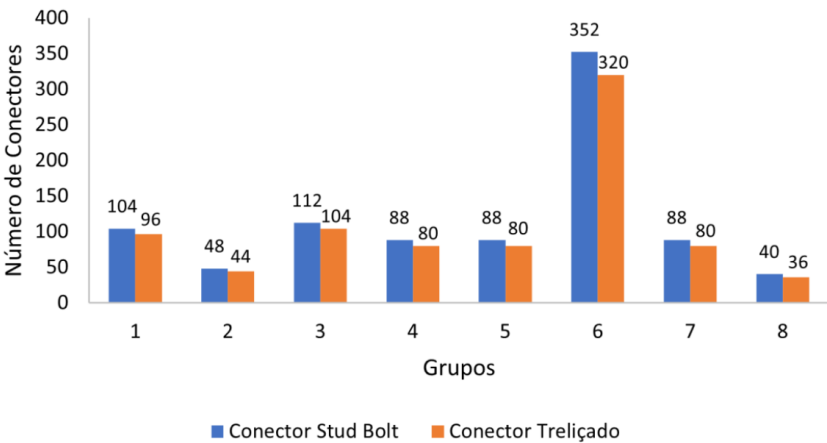


Figura 5. Quantidade de conectores por grupo

Fonte: Autoria própria (2024)

As vigas ainda foram verificadas quanto ao esforço cortante e ao estado limite de deslocamento excessivo (Tabela 3). Em ambas as verificações os resultados foram positivos, indicando resistência maior que a solicitação (no caso do esforço cortante) e flechas máximas menores do que as admissíveis (no caso do estado limite de serviço).

Tabela 3 – Força cortante solicitante (V_{sd}), força cortante resistente (V_{Rd}), deslocamento máximo (δ_{max}) e deslocamento admissível (δ_{adm}) para os grupos

Grupos	V_{sd} (kN)	V_{Rd} (kN)	δ_{max} (cm)	δ_{adm} (cm)
1	204,6	537,73	2,54	0,84
2	144,4	406,1	2,06	0,56
3	256,8	537,73	2,24	0,41
4	122,23	307,71	2,24	1,09
5	58,81	307,71	2,02	0,87
6	130,35	307,71	2,02	0,73
7	111,51	307,71	2,02	0,67
8	133,7	406,1	1,67	0,28

Fonte: Autoria própria (2024)

Para a consolidação da composição de custos unitária, foram utilizados, quando disponíveis, os dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). A Figura 6 apresenta a composição detalhada dos insumos do conector *stud bolt*.

Fonte	Código	Descrição	Unidade	Coeficiente	Preço	Quantidade	Preço Total (R\$)
						1	
MATERIAIS							
WALS YWA	340000	PINO CONECTOR CISALHAMENTO STUD BOLT - 3/4X3.1/8" (19X80MM)	UN	1	5,017	1	5,017
WALS YWA	340010	COROA CERÂMICA Φ19(3/4") P/ METAL BASE (MB)	UN	1	0,509	1	0,509
EQUIPAMENTOS							
ALUG ATEC	-	MÁQUINA DE SOLDA ARCO COM PISTOLA DE SOLDAGEM PARA STUD BOLT	H	0,0078	11,31	0,0078	0,088
SINAPI	2705	ENERGIA ELÉTRICA ATÉ 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KWH	0,0078	0,66	0,0078	0,005
MÃO DE OBRA							
PROJE ART	-	SOLDADOR/MONTADOR	H	0,0078	22,3	0,0078	0,174
TOTAL							5,79

Figura 6. Composição do custo unitário do *stud bolt*

Fonte: Autoria própria (2024)

Para a determinação dos coeficientes de equipamentos e mão de obra, foi analisado, pela falta de dados em bases de referência oficiais, a execução da soldagem dos conectores em um vídeo da plataforma YouTube. Essa análise retornou tempo de 38 segundos para o serviço, resultando em coeficiente de 0,0078, considerando que a quantidade de segundos em uma hora é 3.600. Os custos unitários de aluguel da máquina de solda com pistola e de energia elétrica foram obtidos, respectivamente, por cotação de mercado e SINAPI. Por fim, o custo unitário da mão de obra também foi obtido por meio de cotação de mercado, retornando um valor de R\$ 178,45 por dia, correspondente a R\$ 22,30 por hora para uma jornada de 8 horas.

Para a composição de custo unitária referente à instalação de conectores treliçados, a aferição do coeficiente de produtividade foi feita no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília (UnB), através de observação e cronometragem do tempo necessário para soldagem do elemento na viga mista (Figura 7). Foi registrado um tempo de 88 segundos (0,024 horas).



Figura 7. Soldagem do conector treliçado

Fonte: Autoria própria (2024)

Em relação ao aço CA-50 e o serviço de dobra, foi considerado um vergalhão com bitola de 12,5 mm e comprimento de 12 metros, que possui 11,56 kg. Calculou-se, em seguida, o peso por metro de barra, resultando em 0,9633 kg/m. Com essa informação e conhecendo o comprimento de um conector, correspondente a 0,308 m, determinou-se o peso unitário, equivalente a 0,297 kg. A composição consolidada está estruturada na Figura 8

Fonte	Código	Descrição	Unidade	Coeficiente	Preço	Quantidade 1	Preço total (R\$)
MATERIAIS							
SINAPI	43055	AÇO CA-50, 12,5 MM OU 16,0 MM, VERGALHÃO	KG	0,297	8,39	0,297	2,49
SERVIÇOS							
SINAPI	92804	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 12,5 MM. AF_06/2022	KG	0,297	0,08	0,297	0,02
EQUIPAMENTOS							
CASA DO CONST RUTOR	-	MÁQUINA DE SOLDA ELÉTRICA COM ELETRODO REVESTIDO 250A	H	0,024	1,85	0,024	0,04
SINAPI	2705	ENERGIA ELÉTRICA ATÉ 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KWH	0,024	0,66	0,024	0,02
MÃO DE OBRA							
PROJE ART	-	SOLDADOR/MONTADOR	H	0,024	22,3	0,024	0,54
TOTAL							3,11

Figura 8. Composição do custo unitário do conector treliçado

Fonte: Autoria própria (2024)

A partir dos quantitativos e dos custos unitários, foi possível observar que o custo global dos conectores treliçados (R\$ 2613,27) foi 51% menor do que o custo global dos

conectores *stud bolt* (R\$ 5329,57), o que representa uma economia significativa, mesmo tratando-se de uma estrutura de pequeno porte.

4 Conclusões

A partir do dimensionamento de vigas mistas de aço-concreto de uma estrutura referente a um estabelecimento comercial fictício, esse estudo teve, como objetivo, comparar os custos de utilização de conectores *stud bolt* e conectores treliçados, considerando a quantidade necessária desses conectores em cada caso e a respectiva composição de custos unitária.

Para isto, foi necessário proceder com o dimensionamento das peças, utilizando equações normatizadas e da literatura, e dimensionar coeficientes balizadores da composição de custos unitária de cada um dos conectores. Para as composições, foi observada e cronometrada, seja em vídeo, seja em laboratório, a quantidade de tempo necessária para que um profissional soldasse o conector na peça estrutural. Ademais, foi necessário cotar alguns valores que não possuíam embasamento em fontes de custo oficiais.

Os resultados da análise sugerem que a resistência dos conectores de cisalhamento treliçados é maior que a resistência dos *studs bolts*, resultado condizente com os achados em estudos anteriores; e que o custo unitário de se instalar um conector treliçado é da ordem de 46% menor do que o custo unitário de se instalar o *stud bolt*, condizente com as premissas empíricas relativas à facilidade de manuseio e menor preço dos materiais utilizados.

Portanto, este estudo fornece um passo a mais nas investigações sobre a pertinência de se utilizar conectores alternativos em estruturas mistas de aço-concreto, em especial no que diz respeito às vantagens do conector treliçado sobre o principal conector utilizado no mercado atualmente, os *studs bolts*.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BARBOSA, W. C. S. **Estudo de conectores de cisalhamento em barras de aço para vigas mistas de aço-concreto**. 2016. 511 p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília.

BEZERRA, L. M.; BARBOSA, W. C. S.; BONILLA, J.; CAVALCANTE, O. R. O. Truss-type shear connector for composite steel-concrete beams. **Construction and Building Materials**, v. 167, p. 757–767, 2018.

BONILLA, J.; BEZERRA, L. M.; MIRAMBELL, E. Resistance of stud shear connectors in composite beams using profiled steel sheeting. **Engineering Structures**, v. 187, p. 478–489, 2019.

CARINI, M. R. **Estruturas mistas de aço e concreto: Projeto de edifício comercial**.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

KIM, S. H.; KIM, K. S.; PARK, S.; AHN, J. H.; LEE, M. K. Y-type perfobond rib shear connectors subjected to fatigue loading on highway bridges. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 122, p. 445–454, 2016.

LIMA, J. M.; BEZERRA, L. M.; BONILLA, J.; MIRAMBELL, E. Experimental study on full scale steel-concrete composite beams using truss-type shear connectors. **Engineering Structures**, v. 303, p. 117490, 2024.

LIMA, J. M.; BEZERRA, L. M.; BONILLA, J.; SILVA, R. S. Y. R. C.; BARBOSA, W. C. S. Behavior and resistance of truss-type shear connector for composite steel-concrete beams. **Steel and Composite Structures**, v. 36, n. 5, p. 569–586, 2020.

LIMA, J. M. **Estudo experimental e numérico do comportamento de vigas mistas aço-concreto com conector treliçado**. 2021. 194 p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília.

TABET-DERRAZ, M. I; KHELIL, A.; HAMDAOUI, K.; BOUMECHRA, N.; ABDALLAH, M. Experimental and numerical study of an innovative OMEGA-shaped connector for composite beams. **Structures**, v. 32, p. 279-297, 2021.