

Análise numérica-experimental de treliças tubulares planas para coberturas padronizadas para grandes vãos

Numerical and experimental analysis of tubular plane trusses for use in a standardized roof system with long span

Fábio Aurélio Samarra

Msc., FEC - UNICAMP
fabiosamarra@gmail.com

João Alberto Venegas Requena

Prof. Dr., FEC - UNICAMP
requena@fec.unicamp.br

Newton de Oliveira Pinto Júnior

Prof. Dr., FEC - UNICAMP
pjunior@fec.unicamp.br

Resumo

O objetivo desse trabalho foi desenvolver um sistema de cobertura metálica padronizado e modular, utilizando perfis tubulares laminados sem costura. Esse sistema se destina, principalmente, a coberturas de supermercados, shoppings etc., que necessitam de grandes áreas livres. Para se avaliar o comportamento estrutural desse sistema, foi construído, de maneira inédita no Brasil, um protótipo de 900 m², para testar o sistema construtivo idealizado e realizar ensaios com os carregamentos reais, nesse tipo de estrutura. Avaliando-se, então, o comportamento global da estrutura, com base em todos os resultados numéricos e experimentais obtidos, confirmou-se o comportamento previsto, no cálculo computacional, com o protótipo ensaiado.

Palavras-chave: Estruturas metálicas, estruturas de aço, sistemas tubulares, perfis tubulares, sistemas de cobertura, estruturas padronizadas, projetos estruturais, ensaios experimentais.

Abstract

The purpose of this study is the comparison between experimental and numerical data of a roof system made of tubular steel sections. Such roof system is applied mainly for supermarkets, large stores and industries. To evaluate the structural behavior of this system, a 900m² prototype was built, - an unprecedented opportunity in Brazil to accomplish experimental tests with usual loads for this type of structure. Evaluating the behavior of the entire structure, with all the results obtained on experimental tests and numerical analysis, it was concluded that the prototype is in general accordance with the designed model in terms of stresses and displacement.

Keywords: Steel structures, tubular steel structures, roof systems, standardized structures, structural design, experimental analyses.

1. Introdução

Observa-se uma tendência do mercado nacional relacionada à utilização de sistemas de cobertura pré-fabricados, em substituição às estruturas tradicionais. Tal fato se dá em função de aquele sistema propiciar uma maior velocidade de

projeto, assim como de fabricação e de montagem.

De maneira inédita no Brasil, uma estrutura protótipo do sistema de cobertura foi desenvolvida, sendo executada e ensaiada com os carregamentos reais,

como mostrado em Samarra (2007). A partir das deformações e deslocamentos obtidos e de um vasto estudo do comportamento estrutural, foi possível confirmar o resultado previsto pelo cálculo estrutural.

2. Desenvolvimento do sistema de cobertura padronizado

A V&M do Brasil, no intuito de desenvolver a utilização da estrutura metálica tubular no país, incentivou a pesquisa fornecendo os materiais para a execução do protótipo, principalmente os tubos laminados a quente sem costura.

O sistema proposto é constituído pela estrutura principal, composta por vigas treliçadas, e pela estrutura secundária,

composta por terças treliçadas, ilustradas na Figura 1(A). Além disso, fazem parte do sistema de cobertura as colunetas de ligação das vigas principais com a coluna da edificação, sistema de contraventamento da cobertura e linhas de corrente para travamento dos banzos das terças, como mostra a Figura 1(B).

A idéia inicial foi criar uma modu-

lação que permitisse variar suas dimensões, atendendo a uma vasta gama de vãos e permitindo, assim, uma grande flexibilidade do sistema. Todas as ligações executadas são ligações parafusadas, as quais propiciam maior facilidade na montagem da estrutura.

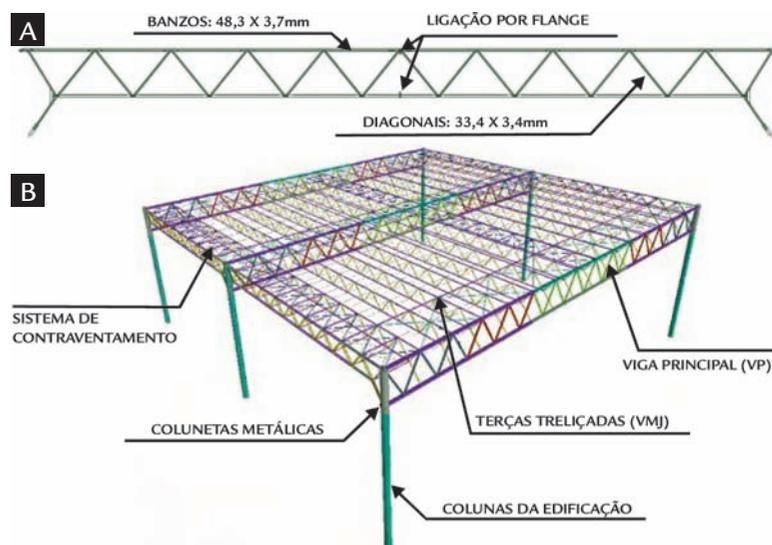


Figura 1
(A) Terça treliçada
(B) elementos do sistema de cobertura proposto em perfil tubular.

3. Projeto do protótipo

O protótipo construído em escala real possui dimensões em planta de 30,0 x 30,0m. As vigas principais são treliças planas com 30,0 metros de comprimento total, com 1,8 metros de altura e nós espaçados a cada 2,0 metros. As terças são treliças planas, com 15,0 m de comprimento total, com 0,9 metros de altura e de nós espaçados a cada 1,5 metros. A Figura 2 mostra a estrutura montada.

O protótipo foi dimensionado de acordo com as prescrições das normas NBR 8800:1986, NBR 6123:1988 e NBR 6120:1980, sendo as ligações tubulares dimensionadas conforme CIDECT (1991) e Rautaruukki (1998). Destaca-se que o dimensionamento foi feito pela norma NBR 8800:1986, pois o trabalho foi realizado em 2006 e somente em 2008 a NBR 8800:2008 foi publicada.

Considerando que a curva A da NBR 8800:1986 é muito próxima à curva única da NBR 8800:2008, os resultados do dimensionamento da estrutura podem ser considerados satisfatórios para os dias atuais.

Para a realização dos ensaios, a estrutura do protótipo foi construída mais próxima ao solo, apoiando-se sobre colunas metálicas tubulares auxiliares.



Figura 2
Estrutura completamente montada.

4. Análise experimental

O estudo experimental realizado consiste em analisar as tensões nominais e os deslocamentos que ocorrem nos banzos e nas diagonais mais solicitados das vigas principais e das terças treliçadas do sistema de cobertura, quando tais vigas e treliças são solicitadas pelo carregamento

permanente, sobrecarga e ação do vento.

O carregamento da estrutura foi realizado em fases, aumentando-se, gradualmente, a carga aplicada, conforme Tabela 1. Durante o carregamento as deformações foram lidas após o término de cada fase. Os deslocamentos foram lidos

ao término das fases III e fase V, por esse motivo essas fases receberam o índice 1 e 2, indicando que foi realizada a leitura dos extensômetros antes e depois da leitura dos deslocamentos.

Tabela 1

Fases de carregamento da estrutura.

Fase de carregamento	Carga aplicada (%)	Carga total aplicada (kN)
I	14	54,462
II	33	133,967
III-1 / III-2	53	213,471
IV	73	292,976
V-1 / V-2	100	403,077

Para a instrumentação da estrutura, foram utilizados extensômetros elétricos uniaxiais do tipo *foil gage*, sistema automático de aquisição de dados e nível eletrônico de alta precisão.

A aplicação das cargas, na estrutura, para simular a ação dos carregamentos, foi feita por um sistema de transporte chamado Big Bags, que são sacos fabricados de rafia, preenchidos com brita, com quantidade tal que simule a carga atuante em cada nó. Foram realizadas duas

etapas de ensaio, as quais estão apresentadas a seguir.

- **Primeira etapa de ensaio:** a estrutura foi solicitada ao carregamento permanente e sobrecarga. Os Big Bags, devidamente carregados, pesados e identificados, foram posicionados sob os nós da estrutura. A Figura 3 mostra a estrutura pronta para ser carregada. Ao término de cada fase de car-

regamento, foram realizadas leituras das deformações e dos deslocamentos. Além disso, foram realizadas leituras dos deslocamentos após o descarregamento da estrutura, para verificar se houve alguma deformação plástica, o que não ocorreu.

A Figura 4 mostra a estrutura totalmente carregada e o deslocamento da viga principal central com a estrutura totalmente carregada.

Figura 3

Estrutura pronta para ser carregada.



Figura 4

Foto da estrutura totalmente carregada e aquisição dos deslocamentos.



- **Segunda etapa de ensaio:** foi considerada a hipótese de a estrutura estar apenas com as telhas montadas e ocorrer o vento de sucção. Ressalta-se que, para essa simulação, encontrou-se dificuldade para aplicação do carregamento de vento de sucção, tendo em vista que essa hipótese tem uma resultante de força para cima. Surgiu, então, a

ideia de montar a estrutura de forma invertida, permitindo-se utilizar o mesmo sistema de aplicação de cargas da primeira etapa de ensaio. Entretanto, nessa situação, o peso próprio estaria oposto ao que ocorre na realidade. Para compensar esse efeito, foram deduzidas duas vezes o peso próprio da estrutura da carga de vento total a ser aplicada.

Algumas adaptações foram feitas, para se permitir a montagem da estrutura de forma invertida.

Foi dimensionada uma peça de transição, soldada no topo da coluneta, e, após a inversão da estrutura, a referida peça foi parafusada na chapa de topo da coluna auxiliar.

5. Modelos computacionais

Para se identificar qual esquema estático mais se aproxima do real e se compreenderem as diferenças existentes entre a simulação numérica e o modelo real, diversos modelos numéricos foram gerados no programa SAP2000, confor-

me mostrado em Samarra (2007), levando em conta a rigidez das ligações da viga principal com a coluneta, ligação da terça com a viga principal e ligação da coluneta com a coluna auxiliar. Tais ligações foram consideradas, ora como rígidas

(engastadas), ora como flexíveis (articuladas). Foram, também, comparados os resultados numéricos com os experimentais. Todas as excentricidades de ligações foram consideradas. A Figura 5 ilustra as ligações consideradas.

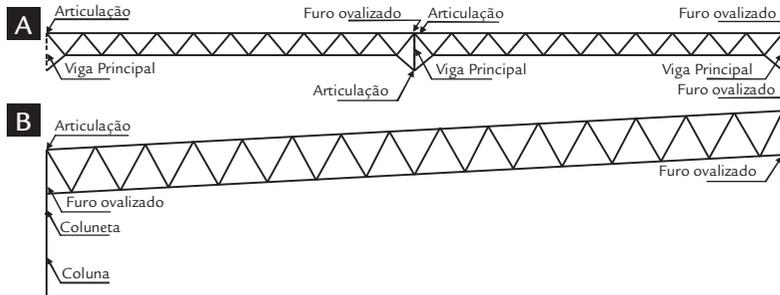


Figura 5
Ligações consideradas (A) das terças treliçadas (B) da viga principal.

6. Comparação dos resultados para a primeira etapa de ensaio

Observou-se que o modelo computacional, considerando o nó superior da viga principal engastada na coluneta, terça treliçada com furo ovalizado e a co-

luneta engastada na coluna, é o modelo que mais se aproximou dos resultados do ensaio. Nesse modelo computacional, a ligação entre o nó superior da viga prin-

cipal e a coluneta é considerada como uma ligação rígida, fato que pode ser associado à geometria dessa ligação, como mostra a Figura 6.



Figura 6
Detalhe da ligação da viga principal com a coluneta.

Comparação do ensaio com o modelo numérico

Um total de 15 extensômetros foram instalados nas posições de esforços

máximos atuantes na estrutura, a partir do estudo do modelo computacional. A

Figura 7 ilustra o posicionamento dos extensômetros na viga principal.

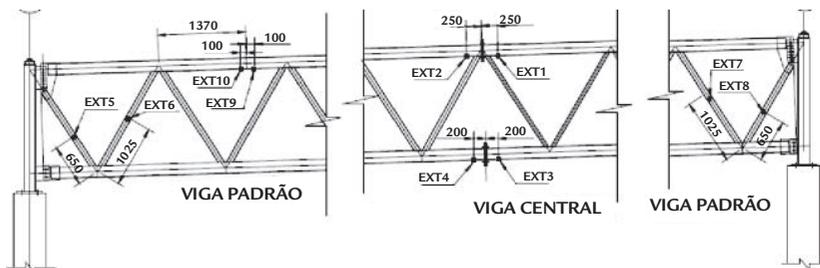


Figura 7
Posicionamento dos extensômetros na viga principal.

Tem-se, na Tabela 2, a comparação do modelo numérico com o ensaio V-2 (a última etapa do ensaio, com a estrutura totalmente carregada). A mesma figura mostra o resumo das diferenças médias obtidas no estudo. Todas as fases foram comparadas.

Pode-se notar que os extensômetros E2 e E4, localizados nos banzos da viga

principal, apresentaram as maiores diferenças entre o numérico e o experimental. Esse fato tornou indispensável uma análise mais criteriosa nessa região. Devido à ligação por flange, as terças treliçadas não coincidem com o nó da viga principal, nessa região, apresentando uma excentricidade, como pode ser observado na Figura 8. Isso provoca um acréscimo

de tensão nos extensômetros E2 e E4, gerando a diferença de tensões entre os extensômetros anteriormente citados.

O extensômetro E8 apresentou uma diferença de 8,54%, ou seja, 3,09 MPa menor que o modelo numérico. Essa diferença está associada à rigidez da ligação entre a viga principal e a coluneta, ligação esta considerada, no modelo

Extens.	Local	Ensaio σ (MPa)	Modelo σ (MPa)	Diferença (MPa)	Diferença (%)	Diferença Média (%)	Dif. Média Total (%)
E1	B/VP	-95,88	-97,70	-1,82	1,90	5,125	4,23
E2	B/VP	-130,75	-118,00	12,75	9,75		
E3	B/VP	84,88	88,64	-3,76	4,43		
E4	B/VP	98,67	107,82	-9,15	9,27		
E9	B/VP	-35,41	-37,02	-1,61	4,55		
E10	B/VP	-20,88	-20,45	0,43	2,06		
E5	D/VP	45,75	47,56	-1,81	3,96		
E6	D/VP	-56,78	-58,84	-2,06	3,63		
E7	D/VP	-72,25	-69,72	2,53	3,50		
E8	D/VP	36,20	39,29	-3,09	8,54		
E11	B/VMJ	44,94	43,63	1,31	2,91	3,32	
E12	B/VMJ	38,38	41,64	-3,26	8,49		
E13	B/VMJ	-45,58	-43,61	1,97	4,32		
E14	B/VMJ	-60,40	-58,68	1,72	2,85		
E15	D/VMJ	-29,55	-28,96	0,59	2,00		

Tabela 2
 Comparação do modelo computacional com os resultados do ensaio e resumo da comparação das diferenças médias das tensões atuantes - primeira etapa de ensaio.

Onde: B/VP: banzos da viga principal; D/VP: diagonais da viga principal; B/VMJ: banzos da terça treliçada; D/VMJ: diagonal da terça treliçada.

numérico, como rígida. O mesmo comportamento se observa no extensômetro E12, localizado na ligação por flange da terça treliçada, onde, no modelo numérico, essa ligação também foi considerada como rígida.

Entretanto, avaliando-se o comportamento global da estrutura, os demais extensômetros apresentam resultado muito satisfatórios.

O gráfico da Figura 9 mostra um exemplo de comparação das tensões entre o modelo numérico e o ensaio para a

fase V-2. Para auxiliar na avaliação dos resultados obtidos, foi gerado o gráfico das diferenças médias, também mostrado na Figura 9. Esse gráfico faz um comparativo das diferenças médias para todas as fases de carregamento, considerando a diferença média da viga principal, diferença média das terças treliçadas (VMJ) e diferença média total.

É possível observar uma diferença média maior nas fases iniciais, decrescendo à medida que se aumenta o carregamento. Esse fato pode ser atribuído ao

fato de as tensões serem baixas nessas fases. Desta forma, qualquer variação, por menor que seja, torna a diferença média mais elevada.

Destaca-se, principalmente na fase V, com a estrutura totalmente carregada, o que corresponde a uma situação normal de utilização, que os resultados foram muito satisfatórios, considerando a complexidade do ensaio, com diferença média total entre o modelo ensaiado e o modelo numérico de 4,23%.

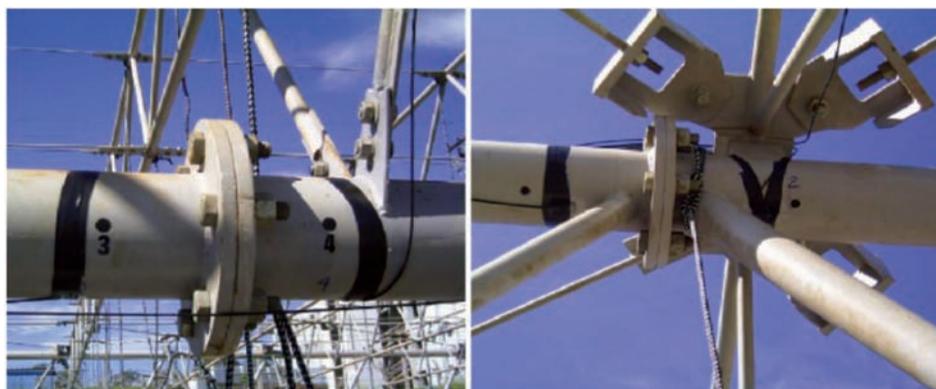


Figura 8
 Excentricidade das ligações das terças na viga principal devido aos flanges.

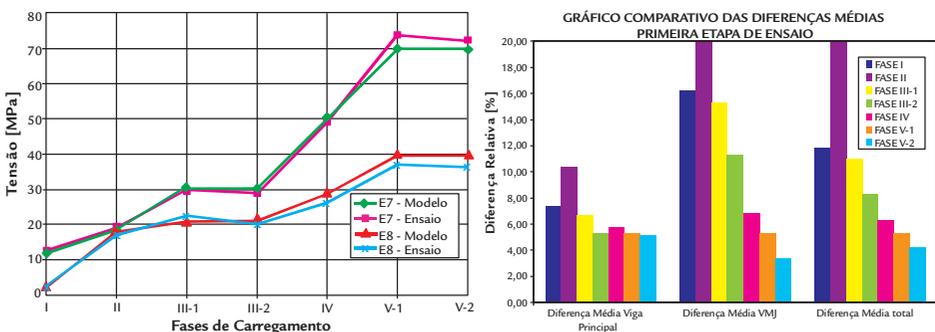


Figura 9
 Primeira etapa de ensaio - comparação das tensões dos extensômetros E7 e E8. Gráfico comparativo das diferenças médias para a segunda etapa de ensaio.

Comparação dos deslocamentos

Todas as estações, para medição de deslocamentos, estão localizadas nos banzos superiores das terças treliçadas, exceto as estações F001, F002 e F003, que se localizam na viga principal central.

A Tabela 3 traz a comparação dos deslocamentos para a fase V-1 de carregamento.

Pode-se notar que a estação 26, localizada na terça da extremidade, foi a que apresentou maior diferença (23,33%). Entretanto esse valor é de apenas 0,7 mm.

Já as estações 296 e 306, localizadas nas terças centrais, apresentaram as maiores diferenças, em valor absoluto.

Esse fato pode estar associado a uma ligeira diferença de rigidez entre a estrutura real e o modelo numérico, fato também observado nas demais estações de leitura. Essa diferença é aceitável, considerando as dimensões da estrutura, em particular da terça treliçada com 15 metros de vão, e a complexidade do ensaio.

Estações	Ensaio(mm)	Modelo (mm)	Diferença (mm)	Diferença(%)	Dif. Médias (%)
16	4,0	4,0	0	0	
26	3,0	3,7	0,7	23,33	
136	43,0	46,1	-3,1	7,21	
146	43,0	46,5	-3,5	8,14	
216	61,0	63,2	-2,2	3,61	
226	61,0	62,6	-1,6	2,62	
282	36,0	36,9	-0,9	2,50	
296	69,0	73,7	-4,7	6,81	
306	69,0	73,6	-4,6	6,67	
320	35,0	36,6	-1,6	4,57	
322	37,0	36,9	0,1	0,27	
336	70,0	73,7	-3,7	5,29	
346	70,0	73,6	-3,6	5,14	
360	35,0	36,6	-1,6	4,57	5,36
416	61,0	63,0	-2,0	3,28	
426	62,0	62,5	0,5	0,81	
496	43,0	45,9	-2,9	6,74	
506	44,0	46,2	-2,2	5,00	
F001	67,0	69,1	-2,1	3,13	
F002	61,0	63,6	-2,6	4,26	3,61
F003	61,0	63,1	-2,1	3,44	
Diferença Média total (%)					5,11

Tabela 3
Comparação dos deslocamentos - Fase V-1 - primeira etapa de ensaio.

7. Comparação dos resultados para a segunda etapa de ensaio

Observa-se que o modelo computacional que considera o nó superior da viga principal engastada na coluneta, a coluneta articulada na coluna auxiliar

e terça treliçada ovalizada, é o modelo que mais se aproximou dos resultados do ensaio. Esse resultado mostra que a chapa de transição utilizada para permitir a

montagem da estrutura de forma invertida não forneceu rigidez suficiente para a ligação, a ponto de torná-la uma ligação engastada, como inicialmente idealizado.

Análise geral dos resultados comparativos das tensões

Tem-se, na Tabela 4, o resumo da comparação do modelo numérico com o ensaio V.

Foi observado, após a estrutura estar totalmente montada, que houve uma falha de montagem em duas terças, justamente as terças instrumentadas. Deve-se levar em consideração toda a complexidade em se montar uma estrutura de forma invertida. Os extensômetros E12 e E15, localizados em uma dessas terças, apresentaram diferenças entre o ensaio e o cálculo, fato associado ao problema de montagem.

O extensômetro 9 localiza-se na região de uma emenda por solda de topo no banzo da viga principal. Esse fato

pode ter provocado uma perturbação localizada nos resultados, ocasionados pelo processo de soldagem.

Observou-se, na leitura das deformações do extensômetro E6, localizado na diagonal da viga principal e próximo ao apoio da estrutura, uma diferença de 31,28%, na última fase de carregamento. Essa diferença ocorreu devido a uma possível falha de instrumentação, pois, observando os dados dos ensaios, notou-se que foi o único extensômetro que apresentou uma queda brusca da leitura de deformação, sendo que os demais mantiveram o comportamento esperado.

É importante destacar que este tipo de comportamento de resultado de en-

saios é observado em muitos trabalhos experimentais, principalmente quando se têm muitos pontos instrumentados e simulações complexas, como, por exemplo, o trabalho de Varella (2004), que apresentou, em determinado ponto instrumentado, uma diferença entre o teórico e o experimental de 16%. Tal diferença se deu em função da grande complexidade da simulação realizada. Já os demais pontos instrumentados apresentaram excelentes resultados.

Desta forma, considerando a complexidade do ensaio e as dimensões da estrutura, principalmente pela estrutura estar montada invertida, os demais extensômetros apresentaram resultados

muito satisfatórios. Têm-se, na Figura 10, os gráficos comparativos.

Destaca-se que, principalmente na

fase V, com a estrutura totalmente carregada, o que corresponde a uma situação normal de utilização, os resultados

foram satisfatórios, com diferença média total entre o modelo ensaiado e o modelo numérico de 6,19%.

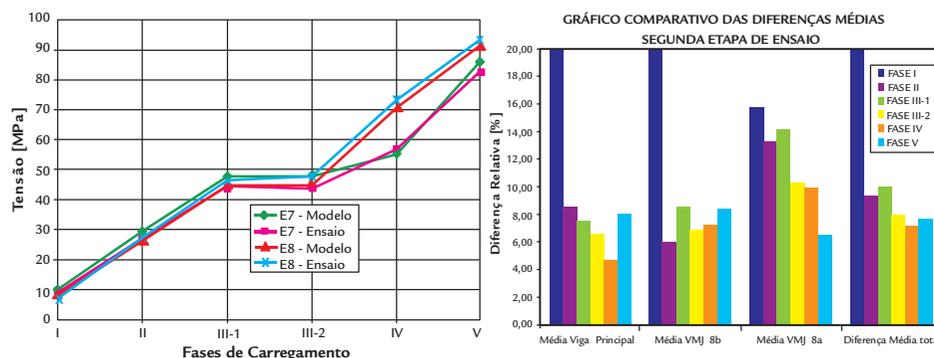
Extens.	Local	Ensaio σ (MPa)	Modelo σ (MPa)	Diferença (MPa)	Diferença (%)	Diferença Média (%)	Dif. Média Total (%)	
E1	B/VP	95,12	97,73	-2,61	2,74	5,04	6,19	
E2	B/VP	109,38	116,89	-7,51	6,87			
E3	B/VP	-107,60	-101,35	6,25	5,81			
E4	B/VP	-129,94	-126,6	3,34	2,57			
E9	B/VP	41,77	46,78	-5,01	12,00			
E10	B/VP	56,02	54,12	1,90	3,40			
E19	B/VP	139,96	130,10	9,85	7,04			
E5	D/VP	-99,17	-102,9	-3,73	3,76			
E6	D/VP	65,05	85,4	-20,35	31,28			
E7	D/VP	82,74	86,35	-3,61	4,36			
E8	D/VP	-93,31	-91,6	1,71	1,83			
E11	B/VMJ 8b	-69,65	-73,45	-3,79	5,45	7,35		6,19
E12	B/VMJ 8b	-94,93	-81,55	13,39	14,10			
E13	B/VMJ 8b	50,20	48,63	1,57	3,13			
E15	D/VMJ 8b	22,42	25,73	-3,31	14,77			
E20	D/VMJ 8b	-18,33	-19,07	-0,75	4,07			
E23	B/VMJ 8a	-56,48	-51,23	5,25	9,30			
E24	B/VMJ 8a	-75,1	-73,09	1,99	2,65			
E26	B/VMJ 8a	43,1	45,42	-2,33	5,40			
E21	D/VMJ 8a	-32,04	-34,29	-2,25	7,02			
E22	D/VMJ 8a	26,62	28,65	-2,03	7,63			

Tabela 4

Comparação das tensões do modelo computacional com os resultados do ensaio e resumo da comparação das diferenças médias - segunda etapa de ensaio.

Onde: B/VP: banzos da viga principal; D/VP: diagonais da viga principal; B/VMJ: banzos da terça treliçada; D/VMJ: diagonal da terça treliçada.

Figura 10
Comparação das tensões dos extensômetros E7 e E8 e gráfico comparativo das diferenças médias para a segunda etapa do ensaio.



Comparação dos deslocamentos

A Tabela 5 traz uma comparação dos deslocamentos.

No caso dos deslocamentos, nas estações 363 e 309, situadas nas terças adjacentes, a terça que apresentou problemas de montagem teve seu resultado

influenciado pelas terças adjacentes, devido ao sistema de contraventamento que une essas peças.

Conclui-se, então, observando os resultados anteriormente apresentados, que a diferença média total entre o mo-

delo ensaiado e o modelo numérico é de 5,08%, ou seja, diferença extremamente satisfatória, considerando a complexidade do ensaio, principalmente devido à estrutura estar montada de forma invertida.

8. Conclusões

Foi desenvolvido um sistema padronizado de cobertura para atender grandes vãos com utilização de perfis tubulares de seção circular, seguindo os critérios estabelecidos pela NBR8800:1986 e as bibliografias internacionais que tratam de perfis tubulares.

Com base no conceito de padronização e pré-fabricação, buscando, também, facilidade de montagem, foram definidos os principais elementos que compõem o sistema de cobertura. A utilização das terças treliçadas planas compostas de perfis tubulares possibilitam

vencer vãos maiores. Por meio das referidas terças e das vigas principais também treliçadas, é possível variar as dimensões da estrutura, buscando-se atender a diversos vãos.

A construção do protótipo do sistema de cobertura desenvolvido, em escala

Estações	Ensaio (mm)	Modelo (mm)	Diferença (mm)	Diferença (%)	Dif. Médias (%)
F001	79,59	81,80	-2,2	2,77	4,44
F002	69,18	72,91	-3,7	5,40	
F003	69,24	72,81	-3,6	5,16	
F489	59,90	62,20	-2,3	3,84	5,73
F363	65,64	72,14	-6,5	9,90	
F195	70,58	67,02	3,6	5,04	
F183	61,56	57,43	4,1	6,71	
F309	78,16	72,25	5,9	7,56	
F477	60,51	63,63	-3,1	5,15	
Diferença Média total (%)					5,08

Tabela 5
Comparação dos deslocamentos - Fase V - segunda etapa do ensaio.

real, e os ensaios executados permitiram avaliar o comportamento estrutural do conjunto e possibilitaram um estudo aprofundado dos seus principais componentes.

Com os ensaios e com diversos estudos numéricos, os quais levaram em consideração a rigidez das ligações do sistema de cobertura desenvolvido, foi possível identificar qual modelo computacional mais se aproxima do experimental.

Concluiu-se, também, que as excentricidades devidas às ligações das treliças e aos efeitos do momento-fletor, relacionados com o tipo de ligação soldada dos tubos, são significativas e devem ser consideradas na modelagem computacional, nesse tipo de estrutura.

Foram obtidas diferenças médias de tensões de 4,23%, na primeira etapa, e de 6,19%, na segunda etapa, e diferenças médias de deslocamentos de 5,11%, na primeira etapa, e de 5,08%, na segun-

da etapa, resultados muito bons, considerando-se a complexidade da estrutura e as dificuldades de um ensaio de protótipo em escala real.

Avaliando-se, então, o comportamento global do sistema de cobertura, com base em todos os resultados obtidos e em todas as conclusões apresentadas anteriormente, confirma-se que o comportamento do modelo ensaiado corresponde ao previsto no cálculo computacional.

9. Agradecimentos

À Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp e à V&M do Brasil.

10. Referências bibliográficas

- SAMARRA, F.A. *Estudo numérico-experimental de treliças tubulares planas para coberturas padronizadas para grandes vãos*. Campinas, SP, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 8800:1986 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios*. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 6120:1980 - Cargas para cálculo de estruturas em edificações*. Rio de Janeiro, 1980.
- CIDECT - *Design guide for circular hollow section (CHS) joints under predominantly static loading (1)*. Cologne, Germany, 1991.
- RAUTARUUKKI OYJ, H.V. *Design Handbook for Rautaruukki Structural Hollow Sections*. Hämeenlinna, 1998.
- VARELLA, W.D. *Modelo teórico-experimental para análise de vibrações induzidas por pessoas caminhando sobre lajes de edifícios*. Rio de Janeiro, 2004.

Artigo recebido em 04 de setembro de 2011. Aprovado em 20 de julho de 2012.