



DESCRIÇÃO DO ENSAIO PARA ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA EM PERFIS STEEL FRAME REVERTIDOS EM CHAPAS E SUBMETIDOS À TRAÇÃO

Renata N. Moreira – renatanm@fumec.br

Victória Marcatti – victoriamarcatti@gmail.com

Bernardo M. S. Melo – bernardodematossilvamelom@gmail.com

Ênio José Machado – eniomachado@hotmail.com

Tânia G. Braz – thaniagomes13@gmail.com

Universidade Fumec – Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEA

Rua Cobre, 200

30.310-190 – Belo Horizonte – MG

Resumo: Este documento foi desenvolvido na Universidade FUMEC através do programa de pesquisa da instituição, e apresenta a descrição dos ensaios e metodologias utilizadas para a realização de análise acerca do comportamento mecânico de chapas, fabricadas a partir de perfis de aço Steel Frame, quando submetidas a força de tração. Além dos estudos experimentais, foram realizadas simulações numéricas através do software INSANE (Interactive Structural ANalysis Environment), um sistema computacional de código livre baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF). Este projeto permitiu que os alunos relacionassem os conceitos envolvidos na prática experimental e na análise numérica, propiciando melhor compreensão da teoria, além do melhor entendimento dos processos e ferramentas computacionais atuais e de livre acesso.

Palavras-chave: Steel Frame, Ensaio de Tração, Simulação Numérica

1. INTRODUÇÃO

O uso no aço da construção começou a ser estudado ainda na revolução industrial, onde se iniciou o desenvolvimento de técnicas para a sua fabricação. No entanto, ele só ganhou força após a segunda grande guerra mundial, quando os países arrasados necessitaram reconstruir suas cidades com rapidez, o que os levou ao aço, devido a sua alta produtividade com baixo desperdício.

O sistema construtivo “Light Steel Framing” (LSF), surgiu nos Estados Unidos no século XIX, como uma atualização do Sistema Wood Framing, ambos com a intenção de acompanhar o acelerado crescimento da população, apenas substituindo a madeira pelo aço. O LSF possui uma concepção racional para fabricação e montagem industrializada e em grande escala, onde os perfis formados a frio, em chapa de aço zincado de pequena espessura, são utilizados na composição de painéis de parede, vigas de piso e estruturas de cobertura. (BEVILAQUA, 2005)

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





Um dos tipos de aço estrutural formado a frio é o ZAR 230, que é um aço de alta resistência revestido com 275g/m² de zinco para evitar a corrosão do produto. Este será o aço utilizado nos ensaios de tração do presente trabalho e segundo a NBR 7008, ele apresenta as seguintes características:

- Resistência mínima ao escoamento – 230 MPa
- Resistência mínima de ruptura – 310 MPa
- Alongamento mínimo (Lo = 50mm) – 22%

Com intuito de conhecer melhor as propriedades do perfil e seu comportamento quando submetido a tração, foram realizados ensaios baseados na aplicação de um esforço axial em um corpo de prova, o qual sofreu uma deformação até o seu estado limite. A partir deste ensaio foi possível analisar o comportamento do material diante das cargas solicitantes e inferir as suas propriedades mecânicas.

Além disso, comparou-se os resultados experimentais com os resultados obtidos por meio de uma análise numérica realizada pelo INSANE, programa computacional que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF), propondo o uso de funções aproximadas para a resolução de problemas matemáticos. Segundo Moreira (2006), o INSANE (Interactive Structural ANalysis Environment) é “um sistema computacional para modelos discretos de análise estrutural do método de elementos finitos”, que está sendo constantemente desenvolvido pelo departamento de estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais para aprimorar e facilitar o ensino de MEF.

A realização de um mesmo estudo, em meios distintos e através de práticas diferentes, permite que os resultados sejam avaliados com maior credibilidade, além de proporcionar uma compreensão mais efetiva dos conteúdos teóricos desenvolvidos em diversas disciplinas dos cursos de engenharia.

2. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Os ensaios objetivaram observar o comportamento das chapas de aço, confeccionadas a partir do perfil de Steel Frame (Figura 1) – aço ZAR 230 - quando submetidas à força de tração em uma máquina universal para ensaios mecânicos de 30tf.

Para a realização dos ensaios foram adquiridos 2 tipos de perfis: um do tipo montante, caracterizado pela presença de ranhuras, com espessura de 0,95 milímetros e comprimento de 3 metros; e também um perfil do tipo guia, com superfície lisa, e as mesmas dimensões do montante.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





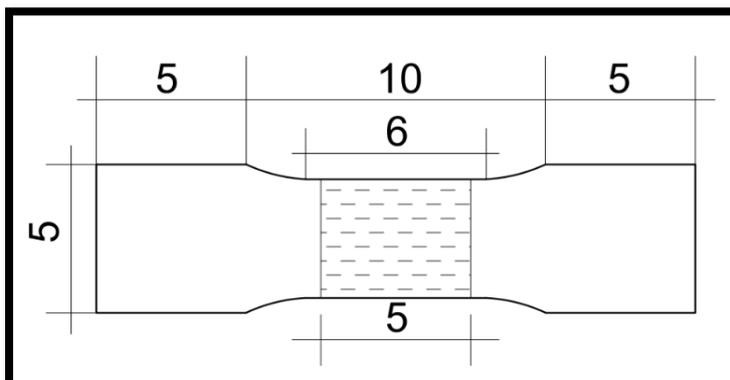
Figura 1 – Perfil Steel Frame – Tipo Montante



2.1. Confeção dos corpos de prova

A primeira etapa, para realização do experimento, foi a confecção do corpo de prova, que foi modelado graficamente em arquivo do programa Autocad (Figura 2) seguindo as dimensões estabelecidas pela norma ASTM A370.

Figura 2 – Corpo de prova para molde.



A norma especifica dois modelos, sendo um com 40cm de comprimento e outro com 20cm, para o estudo em questão foi adotado o de 20cm, para que, com o material que havia disponível fosse possível confeccionar o maior número de corpos de prova. Em posse do molde e dos perfis, os corpos de prova (Figura 3) foram modelados na oficina de metal e madeira da Universidade FUMEC.

O processo de produção dos corpos de prova se deu dentro da intuição de ensino, e foi de importante para que os pesquisadores pudessem acompanhar todo o processo, e se familiarizassem e compreendessem melhor as propriedades físicas do material.

Organização



Promoção





Figura 3 – Corpo de prova pronto.



2.2. Desenvolvimento do ensaio

No Laboratório de Ensaio em Sistemas Construtivos (LESC), da Universidade FUMEC, o ensaio foi efetivamente realizado na máquina específica para realização de ensaios à tração (Figura 4). Nos primeiros ensaios encontrou-se dificuldade na aderência das garras da máquina ao protótipo, uma vez que o corpo de prova estava deslizando no equipamento. Para que fosse possível executar o ensaio, foi necessário realizar ranhuras nas extremidades do corpo de prova, numa região que é desconsiderada para análise de resultados. Tais ranhuras melhoraram o atrito entre o corpo de prova e as garras, impedindo seu deslizamento, e possibilitaram a adequada realização dos experimentos.

Figura 4 – Máquina universal para ensaio de tração.



Organização



Promoção





Os resultados obtidos apresentaram-se dentro da margem esperada, em que as tensões de ruptura variaram de 350MPa a 390 Mpa (valores aproximados).

3. ANÁLISE DE DADOS

Por meio dos resultados obtidos pelos ensaios de tração do aço ZAR 230, foi possível determinar as tensões de ruptura dos corpos de prova, utilizando a fórmula de tensão expressa pela seguinte equação:

$$\sigma = F/A$$

Para comparação dos valores, foi desenvolvida uma tabela contendo os resultados das tensões de ruptura dos protótipos ensaiados, incluindo aqueles que não tiveram um resultado satisfatório devido a alguns problemas no momento da análise experimental.

Tabela 1 – Tensões de Ruptura nos Corpos de Prova Ensaiaados

Ranhura Lateral		Sem Ranhura		Ranhura Central	
CP 2	368,18 MPa	<i>CP 18</i>	<i>67,57 MPa</i>	CP 1	351,19 MPa
CP 3	359,28 MPa	CP 20	324,49 MPa	CP 4	358,47 MPa
CP 5	373,04 MPa	CP 22	352,40 MPa	CP 8	362,11 MPa
CP 9	376,68 MPa	CP 24	331,77 MPa	CP 11	345,12 MPa
CP 10	372,23 MPa	CP 25	318,82 MPa	<i>CP 14</i>	<i>190,56 MPa</i>
<i>CP 12</i>	<i>234,67 MPa</i>	<i>CP 27</i>	<i>303,04 MPa</i>	<i>CP 15</i>	<i>278,77 MPa</i>
<i>CP 13</i>	<i>231,83 MPa</i>	CP 30	332,98 MPa	CP 16	349,17 MPa
CP 19	381,53 MPa	CP 32	328,53 MPa	<i>CP 28</i>	<i>273,10 MPa</i>
CP 26	331,36 MPa	<i>CP 34</i>	<i>338,24 MPa</i>	<i>CP 31</i>	<i>350,38 MPa</i>
CP 29	369,80 MPa	<i>CP 38</i>	<i>248,83 MPa</i>	<i>CP 36</i>	<i>307,90 MPa</i>
CP 33	384,37 MPa	<i>CP 41</i>	<i>271,48 MPa</i>	---	---
CP 35	362,11 MPa	---	---	---	---
<i>CP 37</i>	<i>266,63 MPa</i>	---	---	---	---
CP 39	348,76 MPa	---	---	---	---
CP 40	318,01 MPa	---	---	---	---

Os protótipos destacados de vermelho tiveram uma tensão de ruptura menor do que 310 MPa, tensão mínima permitida por norma ao aço ZAR 230. A maioria desses corpos de prova tiveram as falhas justificadas pelos deslizamentos e defeitos técnicos da máquina de tração no decorrer do estudo. No caso dos corpos de prova 12, 13 e 14 ocorreu um defeito com a garra durante a realização do ensaio, afetando os resultados obtidos por ele. Na realização da análise do corpo de prova 18, o programa responsável por ler as cargas aplicadas apontou, incorretamente, resultados com valores negativos, como se a garra estivesse realizando compressão. Os corpos de prova 27 e 37 passaram por duas tentativas de ensaio, sendo que na primeira, o mesmo sofreu um grande

Organização



Promoção





deslizamento, obrigando a ocorrência de uma segunda tentativa, a qual se tornou inconsistente, visto que o protótipo poderia já ter atingido a fase plástica no primeiro ensaio. A provável causa de os demais protótipos não terem alcançado o valor mínimo de resistência exigida pela norma é a sua confecção manual, que é um pouco menos precisa que a fabricação automática.

Segundo a NBR 14762, nos ensaios de tração do aço deve-se tomar o valor médio de todos os resultados válidos e “devem ser ensaiados, no mínimo, três protótipos idênticos, sendo que o desvio de um resultado qualquer em relação ao valor médio não pode ser maior que 15 % (para mais ou para menos).” Portanto, utilizando os resultados satisfatórios obtidos do ensaio, calculou-se a média e as maiores variações dos resultados para os três tipos de corpos de prova. A Tabela 2 apresenta os resultados desta análise de tensões de ruptura.

Tabela 2 – Análise das Tensões de Ruptura

Tensões de Ruptura			
Tensões	Ranhura Lateral	Sem Ranhura	Ranhura Central
Média	362,11 MPa	332,46 MPa	352,74 MPa
Tensão Máxima	384,37 MPa	352,40 MPa	362,11 MPa
Tensão Mínima	318,01 MPa	318,82 MPa	345,12 MPa
Maior desvio acima da média	6,15 %	6,00%	2,66 %
Maior desvio abaixo da média	12,18%	4,10%	2,16 %

Assim, foi possível verificar que todos os resultados válidos se enquadraram dentro do intervalo estabelecido pelo desvio preconizado pela norma. Além disso, pode-se observar que as dobras desenvolvidas no processo de fabricação dos perfis influenciam as propriedades mecânicas do aço, aumentando o valor da resistência à ruptura, haja vista que a média dos protótipos provenientes da dobra lateral alcançou o maior valor. Os corpos de prova provenientes do perfil de superfície lisa alcançaram a menor média de resistência a ruptura.

As deformações específicas dos protótipos não puderam ser calculadas, visto que a máquina utilizada na análise experimental não possui um extensômetro, para chapas, capaz de medir as deformações úteis no terço médio, sendo aferido pelo equipamento apenas o deslocamento total da garra do aparelho. Desta forma, os resultados fornecidos pelo equipamento não consideram os deslocamentos necessários para o cálculo da deformação específica do material. No entanto, foi possível se ter uma noção dos valores de deformação dos corpos de prova, fazendo uma comparação entre o comprimento inicial e comprimento final dos mesmos, evidenciando a sua variação, conforme mostrado na Tabela 3.



Tabela 3 – Variação do Comprimentos dos protótipos ensaiados

Ranhura Lateral		Sem Ranhura		Ranhura Central	
CP 2	0,9 cm	CP 18	2,6	CP 1	1,6
CP 3	1,2 cm	CP 20	1,8	CP 4	1,6
CP 5	1,2 cm	CP 22	1,6	CP 8	2,1
CP 9	1,2 cm	CP 24	1,8	CP 11	2,3
CP 10	1,3 cm	CP 25	2,1	CP 14	1,5
CP 12	1,4 cm	CP 27	1	CP 15	1,4
CP 13	1,6 cm	CP 30	2	CP 16	1,7
CP 19	1,8 cm	CP 32	2,2	CP 28	1,6
CP 26	0,7 cm	CP 34	2,2	CP 31	1,4
CP 29	1,2 cm	CP 38	1,7	CP 36	1,5
CP 33	1,1 cm	CP 41	2,4	---	---
CP 35	1,1 cm	---	---	---	---
CP 37	1,0 cm	---	---	---	---
CP 39	1,0 cm	---	---	---	---
CP 40	0,9 cm	---	---	---	---
Média dos alongamentos totais nos protótipos					
1,48 cm		1,58 cm		1,53 cm	

Os valores apresentados na Tabela 3 demonstram que os corpos de prova provenientes das dobras laterais, tiveram as menores deformações, seguidos dos protótipos de ranhura central e sem ranhura, respectivamente. Segundo os manuais de construção em aço e as normas técnicas, quando o material passa por um processo de conformação mecânica, a deformação na região da dobra é afetada. Portanto, por meio desses ensaios pode-se observar que houve uma redução da ductilidade (capacidade de deformação) nos protótipos de ranhura lateral.

4. ANÁLISE NUMÉRICA

O estudo numérico foi realizado com o intuito apresentar aos integrantes do projeto um programa computacional baseado no Método dos Elementos Finitos, e também de ratificar os ensaios de laboratório.

No estudo em questão foi utilizado o programa INSANE, no qual foram lançados os dados compatíveis com o experimento laboratorial realizado e as características do material.

Os resultados gerados pelo programa estão de acordo com a NBR 7008, haja vista que todas as tensões de ruptura estão acima da tensão mínima, 310MPa, informada pela norma. Quando comparadas com os resultados obtidos no ensaio experimental, percebe-se que as tensões máximas provenientes do INSANE são superiores a eles. Esta superioridade pode ser consequência de três fatores: a confecção manual dos protótipos que não possibilitou uma perfeita exatidão durante o corte dos perfis; os deslizamentos entre a garra e o corpo de prova; e os pequenos arredondamentos realizados pelo programa computacional da máquina de tração utilizada nos ensaios experimentais.

Organização

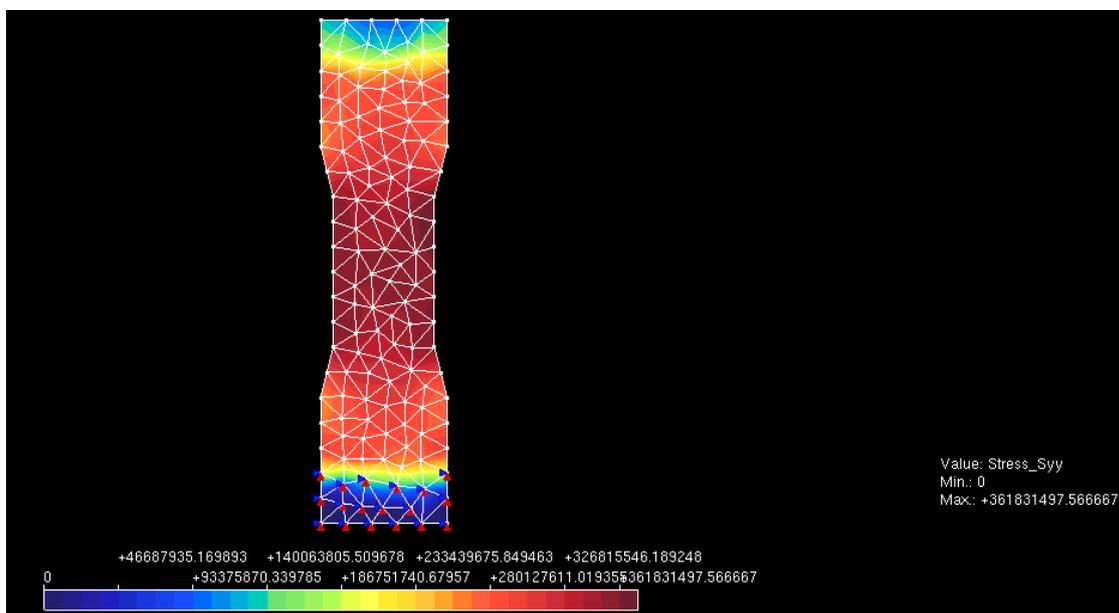


Promoção





Figura 5 – Resultado das tensões obtidas no programa INSANE



Com base no gráfico gerado pelo programa (Figura 5), através do método dos elementos finitos, pode-se observar que a região central sofreu as maiores tensões, mais precisamente nas laterais, que foi exatamente o ponto de rompimento do protótipo em laboratório, correspondendo às expectativas teóricas estudadas. A Tabela 4 apresenta as tensões máximas obtidas para cada corpo de prova através das simulações numéricas.

Tabela 4 – Tensões Máximas nas simulações do programa INSANE

Ranhura Lateral		Sem Ranhura		Ranhura Central	
CP 2	410,56 MPa	CP 20	361,83 MPa	CP 1	391,63 MPa
CP 3	400,64 MPa	CP 22	392,97 MPa	CP 4	399,74 MPa
CP 5	416,00 MPa	CP 24	369,94 MPa	CP 8	403,81 MPa
CP 9	420,04 MPa	CP 25	355,53 MPa	CP 11	345,12 MPa
CP 10	415,08 MPa	CP 30	371,31 MPa	CP 16	389,37 MPa
CP 19	425,45 MPa	CP 32	366,35 MPa	CP 31	392,66 MPa
CP 26	369,52 MPa	CP 34	377,19 MPa	---	---
CP 29	412,37 MPa	---	---	---	---
CP 33	428,63 MPa	---	---	---	---
CP 35	403,79 MPa	---	---	---	---
CP 39	388,90 MPa	---	---	---	---
CP 40	354,64 MPa	---	---	---	---
Média das tensões de ruptura provenientes do programa INSANE					
403,80 MPa		370,73 MPa		387,06 MPa	

Organização



Promoção





5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos estudos empregados, foi verificado que as dobras desenvolvidas no processo de fabricação dos perfis influenciam as propriedades mecânicas do aço, aumentando o valor da resistência à ruptura. Assim, a média das tensões dos protótipos provenientes da dobra lateral alcançou o maior valor, enquanto os corpos de prova provenientes do perfil de superfície lisa alcançaram a menor média de resistência à ruptura. Pode-se constatar ainda que houve uma redução da ductilidade (capacidade de deformação) nos protótipos de ranhura lateral.

Comparando os valores obtidos através do programa computacional, pode-se observar que foram compatíveis aos ensaios laboratoriais, gerando efeitos satisfatórios à pesquisa e aos seus objetivos iniciais.

Os resultados encontrados no estudo ainda podem ser aprimorados, por exemplo, com o uso de extensômetro para análise precisa da deformação dos corpos de prova, agregando conhecimento e resultados mais precisos ao estudo, que ainda tem um vasto campo para progredir. No entanto, mesmo com as pesquisas iniciais, já é possível obter-se uma base de dados confiável para dar seguimento a uma análise mais ampla sobre o comportamento dos perfis *Steel Frame*.

Adicionalmente, cabe ressaltar que durante todos os procedimentos dos estudos experimentais e numéricos, as teorias das principais disciplinas envolvidas neste trabalho (tais como resistência dos materiais, materiais de construção, método dos elementos finitos, entre outras) foram evidenciadas em cada passo necessário na realização da pesquisa, possibilitando a construção de um conhecimento coeso e multidisciplinar.

Desta forma, se evidencia a importância de desenvolver projetos de pesquisa para alunos do ensino superior. A partir do binômio teoria e prática, os conceitos fundamentais da engenharia são melhores compreendidos, através da vivência dos mesmos pelos alunos.

Agradecimentos

À Universidade FUMEC pela oportunidade e apoio durante o desenvolvimento do projeto. À professora orientadora Renata Nicolliello Moreira pela orientação, apoio e confiança e aos colegas e parceiros pelo desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituído por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7008**: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou com liga ferro-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente – Especificação. Rio de Janeiro, 2003.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





ASTM. *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. ASTM A370 - 17. Livro anual 2015.

BEVILAQUA, Rosane; UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Estudo comparativo do desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas aportigado e " lights steel framing, 2005. Tese (Mestrado).

CRASTO, Renata Cristina Moraes. UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Frame. 2005. 255p. Dissertação (Mestrado).

MOREIRA, R. N.; PITANGUEIRA, Roque Luiz da Silva . APLICAÇÃO GRÁFICA INTERATIVA PARA ENSINO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS. Em: XXXIV COBENGE, 2006, Passo Fundo. Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2006.

DESCRIPTION OF THE TEST FOR EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS IN STEEL FRAME PROFILES REVERTED IN PLATES AND SUBHEADED TO PULL

Abstract: *This document was developed at FUMEC University through the research program of the institution, and presents the description of the tests and methodologies used to perform the analysis on the mechanical behavior of sheets, made from Steel Frame steel profiles, when submitted the tension forces. In addition to the experimental studies, numerical simulations were performed through INSANE software (INTERACTIVE Structural ANALYSIS ENVIRONMENT), a free code computational system based on the Finite Element Method (MEF). This project allowed the students to relate the concepts involved in experimental practice and numerical analysis, providing a better understanding of the theory, as well as a better understanding of current and open access computational processes and tools.*

Key-words: *Steel Frame, Traction test, Numerical Simulation*

Organização



Promoção

