

## **ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA EM PERFIS STEEL FRAME REVERTIDOS EM CHAPAS E SUBMETIDOS À TRAÇÃO.**

**BERNARDO DE MATOS SILVA MELO<sup>1\*</sup>, RENATA NICOLIELLO MOREIRA<sup>2</sup>; ÊNIO JOSÉ MACHADO<sup>3</sup>; VICTÓRIA MARCATTI<sup>4</sup>; THÂNIA GOMES BRAZ<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil, FUMEC, Belo Horizonte-MG, bernardomatossilva@gmail.com;

<sup>2</sup>Me. em Engenharia de Estruturas, Prof. Assistente, FUMEC, Belo Horizonte-MG, renatanm@fumec.br;

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Aeronáutica, FUMEC, Belo Horizonte-MG, eniomachado@hotmail.com;

<sup>4</sup>Graduando em Engenharia Civil, FUMEC, Belo Horizonte-MG, victoriamarcatti@gmail.com

<sup>5</sup>Graduando em Engenharia Civil, FUMEC, Belo Horizonte-MG, thaniagomes13@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Este artigo objetivou obter e analisar, através de ensaios de tração, as propriedades mecânicas de chapas confeccionadas a partir de perfis Steel Frame (aço ZAR 230), e comparar os resultados experimentais com simulações computacionais, a fim de validar os valores sugeridos por norma. O presente trabalho apresenta os resultados de um projeto de pesquisa de alunos de graduação da Universidade FUMEC. Os trabalhos experimentais foram desenvolvidos na máquina universal de tração com capacidade de 30 tf, e tiveram seus resultados comparados com os valores obtidos nas simulações numéricas realizadas por meio do software INSANE, um sistema computacional livre, baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF), que está sendo constantemente desenvolvido para aprimorar e facilitar o ensino do MEF. Apresentam-se, neste estudo, a metodologia e os procedimentos realizados nos ensaios de laboratório, e discutem-se, ainda, os resultados experimentais comparados aos resultados da simulação computacional.

**PALAVRAS-CHAVES:** Estudos experimentais, Simulações numéricas, Tração.

### **EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS IN STEEL FRAME PROFILES REVERTED IN PLATES AND SUBMITTED TO TENSION.**

**ABSTRACT:** The objective of this article was to obtain and analyze, by means of tensile tests, the mechanical properties of steel plates made from Steel Frame profiles (ZAR 230 steel), and to compare the experimental results with computational simulations, in order to validate the values suggested by the Standard. The article presents the results found in the research of graduation students from University FUMEC. The experimental tests were developed in the universal tension machine with capacity of 30 tf and the results were compared with the values obtained in numerical simulations made by the INSANE program, a free computing system based in Finite Element Method. The program is being constantly developed to improve and facilitate the MEF studies. This research demonstrate the methodology and the performance in the laboratory tests. In addition, discuss the experimental results compared to the computational simulation

**KEYWORDS:** Experimental studies, Numerical simulations, Tension.

### **INTRODUÇÃO**

Diversos produtos que permitem a utilização de estruturas metálicas na construção civil, como o sistema light Steel Frame, foram desenvolvidos nos últimos anos (Crauto, 2005), considerando que as construções industrializadas têm aumentado sensivelmente no cenário nacional. Os perfis de aço formados a frio, constituintes deste sistema, podem ser fabricados utilizando dois processos: o contínuo

(indicado para produção em série) e o descontínuo (adequado à produção em pequenas proporções). Ambos envolvem a presença de uma conformação mecânica a frio, interferindo nas propriedades mecânicas do aço, haja vista que esse processo causa o aumento da resistência ao escoamento e da resistência à ruptura devido ao fenômeno do envelhecimento. (Pignatta e Silva, 2012)

Um dos tipos de aço estrutural formado a frio é o ZAR 230, que é um aço de alta resistência revestido com 275g/m<sup>2</sup> de zinco para evitar a corrosão do produto. Este foi o aço utilizado nos ensaios de tração do presente trabalho e segundo a NBR 7008, o mesmo apresenta as seguintes características:

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

O ensaio de tração, proposto neste trabalho, baseia-se na aplicação de um esforço axial em um corpo de prova, o qual irá sofrer uma deformação até o seu estado limite. A partir deste ensaio foi possível conhecer o comportamento do material diante das cargas solicitantes e inferir suas propriedades mecânicas. Além disso, teve-se como objetivo comparar os resultados obtidos experimentalmente com os resultados obtidos por meio de uma análise numérica realizada pelo software INSANE (INteractive Structural ANalysis Environment), programa computacional que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF), propondo o uso de funções aproximadas para a resolução de problemas matemáticos (Moreira, 2006).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização dos ensaios de tração 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.

Fundamentando-se na norma ASTM A370 – 07a, foram definidas as dimensões para a moldagem dos corpos de prova e os perfis foram encaminhados à oficina de metal e madeira da Universidade FUMEC. Primeiramente, os perfis foram colocados na dobradeira e revertidos em chapas, as quais, posteriormente, foram niveladas e divididas em comprimentos de 20 centímetros. Em seguida, estes segmentos de chapa foram cortados pela serra mecânica destinada ao corte de aços na oficina.

Para o montante, foram produzidos 2 tipos de corpos de prova: um proveniente das dobras laterais e outro da parte superior do perfil. Para o guia, produziu-se um único tipo de protótipo de superfície lisa. Através da análise do comportamento destes 3 tipos de corpos de prova, foi possível estudar como a ranhura e as dobras influenciam nas tensões e deformações do corpo de prova submetido ao ensaio de tração.

Os ensaios experimentais do aço ZAR 230 foram executados por meio da máquina de tração universal para ensaios mecânicos de capacidade de 30 tf, presente no Laboratório de Ensaios em Sistemas Construtivos (LESC) da FUMEC. Este equipamento possui duas garras programadas para serem fixadas no corpo de prova e exercerem cargas iguais de mesma direção e sentido contrário no referido protótipo, executando o ensaio de tração.

Figura 1 – Momento de ruptura do corpo de prova



Nos ensaios dos protótipos, houve a necessidade de propor uma solução para os problemas de deslizamentos ocasionados entre o material ensaiado e a garra da máquina de tração, os quais eram mais frequentes nos corpos de provas de superfície lisa (sem ranhura). Este problema ocorreu devido à extrema finura e à falta de atrito do material que não possibilitava a “pega” adequada da garra. Para a resolução deste problema, adotou-se algumas técnicas como o uso de lixa entre a garra e a parte externa do corpo de prova; a realização de sulcos na extremidade do protótipo, fora da área útil de rompimento; e o emprego da cola epóxi para criar rugosidades na região em contato com a garra. Nenhuma dessas soluções propostas foram totalmente eficientes, provocando o descarte de alguns corpos de prova que não alcançaram um resultado satisfatório devido a ocorrência de deslizamentos. Sendo assim, foi necessário o desenvolvimento de outra solução que se mostrou mais eficaz comparada as anteriores. Esse método consistiu no emprego de punções, em que foram realizadas pequenas proeminências na extremidade do corpo de prova, proporcionando uma “pega” adequada da garra através de maior atrito.

No total, foram ensaiados 41 corpos de prova, sendo 12 de ranhura central, 18 de ranhura lateral e 11 sem ranhura. Os resultados experimentais obtidos foram analisados conforme os critérios da NBR 14762.

Após a conclusão dos testes experimentais, assim como a obtenção das tensões de ruptura dos corpos de prova, foi desenvolvido no programa INSANE, um modelo de cálculo contendo as cargas e deformações de cada protótipo. Para o estudo do protótipo foi adotado o método de análise linear da elasticidade plana para problemas do estado plano de tensão (ETP). Os modelos dos corpos de prova foram divididos em elementos triangulares, e os valores do módulo de elasticidade, espessura e coeficiente de Poisson do material correspondentes a 205GPa, 0.00095 metros e 0,3 respectivamente, foram inseridos como atributos dos elementos. Dessa forma, iniciou-se o processamento do modelo no qual foram gerados todos os resultados do problema proposto, e apresentados através de gráficos de tensões desenvolvidas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

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:

$$\sigma = F/A$$

Nem todos os corpos de prova alcançaram um resultado adequado, visto que alguns deles romperam com uma tensão inferior a 310 MPa, tendo suas falhas justificadas pelos deslizamentos e defeitos técnicos da máquina de tração no decorrer do estudo.

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 percentuais dos três tipos de corpos de prova:

Tabela 2 – Média e variações extremas das tensões de ruptura obtidas no ensaio de tração

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

Assim, constatou-se que todos os resultados válidos se enquadraram dentro do intervalo estabelecido pela máxima variação admissível.

Já as deformações específicas dos protótipos não puderam ser calculadas, visto que a máquina utilizada na análise experimental não possui um extensômetro capaz de medir as deformações úteis no terço médio, sendo aferido pelo equipamento apenas o deslocamento total da garra do aparelho. Portanto, os resultados fornecidos pelo equipamento não consideram os deslocamentos necessários para o cálculo da deformação específica do material. No entanto, foi possível inferir a deformação total do corpo de prova, fazendo uma comparação entre seu comprimento inicial e comprimento final.

Tabela 3 – Média dos deslocamentos totais de cada tipo de protótipo

<b>Deslocamentos totais</b>		
<b>Ranhura Central</b>	<b>Ranhura Lateral</b>	<b>Sem Ranhura</b>
1,53 cm	1,48 cm	1,58 cm

Diante da média dos deslocamentos totais, pode-se observar 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.

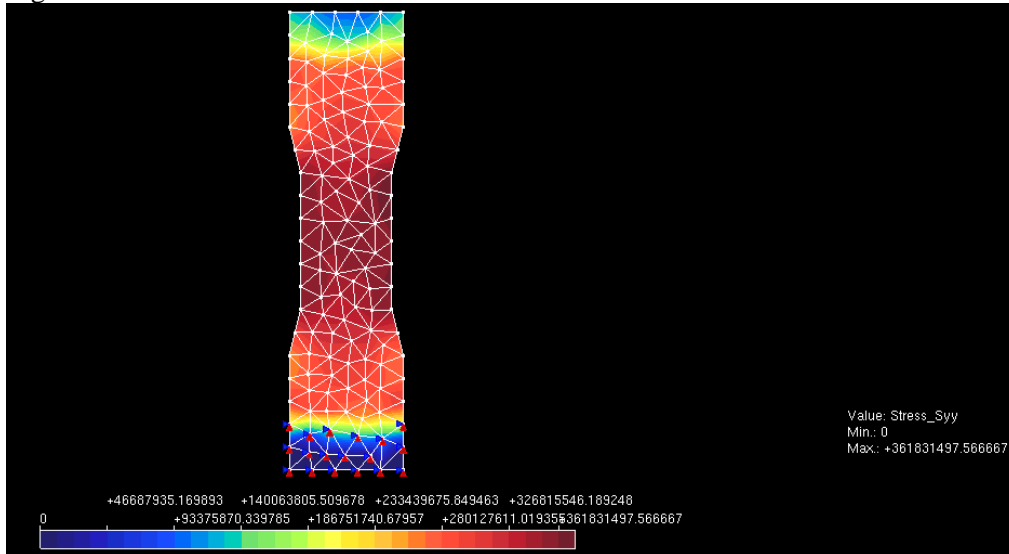
Para a realização dos ensaios numéricos foram avaliados somente os protótipos que obtiveram um resultado considerado satisfatório. Eles foram modelados no programa INSANE e tiveram as suas tensões máximas calculadas, sendo que a única variável entre eles foi o valor da carga de tração exercida em seus nós. Assim foi possível obter o valor médio que cada tipo de protótipo alcançou.

Tabela 4 – Média das tensões de ruptura provenientes do programa INSANE

<b>Tensões Máximas</b>		
<b>Ranhura Central</b>	<b>Ranhura Lateral</b>	<b>Sem Ranhura</b>
387,06 MPa	403,80 MPa	370,73 MPa

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 é 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.

Figura 5 – Resultado das tensões no modelo desenvolvido no INSANE



Baseando-se neste resultado obtido pelo programa INSANE, pode-se observar que as maiores tensões foram encontradas no terço médio do protótipo, região onde ocorreram os rompimentos e as maiores estricções durante a realização dos ensaios de tração.

## CONCLUSÕES

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 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. Além disso, pode-se constatar também que houve uma redução da ductilidade (capacidade de deformação) nos protótipos de ranhura lateral.

Quando comparado os valores obtidos pelos ensaios experimental e numérico, pode-se observar que houve compatibilidade dos resultados, sendo que as pequenas variações percentuais apresentadas podem ser explicadas pelos deslizamentos da garra no ensaio de tração, arredondamentos do programa conectado à máquina universal e confecção manual dos corpos de prova.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade FUMEC e à FAPEMIG pelo apoio financeiro e logístico.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010. 87 p.
- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 7008 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou com liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente. Rio de Janeiro, 2002. 7p.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM A370-07a, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.
- Craeto, R. C. M. Arquitetura e tecnologia em sistemas Construtivos industrializados: Light steel framing. Ouro Preto: UFOP, 2005. 255 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)
- Moreira, R. N. Aplicação gráfica interativa para ensino do método dos elementos finitos. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2006. Passo Fundo.
- Pignatta e Silva, V. Dimensionamento de estruturas de aço. São Paulo. 2012. 150 p.