

## **Estabilização de Sistemas Estruturais em Light Steel Frame com Painéis de Cisalhamento em OSB**

CARDOSO, A.C.S.; Eng. Civil da Premaia Engenharia;  
carolina.cardoso@premaia.eng.br

RODRIGUES, F.C.; Dr., Professor do DEES / UFMG; francisco@dees.ufmg.br

CALDAS, R.B.; Dr., Professor do DEES / UFMG; rbcaldas@gmail.com

### RESUMO

*Este trabalho apresenta a análise estrutural de um prédio residencial de quatro pavimentos modelado no sistema construtivo Light Steel Frame (LSF). Este prédio tem uma particularidade: o revestimento externo do edifício constituído por placas de O.S.B. foi usado estruturalmente como parede de cisalhamento (shear wall). Considerando variáveis como espessura, largura e comprimento da chapa de OSB, espaçamento entre montantes e entre parafusos, foi possível obter um diâmetro da barra equivalente que desempenha o papel das placas de OSB como elemento de contraventamento na montagem do modelo estrutural. Como conclusão do trabalho, analisou-se e classificou-se a deslocabilidade da estrutura. Observou-se ainda a redução no consumo de aço, comparando-o com o de um prédio contraventado com fitas de aço e uma economia na utilização da mão de obra. Constatou-se que é possível reduzir o consumo de aço utilizando o OSB como componente do painel de cisalhamento e ter um prédio seguro estruturalmente.*

Palavras-chave: Perfis de Aço Formados a Frio, Light Steel Frame, Estabilização, OSB, UFMG, CBECiMat.

### INTRODUÇÃO

O Light Steel Framing (LSF) é um sistema construtivo constituído por um conjunto de perfis formados a frio de chapas de aço galvanizadas, com espessuras variando de 0,8mm a 3,0mm. O LSF não é uma tecnologia nova,

mas é uma novidade para os brasileiros. Segundo Rodrigues (2006) os Estados Unidos, Inglaterra, dentre outros, já utilizavam-no pós-Segunda Guerra Mundial. Dentre as vantagens do sistema pode-se elencar o uso preponderante de perfis de aço com chapa fina sendo este um produto de ótima resistência, ductilidade e leveza, rapidez na construção e redução dos canteiros de obra com a sua otimização.

Existem dois conceitos básicos relativos ao Sistema Light Steel Framing (LSF): Frame é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação (Figura 1), sendo composto por elementos leves – os perfis formados a frio (PFF) e Framing é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos. Assim, podemos encontrar na bibliografia internacional as expressões Light Steel Frame Housing na Europa e Residential Cold-Formed Steel Framing nos Estados Unidos, referindo às residências construídas com painéis estruturados com perfis de aço com revestimento metálico, formados a frio (RODRIGUES, 2006).

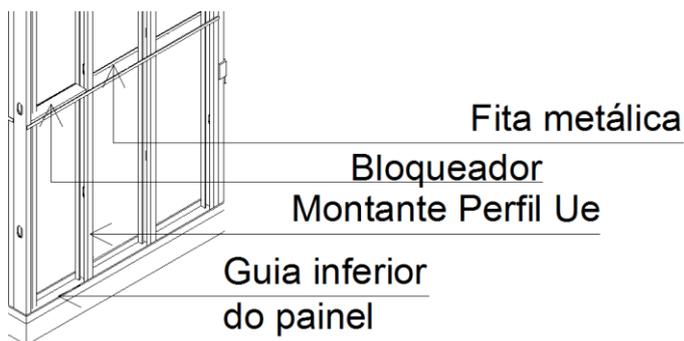


Figura 1- Esqueleto estrutural do sistema LSF.  
Fonte: FREITAS e CRASTO, 2012

Segundo Rodrigues (2006), os perfis formados a frio (também chamados de perfis leves), são obtidos pela conformação a frio das chapas finas de aço. Seu uso se dá de modo diversificado e eficiente na sociedade em geral como aplicações em edificações diversas, estruturas de telhados, janelas, porteiros, fôrmas metálicas, andaimes e escoramento, dentre outros.

O fechamento da estrutura de Steel Framing deve ser o mais leve possível, para estar de acordo com o propósito da edificação. Os componentes do fechamento são posicionados externamente à estrutura como uma “pele” e juntamente com os perfis galvanizados vão formar as vedações internas e externas da construção (FREITAS e CRASTO, 2012).

Os processos de fabricação dos elementos de vedação já são pensados para uma construção otimizada e industrializada. Portanto, para garantir que a construção seja também seca e rápida usam-se fechamentos com placas e chapas. No Brasil os produtos mais usados para fechamento são as placas de Oriented Strand Board (O.S.B.), as placas cimentícias e o gesso acartonado, sendo este último somente para ambientes internos com a função apenas de vedação. As placas de O.S.B. possuem considerável resistência mecânica, o que justifica o estudo da possibilidade de utilização das mesmas como componentes de painéis de cisalhamento na estabilização de estruturas metálicas.

Vitor (2012), com o intuito de simplificar o processo de cálculo da estabilização lateral mencionada acima, propõe a substituição da análise do painel de cisalhamento por uma barra circular fictícia trabalhando à tração. Esta barra é chamada de diagonal equivalente e o seu diâmetro depende, principalmente, da interação entre placas e perfis e das dimensões das placas de O.S.B.

#### MODELAGEM NUMÉRICA DE DIAGONAIS EQUIVALENTES EM PAINÉIS DE CISALHAMENTO

Vitor (2012) desenvolveu um modelo analítico para o método da diagonal equivalente. Baseado-se na regressão não linear multivariada, a diagonal proposta possibilita a análise estrutural do painel com o processamento dos reticulados metálicos sem as placas de OSB, mas contraventados com uma barra de aço fictícia trabalhando à tração (Diagonal Equivalente).

Observou-se que a rigidez de um painel de cisalhamento está associada ao comprimento, altura e espessura da placa de OSB e espaçamentos entre os montantes e parafusos. Logo, a partir da interação entre estas propriedades pode-se propor uma equação para determinar o valor do diâmetro de uma diagonal equivalente, que é capaz de oferecer a rigidez ao painel quando contraventado pela placa de OSB.

A partir da análise de experimentos realizados e de modelos de análise numérica celebrados com os resultados experimentais, Vitor (2012) propôs a Equação A válida para a fase elástica do material.

$$\emptyset = \frac{E \cdot \sqrt[3]{(a+5,77 \cdot h)^2}}{1,01 \cdot EM + EP - 34,72 \cdot EO + 9264,65} - 142,40 \quad (A)$$

onde:

$\emptyset$  = diâmetro da diagonal equivalente (mm);

E = módulo de elasticidade longitudinal (200.000 MPa);

a = comprimento do painel (m);

h = altura do painel (m);

EO = espessura do OSB (mm);

EM = espaçamentos entre os montantes (mm);

EP = espaçamentos entre os parafusos (mm).

### ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIOS DE QUATRO PAVIMENTOS UTILIZANDO PLACAS DE OSB COMO PAINÉIS DE CISALHAMENTO

O edifício estudado se trata de um prédio residencial de quatro pavimentos com comprimento total de 15,28m e largura de 9,28m com área de ocupação de 141,8m<sup>2</sup> por pavimento e de 576,20m<sup>2</sup> considerando todos os pavimentos. As dimensões do prédio foram consideradas e adaptadas do manual do CBCA (BELLEI et al., 2011). Visando compatibilizar o edifício com o trabalho de Silva (2013) a arquitetura é a que se segue na Figura 1. O pé-direito da edificação é de 3,00m, sendo que cada pavimento tipo tem quatro flats de 27,42 m<sup>2</sup>.

Os montantes dos painéis são constituídos por perfis Ue e perfis I (composto por dois perfis Ue). O espaçamento adotado entre eles foi de 600mm. Para as guias foram adotados perfis U. Na fabricação dos perfis é utilizado o aço ZAR 250 Z180 ( $f_y = 250MPa$  e  $f_u = 360MPa$ ).

Todas as ligações entre os montantes dos painéis são rotuladas incluindo as ligações na base do perfil. Ao longo da estrutura foram usados bloqueadores com perfis U e fitas de aço. Os perfis Ue dos painéis das paredes e dos pisos têm dois travamentos igualmente espaçados, impedindo a rotação e os deslocamentos laterais na direção do eixo de maior inércia da seção, sendo que este travamento pode ser feito com perfil U com as mesmas dimensões dos perfis Ue utilizados. Destacam-se ainda que quando submetidos aos esforços de compressão e de flexão, os montantes dos painéis e das vigas da laje devem ter restrição quanto à rotação em suas extremidades e na seção central, à meia-altura do pé-direito ou no meio do vão, respectivamente, dependendo de seus comprimentos.

A análise da estrutura foi executada com auxílio do software SAP2000 v15 da CSI, com aplicação de todos os carregamentos atuantes e os parâmetros de verificação. O programa, com base no Método dos Elementos Finitos, fornece os esforços solicitantes e as deformações nas barras, os deslocamentos dos nós e as reações nos apoios.

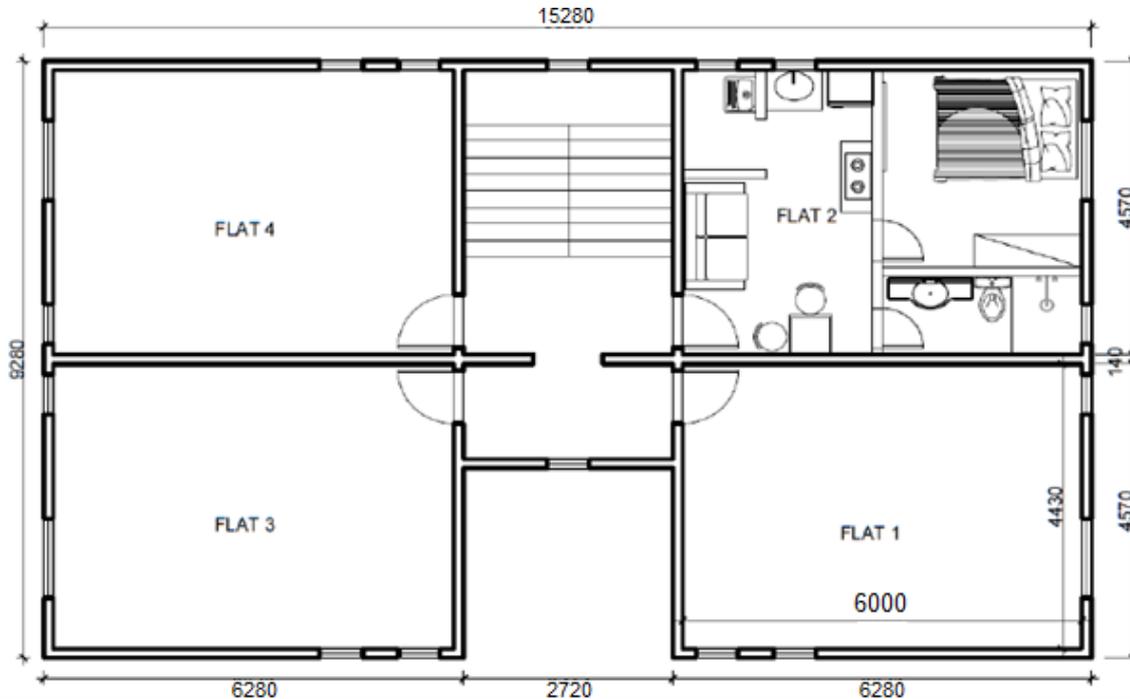


Figura 1 - Arquitetura do pavimento tipo. Cotas em mm.

### Contraventamentos

Estruturas de aço geralmente necessitam ser travadas em alguns planos. Estes travamentos são chamados de contraventamentos e tem como finalidade a estabilização da estrutura, seja devido à ação do vento ou por flambagem lateral das peças. A posição dos contraventamentos deve ser determinada de forma que garanta o adequado travamento das barras comprimidas e, também, a adequada transmissão das forças horizontais devidas ao vento para os apoios da estrutura.

Neste trabalho a estabilização horizontal para a estrutura em LSF é feita com placas de OSB fixadas ao reticulado metálico por meio de parafusos autoatarraxantes. A Figura 2 ilustra como a parede de barlavento recebe as forças que são transmitidas para as lajes e posteriormente para os painéis de cisalhamento, também chamados de “shear wall”.

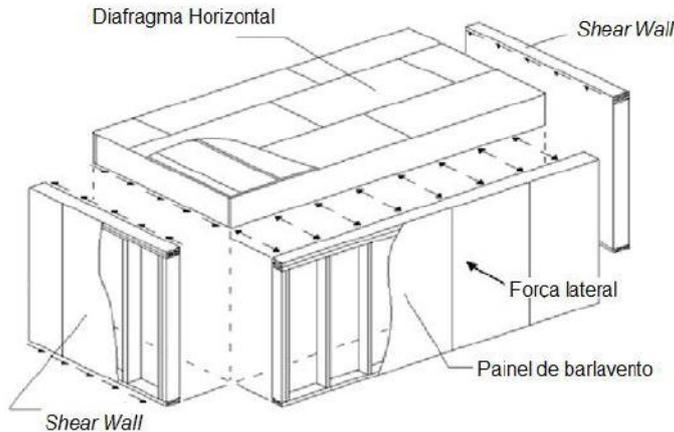


Figura 2 Transmissão de cargas horizontais.

Fonte: Vitor (2012)

Para o modelo computacional foram utilizadas diagonais equivalentes de aço com a utilização da Equação A proposta por Vitor (2012). O cálculo realizado encontra-se detalhado abaixo. Foram calculadas duas diagonais, uma para os painéis de 3,00x3,00m que compõem toda a estrutura do edifício e outra diagonal especificamente para os painéis que compõem o pavimento da caixa d'água.

Parâmetros utilizados para a diagonal equivalente dos pavimentos tipo:

$E$  = módulo de elasticidade longitudinal do aço = 200.000 MPa;

$a$  = comprimento do painel (m) = 3,00m;

$h$  = altura do painel (m) = 3,00m;

$EO$  = espessura do OSB (mm) = 11,1mm;

$EM$  = espaçamentos entre os montantes (mm) = 600mm;

$EP$  = espaçamentos entre os parafusos (mm) = 250mm;  $\rightarrow \phi = 10,53\text{mm}$

Parâmetros utilizados para a diagonal equivalente do pavimento caixa d'água:

$h$  = altura do painel (m) = 1,35m;

Os demais parâmetros permaneceram iguais aos do pavimento tipo.

$\rightarrow \phi = 2,13\text{mm}$

Portanto, todos os contraventamentos em "X" são barras de aço ZAR250 com diâmetros acima especificados. É relevante observar que todas as barras de contraventamento do modelo foram lançadas com força resistente nula a compressão.

## RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos neste trabalho e as comparações com os valores encontrados por Silva (2013) que analisou o mesmo edifício de 4 pavimentos em LSF usando contraventamentos de fita de aço de 40mm de largura e 1,25 mm de espessura.

### Análise de Deslocabilidade para Prédio de 4 Pavimentos com LSF

A análise de deslocabilidade inicial da estrutura foi realizada com  $E = 200$  GPa. Posteriormente, foi feita a análise com o  $E$  reduzido, ou seja,  $E = 160$  GPa. A Tabela 1 apresenta os deslocamentos referentes à análise de segunda ordem e à análise de primeira ordem nos respectivos pavimentos. A estrutura foi classificada segundo o parâmetro  $\Delta 2^{\text{a}} \text{ ordem} / \Delta 1^{\text{a}} \text{ ordem}$  conforme estabelecido pela norma NBR 8800:2008. Este é um parâmetro que classifica a estrutura em pequena, média ou grande sensibilidade a deslocamentos laterais, sem a consideração das imperfeições iniciais de material, onde  $\Delta 2^{\text{a}} \text{ ordem}$  é o deslocamento lateral do andar relativo à base obtido na análise de segunda ordem e  $\Delta 1^{\text{a}} \text{ ordem}$  é o deslocamento lateral do andar relativo à base obtido na análise de primeira ordem.

Tabela 1: Modelo final–Classif. dos deslocamentos interpavimentos.  $E=200$  GPa.

Pav.	Direção	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2/\Delta 1$	Deslocabilidade Classif.
1	X	-1,86359	-1,40412	1,32722	Média
	Y	1,01444	0,70116	1,44678	Grande
2	X	-1,23873	-0,90807	1,36412	Média
	Y	0,65131	0,47552	1,36968	Média
3	X	-0,83224	-0,63640	1,30772	Média
	Y	0,44359	0,35178	1,26099	Média
4	X	-0,07365	-0,01916	3,84243	Grande
	Y	0,09576	0,11297	0,84760	Pequena

A Tabela 2 apresenta uma análise global da deslocabilidade da estrutura e segue a mesma classificação citada.

Tabela 2: Modelo final- Análise de deslocabilidade global. E=200GPa.

Direção	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2/\Delta 1$	Deslocabilidade Classificação
X	-5,61427	-4,15688	1,35059	Média
Y	-6,05002	-5,13256	1,17875	Média

Verificação dos deslocamentos horizontais limites:

- Deslocamento horizontal do topo da estrutura em relação à base  $\leq H / 400$ :  $12000 \text{ mm} / 400 = 24,0 \text{ mm}$ . O máximo deslocamento horizontal obtido nas combinações de serviço é de 6,0 mm. →Atendido.
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pavimentos consecutivos  $\leq H / 500$ :  $3250 \text{ mm} / 500 = 6,5 \text{ mm}$ . O máximo deslocamento interpavimentos obtido é de 1,8 mm. →Atendido.

Mesmo atendendo aos deslocamentos total e interpavimentos com uma boa margem de folga, a estrutura ainda foi considerada como de média deslocabilidade. Este fato leva à conclusão de que a classificação de estruturas em LSF com o parâmetro  $\Delta 2/\Delta 1$  não é a ideal. Ainda que com deslocamentos bem reduzidos a estrutura não é classificada como de pequena deslocabilidade.

Segundo a ABNT NBR8800:2008, para considerar o efeito da imperfeição do material utiliza-se o módulo de elasticidade do aço reduzido em 20% , ou seja, o valor de  $0,8 \times 200.000 \text{ MPa} = 160.000 \text{ MPa}$ . Foi realizada, a partir do modelo final, uma análise computacional linear e uma análise não linear da estrutura adotando  $E = 160 \text{ GPa}$ , a título de verificação dos valores encontrados. Os perfis da estrutura são os mesmos adotados anteriormente.

Analogamente ao apresentado acima, a Tabela 3 apresenta os deslocamentos interpavimentos referentes a análise de segunda ordem e de primeira ordem. A Tabela 4 apresenta uma análise global da deslocabilidade da estrutura.

Tabela 3: Modelo final-Classif. dos deslocamentos interpavimentos.E=160GPa.

Pav.	Direção	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2/\Delta 1$	Deslocabilidade Classif.
1	X	-2,34073	-1,75515	1,33363	Média
	Y	1,11325	0,87646	1,27017	Média
2	X	-1,54837	-1,13509	1,36408	Média
	Y	0,74751	0,59440	1,25758	Média
3	X	-1,03802	-0,79550	1,30485	Média
	Y	0,54484	0,43972	1,23905	Média
4	X	-0,08491	-0,02395	3,54399	Grande
	Y	0,10352	0,14122	0,73308	Pequena

Tabela 4: Modelo final- Análise de deslocabilidade global. E=160GPa

Direção	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2/\Delta 1$	Deslocabilidade Classificação
X	-5,01203	-3,70972	1,35105	Média
Y	2,50914	2,05181	1,22289	Média

A intenção de realizar uma análise computacional adotando  $E = 160 \text{ GPa}$ , é a de investigar os deslocamentos da estrutura e verificar se o parâmetro  $\Delta 2^\circ$  Ordem /  $\Delta 1^\circ$  Ordem altera-se significativamente. Analisando, portanto, a Tabela 3 e a Tabela 4 percebe-se que houve um pequeno incremento nos valores das relações de  $\Delta 2^\circ$  Ordem /  $\Delta 1^\circ$  Ordem. O máximo deslocamento horizontal para combinações de serviço foi de 0,7 cm. O máximo deslocamento interpavimentos obtido foi de 0,3 cm.

Silva (2013) obteve uma deslocabilidade bastante semelhante tendo recebido a classificação de média deslocabilidade no eixo X e grande deslocabilidade no eixo Y como pode ser visto na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5: Análise de deslocabilidade global. E=200GPa

Direção	$\Delta 2/\Delta 1$	Deslocabilidade Classificação
X	1,37	Média
Y	1,62	Grande

Tabela 6: Análise de deslocabilidade global. E=160GPa

Direção	$\Delta 2/\Delta 1$	Deslocabilidade Classificação
X	1,37	Média
Y	1,63	Grande

### Consumo de Aço

O consumo de aço do edifício projetado foi de aproximadamente 13,49 toneladas de aço ZAR250.

O consumo de aço no projeto realizado por Silva (2013) foi de 14,34 toneladas sendo 351,5kg de fitas para o contraventamento da estrutura como mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Consumo de aço com contraventamento em fitas de aço.

Seção	Material	Comp. (m)	Peso (kg)
Tira 100_1,25	ZAR 250 Z180	365,15	351,50
Outros	ZAR 250 Z180	-	13983,80
TOTAL		-	14335,30

A partir da Tabela 7 conclui-se que ao usar os painéis de cisalhamento em OSB verifica-se uma economia significativa de aço. No caso em questão a economia foi de 2,5% do aço total utilizado no edifício. Pode-se ainda pensar em uma economia de mão de obra, visto que o OSB seria utilizado como revestimento externo independentemente de ser utilizado estruturalmente ou não. Logo, a economia está no fato de deixar de instalar as fitas de aço.

## CONCLUSÕES

O prédio de 4 pavimentos projetado em Light Steel Frame foi analisado considerando em sua estrutura diagonais equivalentes para representar os painéis de cisalhamento em OSB. Ao comparar este edifício com um edifício com as mesmas características e perfis, porém utilizando contraventamentos convencionais de fitas de aço observou-se uma economia de 2,5% do total de aço empregado na estrutura. Como o OSB faz parte do revestimento de ambos, considerá-lo estruturalmente ativo traz benefícios econômicos e de tempo de obra, visto que não serão necessários os contraventamentos anteriormente projetados.

Quando se trata de deslocabilidade da estrutura, ambas obtiveram valores próximos. Reafirmou-se neste trabalho a necessidade de um parâmetro que represente melhor as estruturas de LSF quanto à deslocabilidade em substituição à relação:  $\Delta 2^\circ$  Ordem /  $\Delta 1^\circ$  Ordem.

Portanto, é possível reduzir o consumo de aço utilizando OSB como painel de cisalhamento e ter um prédio também seguro estruturalmente. Entretanto há de se usar este recurso com parcimônia, visto que a calibração da equação de VITOR foi feita com características das placas de OSB fabricadas no exterior e este insumo ainda não foi normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios – NBR 8800, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 01: Requisitos Gerais - NBR 15575, Rio de Janeiro, 2012.

BELLEI, Ildony Hélio; BELLEI, Humberto N. Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) (2011). Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço. 4ª Edição. Rio de Janeiro, 2011.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M.. Manual de Construção em Aço: Steel Framing – Arquitetura. Instituto Brasileiro de Siderurgia – Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2012.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia Reis de Castro e; CALDAS, Rodrigo Barreto. (2012). Dimensionamento Básico de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto. Versão 4. Parte II. Belo Horizonte, 2012, 177 p.

RODRIGUES, Francisco Carlos. Manual de Construção em Aço: Steel Framing – Engenharia. Instituto Brasileiro de Siderurgia – Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Lucas Barreira. Análise Estrutural de Edifícios Residenciais de Pequeno Porte Estruturados em Aço à Luz das Normas Brasileiras. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

VITOR, Rodrigo Oliveira. Modelagem Numérica de Diagonais Equivalentes em Painéis de Cisalhamento do Sistema Light Steel Framing. Tese de mestrado. 109p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

## **System Stabilization Structural in Light Steel Frame With Shear Wall in OSB**

### **ABSTRACT**

This paper presents the structural analysis of a residential building of four floors modeled on Light Steel Frame (LSF) building system. This building has a special feature: the outer sheathing of the external wall of the building consists in plates of Oriented Strand Board (O.S.B.) it was used structurally as a shear wall. Considering variables such as thickness, width and length of the OSB plate, spacing between screws and studs, obtains a diameter of the equivalent bar that perform a behavior like OSB plates as bracing element in the assembly of the structural model. As conclusion of the paper, it was analyzed and classified the displaceability of the structure. Also noted it is the reduction in steel consumption, comparing it with a building braced with steel strips and an economy in the use of labor. It was verified that it is possible to reduce the consumption of steel using the OSB panel as shear component and have a structurally safe building.

Key-words: Cold-formed Steel Profiles, Stabilization, Light Steel Frame, OSB, UFMG, CBECiMat,