

# SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAMING: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PLACAS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

*LIGHT STEEL FRAMING CONSTRUCTION SYSTEM: PERFORMANCE EVALUATION OF THE RE-CONSTITUTED WOODEN BOARDS*

**EDGAR VLADIMIRO MANTILLA CARRASCO, Dr. | UFMG**

**JANAÍNA COSTA REZENDE, M.Sc. | UFMG**

**FRANCISCO CARLOS RODRIGUES, Dr. | UFMG**

**JÚLIO CEZAR SILVA MARQUES | UFMG**

**JUDY NORKA RODO MANTILLA, Dr. | UFMG**

## RESUMO

Levando em conta as ações transversais do sistema construtivo Light Steel Framing (LSF), o desempenho estrutural depende do comportamento ao cisalhamento das chapas de fechamento das paredes, em função dos módulos de elasticidade e de deformação transversal, entre outros fatores. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar o módulo de elasticidade nas direções longitudinal e transversal, das chapas de fechamento em compensado estrutural, por meio de ensaios à flexão estática em três pontos, nos quais foram seguidas as prescrições da NBR 9533 (ABNT, 2012), e compará-lo com resultados de pesquisas similares que usaram chapas Oriented Strand Board (OSB) no contraventamento do sistema LSF. Após análise dos resultados dos valores obtidos dos módulos de elasticidade em pesquisas que foram utilizadas chapas de OSB, e comparados com os resultados da presente pesquisa concluiu-se que é possível utilizar o compensado estrutural no sistema construtivo LSF destacando-se inclusive um desempenho superior.

**PALAVRAS CHAVE:** Light steel framing; Compensado estrutural; Oriented Strand Board; Módulo de elasticidade; Pannel de cisalhamento.

## ABSTRACT

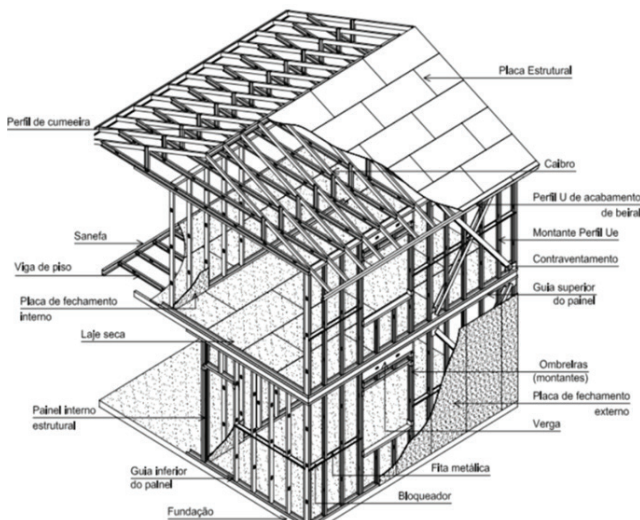
Taking into account the transversal actions of the Light Steel Framing (LSF) constructive system, the structural performance depends on the shearing behavior of Wall sheathing, depending on the elasticity and transversal deformation modules, among other factors. Thus, the objective of this work was to determine, from the structural plywood closing plates, the modulus of elasticity in the longitudinal and transverse directions, through three-point bending flexural static test, according the requirements of NBR 9533 (ABNT, 2012), and compare them with similar research results that used Oriented Strand Board (OSB) panels in bracing the LSF system. After analyzing the results of the modulus of elasticity found in those studies in which OSB plates were used, and compared with the results of the currently research, it was concluded that it is possible to use the structural plywood in the LSF construction system, highlighting even a superior performance.

**KEY WORDS:** Light steel framing; Structural plywood; Oriented Strand Board; Modulus of elasticity; Shear wall.



## 1. INTRODUCTION

Segundo Usefi, Sharafi e Ronagh (2019) o Light Steel Framing (LSF) é um sistema construtivo autoportante constituído por perfis leves de aço galvanizado formados a frio, permitindo que a construção seja feita de forma racional, com poucos resíduos de obra e de forma rápida, em comparação com os edifícios em concreto armado e alvenaria. Atualmente o sistema é comumente empregado em países onde a construção civil é predominantemente industrializada (MORTAZAVI et al., 2020). O Brasil ocupa o nono lugar no ranking mundial entre os dez maiores produtores de aço no mundo (GANDRA, 2019), no entanto as construções feitas em concreto armado ainda são predominantes, e o LSF ainda é pouco utilizado (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012). Contudo, o uso do aço vem aumentando consideravelmente no país (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020). Na Figura 1, apresenta-se o sistema composto por painéis estruturados com reticulados de perfis de aço galvanizado formados a frio, obtidos a partir de bobinas de aço Zincado de Alta Resistencia (ZAR), com revestimentos metálicos de espessuras mínimas de 150 g m<sup>-2</sup> (alumínio-zinco) e de 275 g m<sup>-2</sup> (zinco) com resistência ao escoamento de no mínimo 230 MPa. A estrutura é autoportante devido à forma alinhada dos perfis, dando origem ao termo in line framing (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

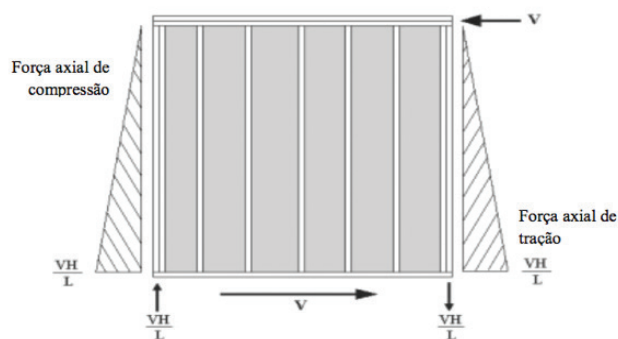


**Figura 1** - Desenho esquemático de uma residência em LSF  
**Fonte:** Crasto, Freitas e Santiago (2012).

Para garantir que o sistema resista também a esforços horizontais, é necessário que haja elementos de contraventamento em algumas paredes da edificação, o que pode ser feito com fitas de aço galvanizado, perfis de aço na forma de encaixes estampados e com placas de revestimento com função estrutural de diversos materiais

(RODRIGUES; CALDAS, 2016). Dessa forma, são denominadas de paredes de cisalhamento (shear walls) para resistir a esforços horizontais. Além do reticulado de perfis de aço do sistema LSF há outros elementos que o compõem, por exemplo, a fundação, os revestimentos com e sem função estrutural como placas de madeira (PEHLIVAN; BARAN; TOPKAYA, 2018), as placas cimentícias (ABU-HAMD, 2019), as placas de aço corrugado e as de gesso acartonado (FENG et al., 2020), as instalações hidráulicas e elétricas bem como os isolamentos termoacústicos. Essas placas são denominadas de “placas de cisalhamento” e são responsáveis pela resistência de grande parcela dos esforços horizontais (HENRIQUES et al., 2017), sendo o conhecimento de suas propriedades mecânicas essencial para determinar o seu comportamento.

Para que o sistema LSF consiga resistir a esforços horizontais, é necessário que haja um contraventamento nas paredes estruturais, compostas de montantes distanciadas entre si de 400 ou 600 mm, com fitas de aço galvanizado, cuja forma mais comum é em formato de “X”. Quando esse formato não é adequado devido, por exemplo, a alguma abertura, pode-se utilizar o contraventamento em outros formatos, como em “K”, “ ” e “V” (RODRIGUES; CALDAS, 2016). O efeito diafragma é a capacidade que essas paredes têm de resistir a esforços horizontais (shear wall). A ligação das fitas de aço galvanizado dos montantes duplos e da ancoragem (hold down) do painel, é feita com parafusos do tipo HEX com cabeça sextavada na chapa de Gusset, de mesmo material. Dessa forma, é possível que esforços transmitidos pelo contraventamento sejam absorvidos pela fundação. Além disso, o ângulo entre a guia inferior e a fita de aço galvanizado deve estar compreendido entre 30° e 60° para que haja eficiência estrutural do painel diafragma (RODRIGUES; CALDAS, 2016). Algumas das placas de revestimento podem ser utilizadas no lugar das fitas de aço galvanizado para desempenhar com o reticulado de aço a função de diafragma rígido. Segundo as diretrizes para avaliação técnica de produtos prescritos pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), o contraventamento do sistema pode ser feito apenas com chapas de OSB em edifícios de até dois pavimentos, desde que as placas de OSB estrutural atendam aos requisitos de resistência estrutural propostos pela referida diretriz. Para que o painel exerça o efeito diafragma, como mostra a Figura 2, é preciso que ele esteja engastado na parte inferior e que seu deslocamento na parte superior esteja dentro dos limites preconizados nas normas brasileiras aplicáveis (BREDEL, 2003), dentre elas a NBR 14762 (ABNT, 2010).



**Figura 2** - Diagrama das forças do painel de cisalhamento  
**Fonte:** Bredel (2003).

O compensado é um painel de madeira, conhecido mundialmente por plywood, feito por colagem de lâminas sobrepostas, cujas fibras são dispostas perpendicularmente a cada lâmina, a fim de que possa garantir maior resistência mecânica e física, conforme a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2007). Atualmente, a madeira do gênero Pinus (taeda e eliotti) é uma das mais utilizadas na fabricação de laminados, compensados, aglomerados, MDF e placas de OSB (IWAKIRI et al., 2007). Melo (2013) explica que os painéis de compensado têm maior estabilidade dimensional em relação às placas de OSB, uma vez que estas têm maiores tensões internas ocasionadas durante a prensagem do material. Essas tensões são liberadas ao serem expostas a ambientes úmidos. Diferentemente, na fabricação de compensados, a pressão de colagem nas lâminas é menor, gerando assim menores tensões internas quando expostos à umidade. Elas são fabricadas conforme a NBR 9533 (ABNT, 2012), visando garantir a resistência do compensado estrutural à flexão estática, item importante a ser levado em consideração ao assegurar a estabilidade das estruturas em LSF e Wood Frame (GUARARAPES, fábrica, 2019). Pesquisas relacionadas às placas de compensado destacam que seu uso poderá ser uma alternativa de materiais como revestimentos, pois atualmente são mais utilizadas no país as placas de OSB e cimentícias no sistema LSF. Além disso, a utilização de tais placas contribuirá com a competitividade no mercado de placas de madeira para o sistema LSF.

Tian et al. (2004) realizaram uma análise da rigidez em 6 diferentes tipos de painéis do sistema LSF, sendo: o painel 1 sem contraventamento, o painel 2 composto por placa de OSB, o painel 3 constituída por placa cimentícia; o painel 4 com contraventamento tipo X em apenas um lado do painel, o painel 5 com contraventamento nos dois lados e o painel 6 provido de duplo contraventamento

nos dois lados do painel. Foi considerado para as placas de OSB o módulo de elasticidade nas direções longitudinal (EL) e transversal (ET), igual a 3500 MPa e 1400 MPa, respectivamente e, para a placa cimentícia igual a 5000 MPa. Os resultados mostraram que a placa de OSB e a cimentícia resistem aproximadamente ao mesmo esforço mesmo tendo módulos de elasticidade diferentes. Porém se observou que ocorreram nas placas fissuras próximas às ligações dos parafusos, sugerindo colapso devido ao espaçamento dos parafusos. Assim não foi possível concluir qual placa se comportou melhor.

Já Bevilaqua (2005) comparou, por meio de uma análise numérica, edifícios residenciais de quatro e sete pavimentos construídos pelo sistema LSF e por pórticos. Foram realizados ensaios numéricos em edifícios que apresentavam apenas a placa de OSB no contraventamento do sistema LSF, para isso foram considerados os mesmos valores para o EL e ET utilizados por Tian et al. (2004). Os resultados indicaram que as placas de OSB são capazes de contraventar edifícios de até sete pavimentos sem a necessidade de fitas metálicas, dessa forma, a construção no sistema LSF se torna mais ágil e menos oneroso.

Vieira Jr. et al. (2013) realizaram modelos de ensaios de compressão em paredes de cisalhamento com diferentes tipos de revestimentos. Os ensaios realizados mostram que as placas de OSB permitem maior capacidade de carga em relação aos modelos de parede com placas de gesso ou àqueles sem revestimento. Observou-se também que o revestimento aumenta em até 91% a resistência da parede de cisalhamento, quando comparado às paredes sem revestimento e às compostas por placas em OSB em ambos os lados. Os módulos EL das placas OSB e do gesso encontrados foram 6426 MPa e 993 MPa, respectivamente.

Cardoso, et al. (2016) realizaram uma análise estrutural computacional em um edifício em LSF de quatro andares composto apenas por placas de OSB no contraventamento do sistema, sem a utilização de fitas de aço galvanizado comumente usadas nas paredes de cisalhamento. O deslocamento do sistema foi analisado conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008) e comprovaram que os deslocamentos, total e interpavimentos, atenderam a norma. Além disso, foi calculada a redução de aço no sistema quando se eliminaram as fitas de aço galvanizado e, dessa forma, foi possível economizar cerca de 2,5 % do aço total do sistema. Ainda, os dados utilizados para o cálculo de deslocamento da estrutura foram adotados de placas de OSB fabricadas fora do Brasil e não foram informados os valores dos módulos EL e ET utilizados na pesquisa.

Rosa (2018) estudou a contribuição das placas de OSB no contraventamento do sistema LSF, comparando paredes de cisalhamento constituídas de placas de OSB com paredes sem revestimento. Foram ensaiadas seis paredes em escala real, das quais duas constituídas com apenas a estrutura de aço sem contraventamento e quatro com placas de OSB no contraventamento do sistema. Também se realizaram ensaios para determinar o módulo EL das placas de OSB, o valor encontrado foi 1949 MPa para as placas de 12 mm de espessura. Os resultados mostram que as paredes com estruturas de aço sem contraventamento indicam um comportamento muito flexível, com baixa capacidade de suportar força e alta capacidade de sofrer deformação. Os espécimes com placas OSB apresentaram maior rigidez lateral e capacidade de força em relação à estrutura de aço sem contraventamento feito pelas placas de OSB. Dessa forma, se destaca a importância das placas de OSB nas paredes de cisalhamento no sistema LSF.

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar o módulo de elasticidade nas direções longitudinal e transversal das chapas de fechamento em compensado estrutural, por meio de ensaios à flexão estática em três pontos e compará-lo com resultados de pesquisas similares que usaram chapas Oriented Strand Board (OSB) no contraventamento do sistema LSF.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção contém informações dos materiais, dos equipamentos e dos ensaios experimentais. Os ensaios foram realizados no Centro de Pesquisa Avançado da Madeira e Novos Materiais (CPAM), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

### 2.1 Materiais

As placas de compensado estrutural foram adquiridas de empresas madeireiras no município de Belo Horizonte – MG. A espécie de madeira utilizada na produção dos compensados foi a *Pinus elliotii* Engelm, da família Pinaceae. A espécie é originária do sudeste dos Estados Unidos e é também conhecida como Pinheiro da Flórida (ELESBÃO, 2011). No Brasil essa espécie é encontrada, conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2020), nos Estados de Amapá, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Essa espécie tem como características cerne e alburno indistintos pela cor branco-amarelado apresenta brilho moderado, densidade baixa e é fácil de ser trabalhada.

### 2.2 Amostragem e corpos de prova (CPs)

A NBR 9488 (ABNT, 2011) prescreve extrair aleatoriamente no mínimo quatro chapas de compensado de um mesmo lote. Além disso, é recomendado retirar de cada chapa no mínimo cinco CPs, em cada direção (paralela e perpendicular à orientação das fibras que constituem as lâminas externas). Ainda segundo a norma os CPs precisam ser extraídos a uma distância não menor do que 50 mm das bordas da chapa, procurando distribuí-los aleatoriamente em toda a sua extensão. Assim foram confeccionados 40 CPs em chapas de compensado estrutural de 11,1 mm de espessura, para o ensaio de flexão, dos quais 20 CPs foram cortados na direção longitudinal e 20 CPs na direção transversal das chapas. O mesmo procedimento foi adotado para confeccionar 40 CPs nas chapas com espessura de 18,3 mm, isto é, 20 CPs na direção longitudinal e 20 CPs na direção transversal das chapas. As medidas dos CPs também foram determinadas seguindo as prescrições da NBR 9533 (ABNT, 2012). Esta norma especifica uma largura (L) do CP igual a 75 mm e um comprimento c dado pela equação 1.

$$c=25e + 50 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (1)$$

Em que “e”, é a espessura do CP. Assim, para o compensado com espessura de 11,1 mm, o comprimento do CP foi de 327,5 mm e para o compensado de 18,3 mm, o comprimento do CP foi 507,5 mm.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos e 20 repetições por tratamento. As séries (tratamentos) de CPs foram nomeadas de acordo aos seguintes parâmetros: o posicionamento da placa de compensado na máquina de ensaio (FH, flexão com a maior superfície do CP na horizontal), a sua espessura nominal (11,1 mm e 18,3 mm), direção da extração do CP (L, na direção longitudinal das placas e T, na direção transversal das placas). A direção longitudinal é aquela paralela ao maior comprimento da chapa de compensado estrutural e a direção transversal é perpendicular a esta. Os números dos corpos de prova de cada série variam de 1 a 20 (CP1 a CP20). A Tabela 1 apresenta os tratamentos para os ensaios de flexão, o número de CPs e o número de CPs para determinação da densidade e umidade.

Série	Corpo de prova de flexão	Comprimento do CP (mm)	Largura do CP (mm)	Quantidade de CPs de densidade e umidade
FH 11,1 L	CP 1 a CP 20	327,5	75	7
FH 11,1 T	CP 1 a CP 20	327,5	75	7
FH 18,3 L	CP 1 a CP 20	507,5	75	7
FH 18,3 T	CP 1 a CP 20	507,5	75	7

**Tabela 1**– Séries (tratamento) avaliados e os corpos de prova de flexão, umidade e densidade  
**Fonte:** preparado pelos autores

### 2.3 Densidade aparente e umidade

As amostras para o ensaio de densidade aparente foram obtidas e ensaiadas de acordo com a NBR 9485 (ABNT, 2011). Para a mensuração das dimensões utilizou-se um paquímetro digital, sendo realizadas três repetições para cada aferição. A determinação da massa foi feita em uma balança digital com precisão de  $\pm 0,001$  g. A Equação 2 foi utilizada para calcular a densidade aparente de cada amostra e a seguir calculou-se a média e o desvio padrão para cada tratamento.

$$\rho_{ap} = m/(c.l.e) \quad (2)$$

Em que:  $\rho_{ap}$  é a densidade aparente ( $g\ cm^{-3}$ ), m a massa (g), c o comprimento da amostra (cm), l a largura da amostra (cm) e e a espessura da amostra (cm)

O ensaio para determinar a umidade foi realizado segundo as prescrições da NBR 9484 (ABNT 2011), pelo qual a massa inicial de cada amostra foi determinada em uma balança digital, com precisão de ( $\pm 0,001$  g). Em seguida cada amostra foi levada a uma estufa a temperatura de  $103\ ^\circ C \pm 2\ ^\circ C$ , onde foi mantida até que a massa aferida fosse constante e assim determinada a massa seca. A umidade de cada amostra foi determinada pela Equação 3.

$$U_{(\%)} = [(m_s - m_u)/m_s] \cdot 100 \quad (3)$$

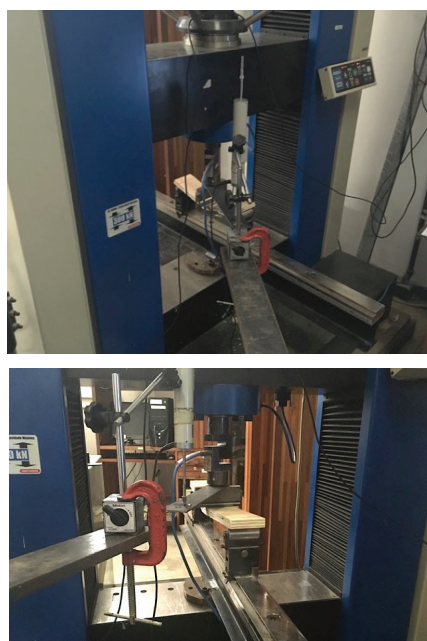
onde: U (%) é a umidade (%),  $m_u$  a massa inicial (g) e  $m_s$  a massa seca (g).

### 2.4 Ensaio de flexão estática

Para os ensaios de flexão que visam determinar o módulo de elasticidade (E) e a tensão de ruptura ( $\sigma_{máx}$ ) na fibra tracionada, foram utilizadas as especificações da NBR 9533 (ABNT, 2012). De acordo com esta norma o vão do CP, para este ensaio, deve ser igual a 25 vezes a espessura da peça, assim, para os corpos de prova com espessura de 11,1 mm o vão foi de 277,5 mm e para espessura de 18,3 mm o vão foi de 457,5 mm. Para a realização desses ensaios, foram montados sobre a viga da máquina de ensaio dois apoios

paralelos, ajustáveis e alinháveis no plano horizontal, sendo que o comprimento dos apoios deveria exceder a largura do CP. Além disso, um cutelo para aplicação da força, com o mesmo comprimento e diâmetro dos apoios, foi posicionado de forma paralela e equidistante destes.

Os ensaios de flexão a três pontos foram realizados na máquina universal EMIC DL-30.000 com capacidade máxima de 300 kN. Para a determinação da força aplicada, foi conectada, no embolo do cilindro hidráulico da máquina, uma célula de carga marca Sensotec de capacidade de 30 kN e em ela conectado o cutelo de carregamento, conforme mostra a Figura 3. Para medir o deslocamento vertical da seção central do CP durante o ensaio, foi utilizado um transdutor de deslocamento (displacement transducer - DT) do tipo DT-100A, da marca Kyowa, com curso de 100 mm e precisão de 0,01 mm. Uma base magnética para prender o DT foi acoplada em uma chapa de aço fixada em um pilarete de aço externo à máquina de ensaio e a parte móvel do DT, responsável pela leitura do deslocamento, foi apoiada em outra chapa de aço presa no cutelo de carregamento.



**Figura 3** - Máquina universal de ensaios EMIC DL-30.000, sistema de aplicação de força durante a realização de um ensaio de flexão a três pontos  
**Fonte:** Autores, 2018.

Para o monitoramento do ensaio, foi utilizado um sistema de aquisição de dados (SAD) modelo Spider8600 Hz de fabricação da Hotting Baldwin Measurements (HBM) junto ao software Catman 4.5 Release 2 [Interactive]. O DT e a célula de carga foram conectados ao SAD, sendo possível, dessa maneira, monitorar e registrar os dados dos ensaios e, então, exportá-los para uma planilha eletrônica do Excel para o tratamento de dados. Para o controle da máquina universal de ensaios foi utilizado o software Tesc versão 4.03.

Durante os ensaios, os CPs foram posicionados na máquina conforme as prescrições da norma, sendo o plano de maior superfície do CP disposto horizontalmente e perpendicular aos aparelhos de apoio (Figura 3). A força foi aplicada por meio do cutelo, continuamente, a uma velocidade constante e calculada pela Equação 4. Assim, para os CPs de espessura nominal de 11,1 mm e vão de 277,5 mm, a velocidade utilizada durante os ensaios foi de 3,47 mm s<sup>-1</sup> e, para os CPs de 18,3 mm de espessura e vão de 457,5 mm, a velocidade utilizada foi de 5,72 mm/s<sup>-1</sup>.

$$V=(K.L^2)/(6.e) \quad (4)$$

Em que: V é a velocidade de carregamento (mm s<sup>-1</sup>), K é a taxa de deformação de fibra igual a 0,00005, L é a distância entre apoios (vão) em mm e, e, é a espessura do CP (mm).

Para calcular o módulo de elasticidade (E) dos CPs, foi utilizada a Equação 5.

$$E = [L^3.(F_2 - F_1)] / [4.l.e^3 (S_2 - S_1)] \quad (5)$$

Em que: E é o módulo de elasticidade (MPa), L é a distância entre os centros de apoios (vão) em mm, l é a largura do corpo de prova (mm), e é a espessura do corpo de prova (mm), F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub> é o incremento de força no trecho reto da curva força versus deslocamento com exatidão de 1 % (N) e S<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> é o incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente a F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub> com exatidão de 0,01 mm.

Para calcular a tensão de ruptura à flexão estática, foi utilizada a Equação 6.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = (3.F_{m\acute{a}x}.L)/(2.l.e^2) \quad (6)$$

Sendo  $\sigma_{m\acute{a}x}$  a tensão de ruptura à flexão estática com exatidão de 0,5 MPa, F<sub>m<sup>á</sup>x</sub> a força de ruptura (N) e L, l, e, conforme definido anteriormente e expressas em mm.

A partir dos ensaios de flexão foram gerados os gráficos de força versus flecha e, então, calculadas as tensões máximas de ruptura à flexão estática ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) e módulos de elasticidade (E) de cada CP, no qual foram utilizadas as médias das

larguras e das espessuras medidas. Além disso, foram determinados os valores da variância (Var), do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (Cv) dos ensaios realizados. De um modo geral, se obteve resultados homogêneos (baixa dispersão) para Cv ≤ 15 %, média dispersão para 15 % <Cv< 30 % e resultados heterogêneos (alta dispersão) para Cv ≥ 30 %.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Umidade (U) e Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ )

De acordo com o ensaio de umidade, foi possível constatar que as amostras têm uma umidade de equilíbrio dentro do esperado para a cidade de Belo Horizonte, e variam de 12 a 14%, Tabela 2. Quanto à densidade aparente praticamente não existe variação da mesma entre espessura da chapa e a direção.

Série	Umidade (%)	Densidade (g.cm-3)
FH 11,1 L	12,89 ± 0,02	0,55 ± 0,02
FH 11,1 T	12,78 ± 0,03	0,54 ± 0,01
FH 18,3 L	12,98 ± 0,02	0,56 ± 0,02
FH 18,3 T	12,88 ± 0,03	0,55 ± 0,02

Tabela 2 – Resultados de umidade e densidade aparente  
 Fonte: preparado pelos autores

#### 3.2 Módulo de elasticidade (E) e tensão de ruptura ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ )

Após tratamento dos dados experimentais e avaliação adequada dos valores outliers de cada série, são apresentados os valores médios para o módulo de elasticidade (E), para a tensão de ruptura ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) e seus respectivos C<sub>v</sub>, na Tabela 3. Percebe-se, em uma análise inicial, que a espessura e a direção das lâminas influenciam os valores médios dos módulos de elasticidade (E); já para a tensão de ruptura ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ), apenas a direção das lâminas, aparentemente, influência seus valores médios. Pode-se confirmar, pelos C<sub>v</sub>, que os resultados tiveram média dispersão o que indica boa qualidade na obtenção dos resultados já que o material é bastante heterogêneo.

Série	Corpo de Prova	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	C <sub>v</sub> (%)	E (MPa)	C <sub>v</sub> (%)
FH 11,1 L	CP 1 a CP 20	34,85	25,09%	3690,24	19,08%
FH 11,1 T	CP 1 a CP 20	22,47	35,97%	3026,81	10,95%
FH 18,3 L	CP 1 a CP 20	34,45	19,11%	3738,89	13,99%
FH 18,3 T	CP 1 a CP 20	25,11	20,16%	2717,64	16,96%

Tabela 3 – Valores médios do módulo de elasticidade (E) e da tensão de ruptura ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) e, seus respectivos C<sub>v</sub>  
 Fonte: preparado pelos autores

Na Figura 4, são apresentados os gráficos de distribuição de todos os valores de cada série e numa avaliação inicial pode-se afirmar que os valores dos módulos de elasticidade (E) das chapas de compensado de madeira na direção longitudinal, com espessuras de 11 mm e 18 mm, podem ser considerados iguais, já na direção transversal não são iguais. A análise para a tensão de ruptura ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) é similar.

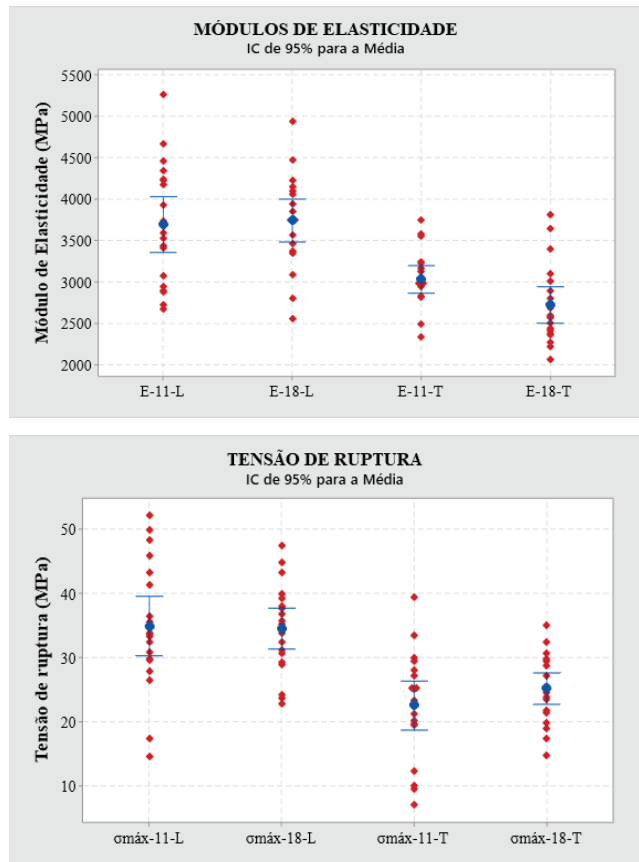


Figura 4 – Gráficos de distribuição de todos os valores de cada série  
 Fonte: Autores, 2018.

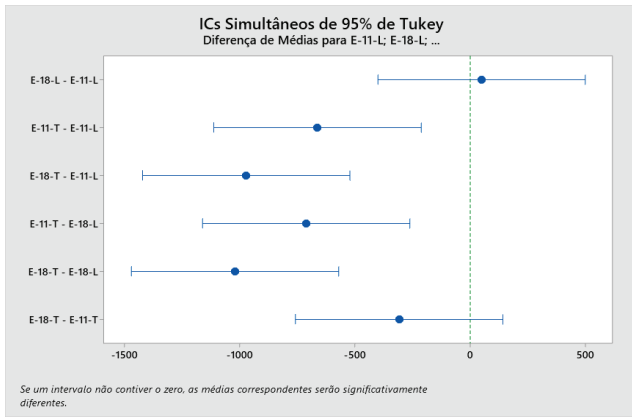
Para uma confirmação estatística, foi feita uma análise de variância (ANOVA) considerando a hipótese de que não exista diferença entre as médias das séries de valores. Constatando-se diferença entre as médias das séries de valores pela ANOVA, foi utilizado o teste Tukey, com 95% de confiança, para a comparação entre as médias das séries. Nas Tabelas 4 e 5 e na Figura 5, apresenta-se um resumo dessa análise. Pelos resultados das informações de agrupamento indicados na Tabela 4, pode-se afirmar com 95% de nível de confiança que o módulo de elasticidade (E) independe da espessura da chapa do compensado. Esta afirmação a princípio parece redundante, entretanto, como a quantidade de lâminas e direção das fibras varia com a espessura isto poderia influenciar no E. Por outro lado, a direção longitudinal ou transversal influencia no E. Assim, este material pode ser considerado como ortotrópico plano. Estas considerações são confirmadas pelos testes simultâneos para as diferenças de médias onde se observam os intervalos de confiança (IC) que contêm o zero e o p-value > 0,05. Os gráficos dos ICs simultâneos também confirmam essas afirmações.

Fator	N	Média	Agrupamento
FH 18,3 L (E-18-L)	20	3739	A
FH 11,1 L (E-11-L)	20	3690	A
FH 11,1 T (E-11-T)	20	3026	B
FH 18,3 T (E-18-T)	20	2718	B

Tabela 4 – Informações de agrupamento usando o teste Tukey com 95% de Confiança (Médias de E que não compartilham uma letra são significativamente diferentes)  
 Fonte: preparado pelos autores

Diferença de níveis	Diferença de médias	EP da Diferença	IC de 95%	Valor - T	Valor - P Ajustado
FH 18,3 L - FH 11,1 L (E-18-L - E-11-L)	49	171	(-401;499)	0,28	0,992
FH 11,1 T - FH 11,1 L (E-11-T - E-11-L)	-664	171	(-1114;-214)	-3,88	0,001
FH 18,3 T - FH 11,1 L (E-18-T - E-11-L)	-973	171	(-1423;-523)	-5,68	0,000
FH 11,1 T - FH 18,3 L (E-11-T - E-18-L)	-712	171	(-1162;-262)	-4,16	0,000
FH 18,3 T - FH 18,3 L (E-18-T - E-18-L)	-1021	171	(-1471;-571)	-5,97	0,000
FH 18,3 T - FH 11,1 T (E-18-T - E-11-T)	-309	171	(-759;141)	-1,81	0,279

Tabela 5 – Testes Simultâneos o teste Tukey para as Diferenças de Médias (Nível de Confiança individual = 98,97%)  
 Fonte: preparado pelos autores



**Figura 5** – Resumo da ANOVA para os módulos de elasticidade (E), teste Tukey  
**Fonte:** Autores, 2018.

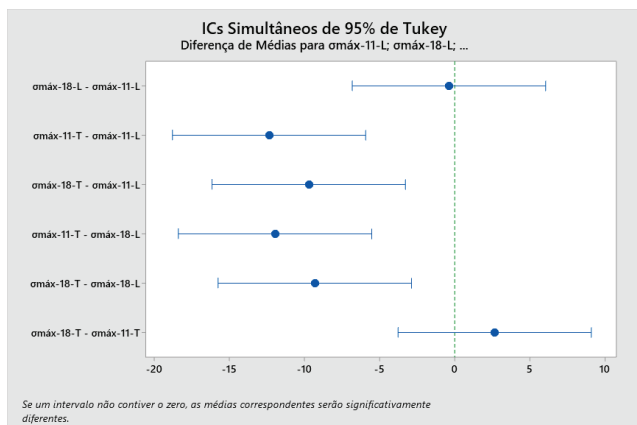
Para a tensão de ruptura ( $\sigma_{\max}$ ) também foi feita uma análise de variância (ANOVA) utilizando o teste de Tukey para a comparação das médias quando detectadas diferenças estatisticamente significativas entre as séries pela ANOVA. Nas Tabelas 6 e 7 e na Figura 6, encontram-se os resultados desta análise. As conclusões e afirmações são idênticas às feitas para os módulos de elasticidade (E).

Fator	N	Média	Agrupamento
FH 11,1 L ( $\sigma_{\max}$ -11-L)	20	34,85	A
FH 18,3 L ( $\sigma_{\max}$ -18-L)	20	34,45	A
FH 18,3 T ( $\sigma_{\max}$ -18-T)	20	25,11	B
FH 11,1 T ( $\sigma_{\max}$ -11-T)	20	22,47	B

**Tabela 6** – Informações de agrupamento usando o teste Tukey e 95% de Confiança (Médias de  $\sigma_{\max}$  que não compartilham uma letra são significativamente diferentes)  
**Fonte:** preparado pelos autores

Diferença de níveis	Diferença de médias	EP da Diferença	IC de 95%	Valor - T	Valor - P Ajustado
FH 18,3 L - FH 11,1 L ( $\sigma_{\max}$ -18-L - $\sigma_{\max}$ -11-L)	-0,40	2,45	(-6,83; 6,03)	-0,16	0,998
FH 11,1 T - FH 11,1 L ( $\sigma_{\max}$ -11-T - $\sigma_{\max}$ -11-L)	-12,38	2,45	(-18,81; -5,94)	-5,06	0,000
FH 18,3 T - FH 11,1 L ( $\sigma_{\max}$ -18-T - $\sigma_{\max}$ -11-L)	-9,74	2,45	(-16,17; -3,30)	-3,98	0,001
FH 11,1 T - FH 18,3 L ( $\sigma_{\max}$ -11-T - $\sigma_{\max}$ -18-L)	-11,98	2,45	(-18,41; 5,54)	-4,90	0,000
FH 18,3 T - FH 18,3 L ( $\sigma_{\max}$ -18-T - $\sigma_{\max}$ -18-L)	-9,33	2,45	(-15,77; -2,90)	-3,82	0,002
FH 18,3 T - FH 11,1 T ( $\sigma_{\max}$ -18-T - $\sigma_{\max}$ -11-T)	2,64	2,45	(-3,79; 9,07)	1,08	0,703

**Tabela 7** – Testes Simultâneos de Tukey para as Diferenças de Médias (Nível de Confiança individual = 98,97%)  
**Fonte:** preparado pelos autores



**Figura 6** – Resumo da ANOVA para a tensão de ruptura ( $\sigma_{\max}$ ), método de Tukey  
**Fonte:** Autores, 2018.

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade (E) das chapas de compensado estrutural foram maiores em quase todos casos que aqueles das placas de OSB apresentados nos estudos de paredes de cisalhamento do

sistema LSF (referencial bibliográfico). Assim, pode-se concluir que é possível utilizar as chapas de compensado estrutural em paredes de cisalhamento do sistema LSF. Na Tabela 4, é apresentada uma síntese dos módulos de elasticidade (E) das chapas de OSB, dos pesquisadores que usaram estas chapas no sistema LSF, e os módulos de elasticidade (E) obtidos neste trabalho, para as chapas de 11,1 mm e 18,3 mm. Percebe-se que apenas o valor para o E, apresentados por Vieira Jr. et al. (2013), é maior que os valores encontrados neste trabalho, isso provavelmente se deve ao fato da placa de OSB utilizada ser de qualidade estrutural. Um outro fator importante é o nível de ortotropia da placa, quanto menor a razão entre o módulo de elasticidade (E) longitudinal e o módulo de elasticidade (E) transversal o nível de ortotropia também é menor. Assim o desempenho estrutural da chapa funcionando como fechamento das paredes ao cisalhamento será mais eficiente. A última coluna da Tabela 8, apresenta esta



razão, podendo-se observar que para o compensado estrutural esta razão é praticamente a metade do valor encontrado para o OSB. Assim, existe expectativa de que o funcionamento do compensado estrutural como placa de cisalhamento no sistema LSF seja mais eficiente.

Autor	Espessura (mm)	EL (MPa)	ET (MPa)	EL/ET (razão)
Tian et al. (2004) - (OSB)	Não informado	3500	1400	2,5
Bevilaqua (2005) - (OSB)	12	3500	1400	2,5
Vieira Jr. et al. (2013) (OSB)	11,1	6426	----	---
Rosa (2018) (OSB)	12	1949	----	---
Este estudo (Compensado)	11,1	3690	3026	1,22
Este estudo (Compensado)	18,3	3739	2718	1,38

**Tabela 8** - Valores dos módulos de elasticidade (E) dos autores apresentados neste estudo e os encontrados experimentalmente no trabalho  
**Fonte:** preparado pelos autores

#### 4. CONCLUSÕES

Os módulos de elasticidade (E) e a tensão de ruptura ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ), tanto longitudinal como transversal, para as chapas e espessuras ensaiadas neste trabalho, não dependem da espessura da chapa de compensado, independentemente da quantidade de lâminas em cada direção.

A razão entre os módulos longitudinal e transversal do compensado é menor que a razão do OSB, o que indica ser menos ortotrópico, isto sugere um melhor desempenho do compensado quando utilizado como painel de cisalhamento.

Os módulos de elasticidade (E) das chapas de compensado estrutural sendo maiores que os das placas de OSB, permitem inferir que é possível utilizá-las no contraventamento dos painéis de cisalhamento do sistema LSF.

#### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à FAPEMIG pelo suporte financeiro neste projeto.

#### REFERÊNCIAS

ABU-HAMD, M. Experimental study on screw connections in cold-formed steel walls with cements heating. **Advances in Structural Engineering**, v. 22, n.9, p. 2033–2047, 2019.  
 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Compensado de Pinus – Catálogo Técnico nº 1**. Curitiba, 2007.  
 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR**

**8800**: 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 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9485**: Painéis de madeira compensada: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9484**: Painéis de madeira compensada: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9488**: Amostragem de compensados para ensaio – requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9533**: Compensado: Determinação da resistência à flexão estática. 2a. ed. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

BEVILAQUA, R. **Estudo Comparativo do Desempenho Estrutural de Prédios Estruturados em Perfis Formados a Frio Segundo os Sistemas Aporticado e "Light Steel Framing"**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

BREDEL, D.H. JR. **Performance Capabilities of Light-Frame Shear Walls Sheathed with Long OSB Panels**. Dissertação (Master of Science in Civil Engineering) - Polytechnic Institute and State University, Virginia, Estados Unidos EUA, 2003.

BRASIL. Ministério das Cidades – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT (2016) -revisão 2. **Diretriz SINAT 003: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing")**. Brasília, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. 2016..

CARDOSO, A.C.S.; RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. Estabilização de Sistemas Estruturais em Light Steel Frame com Painéis de Cisalhamento em OSB. In: **Anais: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais / CBECiMat**, Natal, 2016.

CRASTO, R.C.M; FREITAS, A.M.S.; SANTIAGO, A.K. **Steel Framing: Arquitetura**. 2a edição. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia - Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), 2012. 151p.

ELESBÃO, L. E. G. **Performance do Pinus Elliottii Engelm. E Pinus Taeda L. em Áreas Arenizadas e Degradadas no Oeste do Rio Grande do Sul**. Tese

(Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FENG, R. Q.; CAI, Q.; MA, Y.; LIU, S.; YAN, G. R. Simulation study on shear resistance of new cold-formed-steel-framed shear walls sheathed with steel sheet and gypsum boards. **Advances in Structural Engineering**, v. 23, n. 9, p. 1800–1812, 2020.

GANDRA, A. **Produção de aço bruto chega a 34,7 milhões de toneladas em 2018**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-01/producao-de-aco-bruto-chega-347-milhoes-de-toneladas-em-2018>>. Acesso em: 20 out. 2019.

GUARARAPES. **Compensados Guaraply**. 2018. Disponível em: <<http://www.guararapes.com.br/compensados-guaraply/-certificacoes>>. Acesso em: 20 outubro 2020.

HENRIQUES, J.; ROSA, N.; GERVASIO, H.; SANTOS, P.; SILVAL, S. Structural performance of light steel framing panels using screw connections subjected to lateral loading. **Thin-Walled Structures**, v.121, p. 67–88, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Informações sobre madeiras**: pinus-eliote. São Paulo: IPT, 2020. Disponível em: [https://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=7](https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7). Acesso em: 04 jun. 2020.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário estatístico 2020**. Rio de Janeiro: Instituto aço Brasil, 2020. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/06/Anuario\\_Completo\\_2020.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/06/Anuario_Completo_2020.pdf). Acesso em: 31 jan. 2021.

IWAKIRI, S.; KEINERT, S.; PRATA, J. G.; ROSSO, S. Produção de Painel Compensado Estrutural de Eucalyptus Grandis e Eucalyptus Dunnii. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 363-367, set/dez. 2007.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science). Pelotas, Rio Grande do Sul, v. 4, n. 2, p. 152-175, nov. 2013.

MORTAZAVI, M.; SHARAFI, P.; KILDASHTI, K.; SAMALI, B. Prefabricated hybrid steel wall panels for mid-rise construction in seismic regions. **Journal of Building Engineering**, v. 27, n. 1, 9 p., 2020, 100942.

PEHLIVAN, B. M.; BARAN, E.; TOPKAYA, C. Testing and analysis of different hold down devices for CFS construction. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 145, p. 97–115, 2018.

RODRIGUES, F.C.; CALDAS, R.B. **Steel Framing: Engenharia**. 2a edição revisada. Instituto Brasileiro de

Siderurgia - Centro Brasileiro da Construção em Aço, 224p. Rio de Janeiro, 2016.

ROSA, N. C. F. **Study of Structural and Thermal Performance of Light weight Steel Framing (LSF) Modular Construction**. Tese (PhD thesis in Steel and Composite Construction) - Faculty of Sciences and Technology University of Coimbra, Coimbra, 2018.

TIAN, Y. S.; WANG, J.; LU, T. J. Racking Strength and Stiffness of Cold-Formed Wall Frames. **Journal of Constructional Steel Research**. Cambridge, v. 60, p. 1069-1093, 2004.

USEFI, N.; SHARAFI, P.; RONAGH H. Numerical models for lateral behavior analysis of cold-formed steel framed walls: State of the art, evaluation and challenges. **Thin-Walled Structures**. v. 138, p. 252–285. 2019.

VIEIRA JR.L. C. M.; SCHAFER, B. W. Behavior and Design of Sheathed Cold-Formed Steel Stud Walls under Compression. **Journal of Structural Engineering**. Reston, v. 139, n. 5, p. 772-786, 2013.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7870-0283>

**EDGAR VLADIMIRO MANTILLA CARRASCO, Dr.** | Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, MG, Brasil | Correspondência para: R. Paraíba, 697 – Funcionários, Belo Horizonte – MG, 30130-140 | e-mail: mantilla.carrasco@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4059-3974>

**JANAÍNA COSTA REZENDE, M.Sc.** | Universidade Federal de Minas Gerais, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (PPG-ACPS), Belo Horizonte, MG, Brasil. | Correspondência para: R. Senhora das Mercês, 67, Apto: 701 - Bairro da Graça, Belo Horizonte - MG 31140-080. | e-mail: janacrezende@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6746-5465>

**FRANCISCO CARLOS RODRIGUES, Dr.** | Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, Brasil | Correspondência para: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901 | e-mail: francisco@dees.ufmg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7360-0232>

**JÚLIO CEZAR SILVA MARQUES** | Universidade Federal de Minas Gerais, Mestrando no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (PPG-ACPS), Belo Horizonte, MG, Brasil | Correspondência para: R. Januário Martins, 40, Vespasiano - MG. 33200-148 | e-mail: marquesjulio@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7426-0970>

**JUDY NORKA RODO MANTILLA, Dr.** | Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, Brasil | Correspondência para: R. Ouro Preto, 1240/1201 – Santo Agostinho, Belo Horizonte – MG, 30170-048 | e-mail: judynorka@gmail.com

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; REZENDE, Janaína Costa; RODRIGUES, Francisco Carlos; MARQUES, Júlio Cezar Silva; MANTILLA, Judy Norka Rodo. Sistema Construtivo Light Steel Framing: Avaliação Do Desempenho De Placas De Madeira Reconstituída. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 65-76, ago. 2021.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n3.65-76>.

**DATA DE ENVIO:** 12/11/2020

**DATA DE ACEITE:** 01/04/2021

