



AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS PLACAS CIMENTÍCIAS E DO COMPORTAMENTO DA LIGAÇÃO ENTRE AS PLACAS CIMENTÍCIAS E O RETICULADO DE AÇO DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING

Evaluation of the mechanical properties of cement board and behavior of the cement board - steel frame connection of the light steel framing system

Cardoso, A.C.S. (P) (1); Rodrigues, F. C.(2); Aguilar, M.T.P. (3); Caldas, R. B. (4); Rezende, J.C.(5).

- (1) Engenheira Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.
 - (2) Dr. Prof., Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.
 - (3) Dra. Profa., Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.
 - (4) Dr. Prof., Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.
 - (5) Arquiteta, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.
- Email para Correspondência: carolsaraivacardoso@yahoo.com.br; (P) Apresentador

Resumo: Esta pesquisa apresenta os resultados de um estudo teórico do comportamento da ligação de placas cimentícias com os perfis de aço formados a frio do sistema construtivo Light Steel Framing (LSF). O LSF é um sistema auto portante e industrializado constituído por módulos formados por reticulados metálicos de aço, painéis de vedação e parafusos auto-atarraxantes como meio de ligação. A placa cimentícia é usada como vedação neste sistema estrutural. Entretanto, por possuir considerável resistência mecânica, esta será avaliada por meio de ensaios para verificar sua contribuição no sistema estrutural como um todo. Sobretudo no subsistema da parede de cisalhamento, as placas de revestimento ligadas aos perfis podem ajudar a resistir as forças laterais e aos deslocamentos excessivos. Foram realizados ensaios de compressão, ensaios de tração na flexão (três pontos) e ensaios de cisalhamento para caracterização da placa cimentícia. Para avaliar a ligação entre placa e reticulado metálico foram projetados três modelos de corpos de prova em dimensões reduzidas para avaliar o comportamento dos parafusos de borda e de meio da placa em uma parede de cisalhamento. O comportamento dessas ligações foi analisado por meio dos gráficos de força-deslocamento. Observou-se que os valores da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da rigidez (k_e), da energia dissipada (A) e da ductilidade (μ) são diretamente influenciados pela espessura das placas e pelo espaçamento dos parafusos. Quanto maior a espessura das placas, maior será o valor de $P_{m\acute{a}x}$ e menores serão os valores de k_e e μ ; quanto menor for o espaçamento axial dos parafusos, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, A e μ .

Palavras chaves: *placas cimentícias; perfis de aço formados a frio; Light Steel Framing; estabilidade; painel de cisalhamento.*



Abstract: This research presents a Theoretical-Experimental Study on the Cement board connection behavior with steel reticulate profiles of the Light Steel Framing (LSF) construction system. The LSF is a system also known as self-supporting system of dry steel constructions. The cement board is used to seal the system. However, it has a considerable mechanical resistance and, maybe, can make part of the structural system. The cement board will replace the conventional bracing system. For this, it will be of great importance to observe the behavior of the connection between the cement board and the steel frame, that is, how the self-tapping screws are working in connection with these structural components. Compression tests, flexural tension tests (three points test) and shear tests were carried out to characterize the cement board. To evaluate the connection between plate and steel frame, three models of reduced scale specimens were designed to evaluate the edge and mean screws in a shear wall. It was observed that the values of the maximum force ($P_{m\acute{a}x}$), of the stiffness (k_e), of the dissipated energy (A) and of the ductility (μ) they are influenced by the thickness of the plates and for the spacing of the screws. As larger the thickness of the plates, larger will be the value of $P_{m\acute{a}x}$ and smaller will be the k_e and μ values; as smaller is the axial spacing of the screws, larger they will be the values of $P_{m\acute{a}x}$, A and μ .

Keywords: Cold-Formed profiles; Light Steel Framing; Cement Board; stability; Shear Panel.



1 INTRODUÇÃO

No Brasil a industrialização da construção civil iniciou-se principalmente a partir da década de 1980. E segue em um movimento de evolução com a racionalização e a industrialização dos canteiros de obra e dos sistemas construtivos adaptados às realidades brasileiras. A racionalização da construção baseia-se no uso racional de seus insumos, de forma a reduzir desperdícios, seja de material, equipamentos ou horas trabalhadas. Já o sistema industrializado tem como premissa a fabricação por uma indústria e montagem no canteiro. Desta forma, o sistema Light Steel Framing destaca-se como um sistema construtivo industrializado constituído por módulos estruturados por perfis leves de aço formados a frio (PFF), placas de vedação também leves e parafusos como elemento de ligação.

O LSF é um sistema construtivo que alia a construção rápida, a seco e um canteiro de obra reduzido. O uso de placas como revestimento agiliza ainda mais a produtividade da obra. Os revestimentos externos utilizados são as placas de Oriented Strand Board (OSB) e Placa Cimentícia (PLC).

Um importante subsistema do LSF é o shearwall, ou parede de cisalhamento, que ajuda na estabilização lateral da estrutura. Atualmente, o que é utilizado na estabilização dos painéis (como contraventamento) são perfis ou fitas de aço. Neste sentido, ao se obter o coeficiente de rigidez elástica (ou longitudinal) das ligações de borda e de centro do conjunto placa cimentícia, parafuso e reticulado metálico, pode-se futuramente empregar tal rigidez nos cálculos estruturais.

Já existem estudos visando conhecer o comportamento das ligações entre o reticulado metálico de aço do LSF com a placa de OSB. Entretanto, não existem estudos nacionais relativos ao comportamento do conjunto PLC e perfis de aço formados a frio no LSF. Ao estudar como este conjunto se comporta, damos um grande passo no sentido de avaliar a viabilidade de considerarmos as placas cimentícias como parte do corpo rígido da estrutura, ou seja, atuando como elemento de contraventamento da estrutura metálica.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar a ligação das placas cimentícias com o reticulado metálico do sistema estrutural Light Steel Frame. Para isto, será realizado um estudo teórico com base na literatura internacional das propriedades mecânicas do conjunto placa, parafuso e reticulado metálico de chapa fina formada a frio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos Gerais do Sistema Light Steel Framing

O Light Steel Framing pode ser entendido com um sistema construtivo formado por diversos subsistemas que quando trabalham em conjunto, e de forma adequada, fornecem ao usuário condições de uso com segurança estrutural, estanqueidade e

conforto térmico/acústico. Além disso, as premissas deste sistema consistem em possibilitar uma construção industrializada, racional e leve. Portanto, cada subsistema deve obedecer estes requisitos para que a edificação funcione corretamente e seja eficiente e competitiva frente a outros sistemas construtivos existentes.

Dentre os principais subsistemas tem-se: vedação interna, vedação externa, lajes, fundação, telhado, instalações hidráulicas e elétricas, paredes de cisalhamento (“shearwall”), isolamentos, impermeabilizações e dentre outros. Segundo RODRIGUES e CALDAS (2016), os principais componentes do sistema LSF podem ser visualizados na Figura 1.

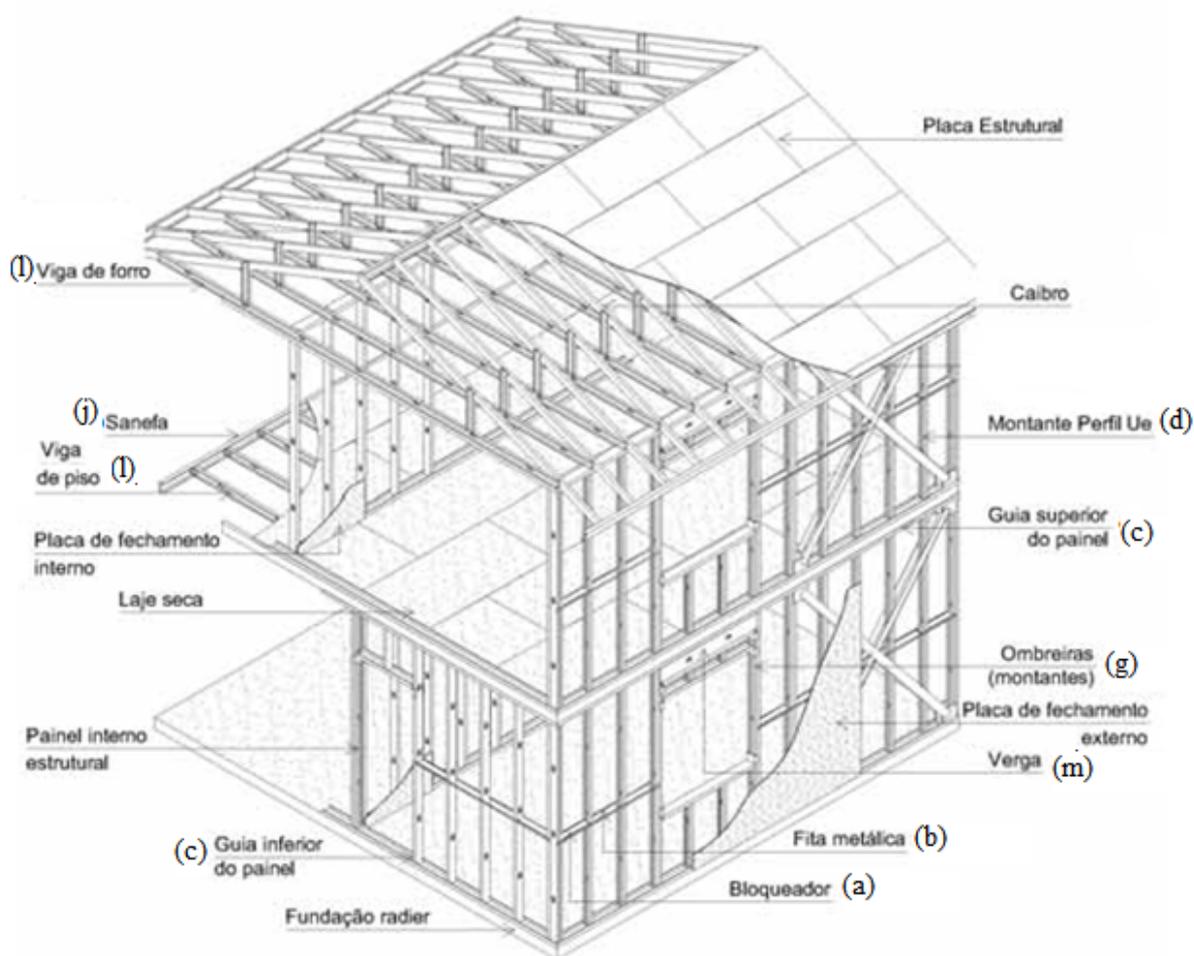


Figura 1 - Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing.

Fonte: (Manual de Arquitetura do CBCA).

Ainda segundo RODRIGUES e CALDAS (2016), para o cálculo estrutural de uma edificação em LSF o ideal é considerar o maior numero de elementos estruturais para suportar as cargas de tal forma que cada um seja responsável por resistir a uma pequena parcela da força total aplicada. Isto possibilita a utilização de perfis e painéis mais leves.

Além disso, a estrutura é montada alinhada (“in lineframing”) conforme pode ser observado na figura anterior. Este alinhamento possibilita que as cargas superiores sejam transmitidas até a fundação sem a necessidade de elementos mais espessos.

2.2 Parede de Cisalhamento

A parede de cisalhamento, também chamada de “shearwall”, é a parede perpendicular à parede barlavento. Conforme ilustra a Figura 2, as paredes shearwall são submetidas a forças de cisalhamento ao longo da sua largura. Tal solicitação origina-se nas forças laterais que incidem no painel barlavento e são transmitidas através dos elementos estruturais. As paredes de cisalhamento são responsáveis por resistir às forças laterais e aos deslocamentos excessivos.

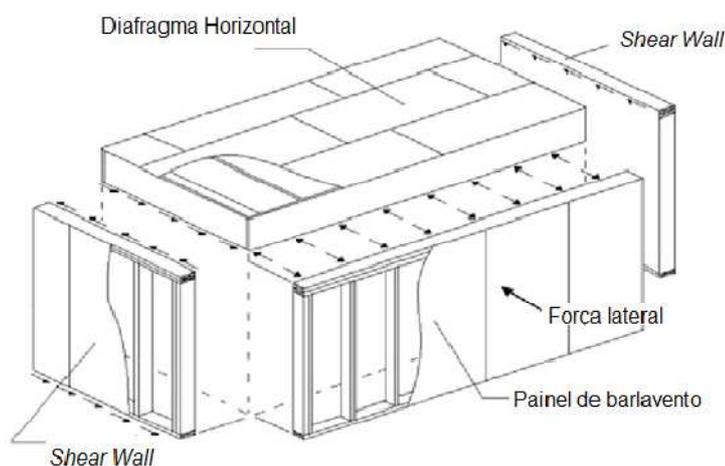


Figura 2 - Sistema de distribuição de força lateral

Fonte: (VITOR, 2012)

2.3 Perfis Formados a Frio

O perfil estrutural de aço formado a frio é o principal componente de uma edificação construída em LSF. Segundo a ABNT NBR 6355: 2012, os perfis são obtidos por dobramento, a partir de bobinas (fabricadas por laminação a frio ou a quente) revestidas ou não, sendo ambas as operações realizadas com o aço em temperatura ambiente.

A ABNT NBR 15253: 2014, que trata exclusivamente de perfis com revestimento metálico, estabelece (para uso no sistema LSF) uma espessura nominal mínima de 0,80 mm e máxima de 3,00 mm. A resistência ao escoamento mínima especificada nessa norma é de 230 MPa.

No mercado brasileiro pode-se encontrar usualmente seções U e Ue (U enrijecido) para guias e montantes, respectivamente. As almas dos perfis são de 90mm, 140mm e 200mm. Sendo que as mais utilizadas são as de 90mm e posteriormente as de 140mm. As dimensões das mesas e dos enrijecedores são padronizadas com 40mm e 12mm,



respectivamente. As espessuras de perfis mais comercializadas no mercado brasileiro são de 0,80mm e 0,95mm.

A ABNT NBR 14762: 2010 estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas e tiras de aço, conectados por parafusos e destinados a estruturas de edifícios. Sobre a utilização de aços com qualificação estrutural, essa norma recomenda que eles devem apresentar a relação na tração entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento (f_u/f_y) maior ou igual a 1,08. Ainda segundo

estes autores, a relação de $f_u/f_y \geq 1,08$ garante a ductilidade necessária do aço estrutural. A ductilidade do material representa a sua capacidade de deformação antes de sofrer ruptura. Portanto, um aço com $f_u/f_y < 1,08$, tende a deformar menos antes de romper.

2.4 Placa Cimentícia

A placa cimentícia é um material de aplicação ampla e diversificada, bem aceito no mercado e é facilmente encontrada em diversos tipos de obras. Segundo Speck (2014) as chapas lisas fabricadas em fibrocimento, surgiram no mercado nacional por volta dos anos 1970. Sua comercialização se intensificou a partir de 1990, com o desenvolvimento do mercado de construção seca e industrializada e com a retirada do amianto de sua composição em meados desta mesma década. Logo, as placas cimentícias passaram a ser utilizadas em larga escala e tem como principal aplicação o fechamento de painéis de LSF e em fachadas de modo geral.

Segundo Medeiros (2005), no Brasil, a maioria, das placas cimentícias é produzida com uma mistura de cimento Portland, agregados naturais de celulose e reforçadas com fios sintéticos e em menor escala encontram-se placas reforçadas com telas de fibra de vidro. Ainda segundo este mesmo autor, as principais características da PLC são a elevada durabilidade, a resistência a impactos e à umidade, é incombustível e compatível com quase todos os tipos de acabamento. Hofmann (2015) destaca ainda a elevada resistência a impacto, facilidade de corte, possibilidade de compor paredes curvas depois de saturadas em água e baixo peso próprio (até 18 kg/m²) facilitando o transporte e manuseio. A PLC cimentícia pode ainda ser utilizada como revestimento final simulando o acabamento em concreto aparente.

No Brasil as placas cimentícias são normatizadas pela ABNT por meio da norma NBR 15498: 2016 - Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos. De acordo com esta norma as placas cimentícias são definidas como “produto resultante da mistura de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto”.

3 TRABALHOS EXPERIMENTAIS SOBRE O COMPORTAMENTO DOS PAINÉIS SHEARWALL

3.1 Pesquisa Realizada por Baldassino et al (2014)

Esta pesquisa trata da análise dos ensaios de quatro tipos de painéis (ver Figura 3) de LSF sem contraventamentos (G8) ou com fitas de aço (G9) ou treliças (G5 e G7), com seis tipos de revestimentos em placas (ver Tabela 1) e em oito configurações diferentes conforme Tabela 2. Todas as paredes têm 2400 mm de altura, 3018 mm de largura e espessura de 100 mm mais a espessura das placas quando as paredes são utilizadas. Os montantes são espaçados em 400 mm, tem espessura de 1,20mm e possuem tensão de escoamento (f_y) de 280 MPa.

Os painéis foram submetidos a um carregamento vertical uniforme e um carregamento lateral variável a taxas controladas de força. Foram feitos ensaios com carregamento monotômico e cíclico. A Figura 4(a) apresenta a máquina usada para a aplicação das forças. Durante os ensaios foram registrados as forças e os deslocamentos (ver Figura 4 (b)).

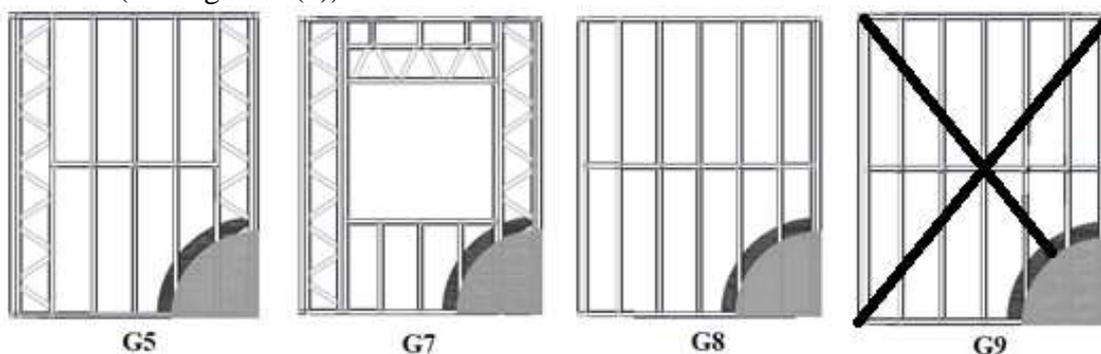


Figura 3 – Tipos de painéis
Fonte: (Baldassino et al., 2014)

Tabela 1 - Tipos de Revestimentos

| ID | Produto | Empresa | Material | Esp.Nominal (mm) |
|----|------------|---------------------|--|------------------|
| A | Aquaroc | Gyproc-Saint Gobain | Placa Cimentícia | 12,5 |
| B | Rigidur | Gyproc-Saint Gobain | Placa Cimentícia & Fibras de celulose | 12,5 |
| E | Bluclad | Edilit | Placa Cimentícia reforçadas com Fibras | 10,0 |
| F | Duripanel | Edilit | Chapa cimento e fibra de madeira | 12,5 |
| G | Powerpanel | Farmacell | Painéis de Cimento ligados reforçados com fibra de vidro | 12,5 |
| H | Fermacell | Farmacell | Placa de Gesso acartonado | 12,5 |

Fonte: (Baldassino et al., 2014 - Adaptado)

Tabela 2 - Configuração dos painéis revestidos.

| Nome | Revestimento | | Carregamento |
|-----------------|--------------|--------|--------------|
| | Lado 1 | Lado 2 | |
| G5 100 400 BB-1 | B | B | Monotômico |
| G5 100 400 BB-2 | B | B | Cíclico |
| G7 100 400 AB-1 | A | B | Monotômico |
| G8 100 400 EF-1 | E | F | Cíclico |
| G8 100 400 EF-2 | E | F | Monotômico |
| G8 100 400 BB-1 | B | B | Cíclico |
| G9 100 400 GH-1 | G | H | Monotômico |
| G9 100 400 GH-2 | G | H | Cíclico |

Fonte: (Baldassino et al., 2014 - Adaptado)



Figura 4 - (a) Configuração do ensaio. (b) Detalhe da posição dos medidores de deslocamento.
 Fonte: (Baldassino et al., 2014)

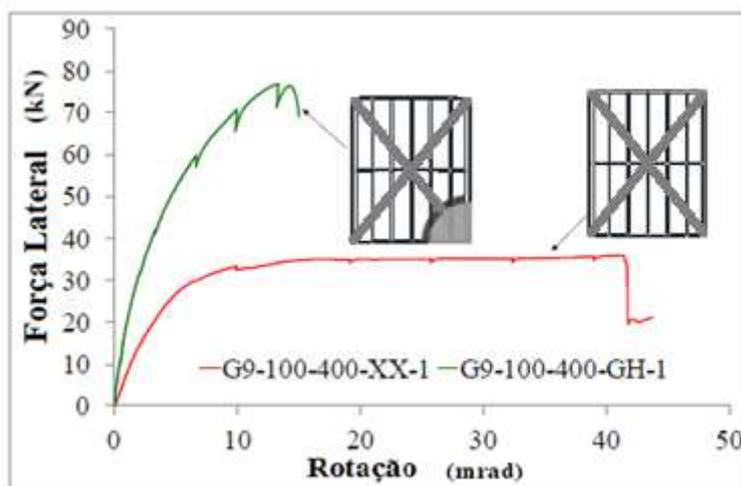


Figura 5 - Resultado do ensaio de painéis G9 com e sem fechamento GH.



Fonte: (Baldassino et al., 2014 - Adaptado)

A Figura 5 representa o resultado do painel tipo G9 ao ser submetido a carregamento lateral monotômico em duas configurações: sem revestimento e encapsulado com uma placa de gesso acartonado (H) e painéis de Cimento ligados reforçados com fibra de vidro (G).

3.2 Pesquisa Realizada por Accorti et al (2016)

A pesquisa realizada por Accorti et al (2016) faz parte do mesmo grupo de pesquisa do estudo realizado por Baldassino et al (2014). Desta forma, a nomenclatura utilizada nos tipos de painéis, nos revestimentos e nos painéis revestidos é a mesma conforme Figura 3, Tabela 1 e Tabela 3.

A Figura 4 ilustra a configuração do ensaio das paredes de cisalhamento com a aplicação de forças horizontais e verticais. A força vertical aplicada foi de 17.07 kN/m, o que representaria o fator de carregamento de um edifício de dois andares. O máximo deslocamento horizontal permitido pelo sistema foi de 200mm e ± 100 mm para o carregamento monotômico e cíclico, respectivamente. Em alguns testes, essa limitação não permitiu atingir o deslocamento máximo do corpo de prova ensaiado.

Para a construção dos modelos, os perfis utilizados foram perfis com alma de 100 mm e mesa de 50 mm e fitas de aço com 85mm de largura. Todos os elementos têm espessura de 1,20mm e $f_y = 280$ MPa.

Tabela 3 - Revestimento dos painéis ensaiados

| Modelo | Revestimento | | Espaçamento de parafuso Placa-perfil | |
|---------------|--------------|--------|--------------------------------------|------------------|
| | Lado 1 | Lado 2 | Parafuso de borda | Parafuso interno |
| G6 100 400 XX | - | - | - | - |
| G7 100 400 XX | - | - | - | - |
| G9 100 400 XX | - | - | - | - |
| G5 100 400 BB | B | B | 150mm | 300mm |
| G8 100 400 EF | E | F | 150mm | 300mm |
| G9 100 400 GH | G | H | 200mm | 400mm |

Fonte: (Accorti et al, 2016- Adaptado)

Os parafusos utilizados na ligação entre perfis foram os parafusos auto-brocantes 6,3 mm \times 25 mm, entre perfil e revestimento utilizaram-se parafusos auto-brocantes 4,2 mm \times 25 mm. Nas paredes G5 100 400 BB e G8 100 400 EF o espaçamento entre os parafusos que ligavam o revestimento à placa eram de 150 mm e 300 mm, para parafusos na borda e internos, respectivamente. Na parede G9 100 400 GH os espaçamentos foram de 200mm e 400mm, para parafusos na borda e internos à placa, respectivamente.

Os ensaios mostraram que a presença de revestimento com placas altera significativamente a respostas dos painéis e seu modo de colapso. Pode-se comprovar estas mudanças observando os modos de falhas sem revestimento da Figura 6 e os colapsos com revestimento observados na Figura 7. A Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam os resultados obtidos, onde a rigidez foi calculada com 40% da resistência máxima ($0,4F_{ult}$).

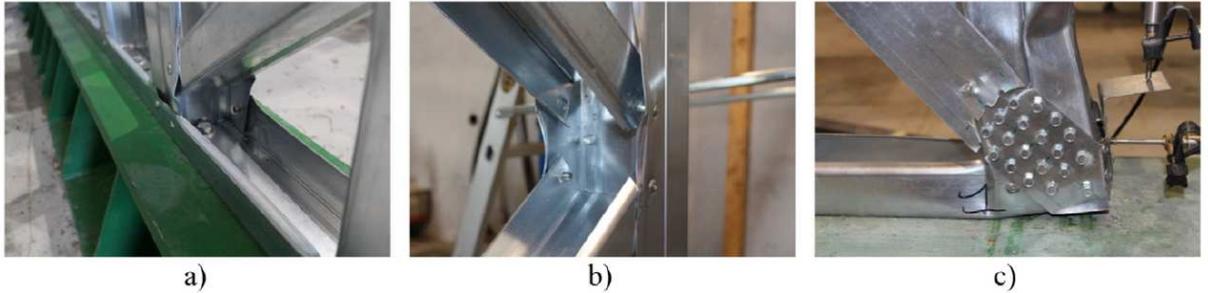


Figura 6 - Exemplos de modos de colapso para painéis sem revestimento.
Fonte: (Accorti et al, 2016)

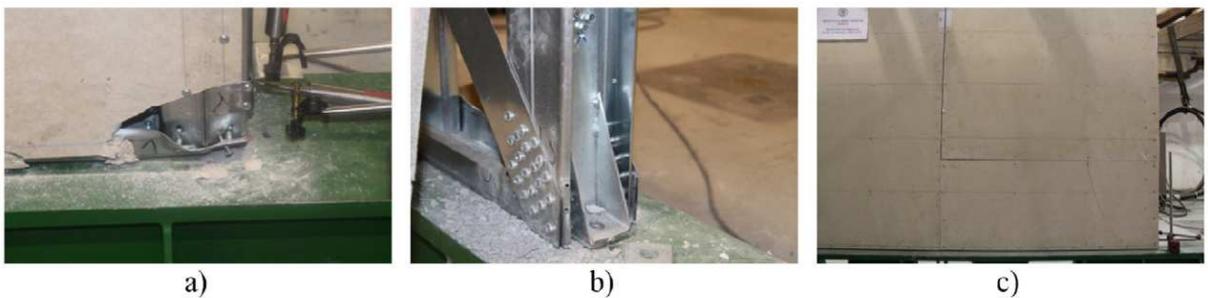


Figura 7 - Exemplos de modos de colapso para painéis com revestimento.
Fonte: (Accorti et al, 2016)

Tabela 4 - Resultados dos modelos sem revestimento

| Modelo | Tipo de Carregamento | Força Positiva | | | Força Negativa | | |
|-----------------|----------------------|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|---------------------------|
| | | Rigidez | Resistência última F_{ult} | Deslocamento no F_{ult} | Rigidez | Resistência última F_{ult} | Deslocamento no F_{ult} |
| | | kN/m | kN | mm | kN/m | kN | mm |
| G5 100 400 XX-1 | Monotônico | 261 | 12.560 | 36,4 | - | - | - |
| G5 100 400 XX-2 | Cíclico | 280 | 14.920 | 36,5 | 317 | -14.960 | -36,6 |
| G7 100 400 XX-1 | Cíclico | 429 | 14.240 | 28,4 | 606 | -14.880 | -24,3 |
| G9 100 400 XX-1 | Monotônico | 2361 | 35.920 | 40,9 | - | - | - |
| G9 100 400 XX-2 | Cíclico | 2356 | 35.840 | 31,5 | 2388 | -39.520 | -25,6 |

Fonte: (Accorti et al, 2016- Adaptado)

Tabela 5 - Resultados dos modelos com revestimento.

| Modelo | Tipo de Carregamento | Força Positiva | | | Força Negativa | | |
|-----------------|----------------------|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|---------------------------|
| | | Rigidez | Resistência última F_{ult} | Deslocamento no F_{ult} | Rigidez | Resistência última F_{ult} | Deslocamento no F_{ult} |
| | | kN/m | kN | mm | kN/m | kN | mm |
| G5 100 400 BB-1 | Monotônico | 6760 | 64.200 | 9,7 | - | - | - |
| G5 100 400 BB-2 | Cíclico | 5639 | 62.720 | 10,3 | 5535 | -60.600 | -10,1 |
| G8 100 400 EF-1 | Monotônico | 6044 | 70.040 | 17,3 | - | - | - |
| G8 100 400 EF-2 | Cíclico | 5463 | 66.800 | 10,8 | 5254 | -68.880 | -10,6 |
| G9 100 400 GH-1 | Monotônico | 5320 | 76.920 | 13,3 | - | - | - |
| G9 100 400 GH-2 | Cíclico | 3824 | 70.760 | 18,0 | 2769 | -67.120 | -14,1 |

Fonte: (Accorti et al, 2016 - Adaptado)

Segundo Accorti et al (2016), “a presença de revestimento nos painéis proporciona um diferente e mais eficiente mecanismo de transmissão de forças entre os perfis de aço

se comparados com os painéis não revestidos. As placas de revestimento e as conexões placa-perfil redistribuem as forças entre os perfis e previnem ou retardam o fenômeno da instabilidade dos montantes simples e duplos. Entretanto, os parafusos entre os perfis e os hold-downs, e a ancoragem dos hold-downs são mais severamente tencionados. A combinação destes fatores leva a um incremento da resistência e da rigidez, mas ao preço de reduzir a capacidade última de deformação.”

3.3 Pesquisa Realizada por Shahi et al (2014)

Nesta pesquisa foram feitos estudos experimentais com dois modelos de painéis revestidos em apenas um dos lados ou nos dois lados por placas cimentícias análogas com espessura de 5 mm, conforme Tabela 6. As placas cimentícias foram conectadas aos montantes com parafusos espaçados em 100 mm ao longo de seu perímetro e 150 mm no interior da placa. Os montantes utilizados têm espessura de 0,75 mm, alma nominal de 90 mm e foram espaçados de acordo com o apresentado pela referida tabela.

Foram aplicados carregamentos monotômicos e cíclicos com deslocamentos controlados a uma taxa de 2 a 4mm/min e 4 a 16mm/min, respectivamente.

Tabela 6 - Caracterização dos modelos de painéis ensaiados.

| Modelo | Carregamento | Largura (L) | Altura (H) | Esp. Montante | H/L | Número de placas |
|-----------|--------------|-------------|------------|---------------|-----|------------------|
| FCB-Mon-A | Monotômico | 2400 mm | 2400 mm | 600 mm | 1,0 | 2 |
| FCB-Mon-B | Monotômico | 900 mm | 2400 mm | 450 mm | 2,7 | 1 |
| FCB-Cic-A | Cíclico | 2400 mm | 2400 mm | 600 mm | 1,0 | 2 |
| FCB-Cic-B | Cíclico | 900 mm | 2400 mm | 450 mm | 2,7 | 1 |

Fonte: (Shahi et al, 2014 - Adaptado)

Após os ensaios foram elaborados os gráficos da Figura 8 e os resultados máximos de deslocamento e de força foram anotados na Tabela 7. Observou-se que FCB Mon-A é cerca de 30% mais rígido que o painel FCB Mon-B. E a fase inelástica em A começou por volta de 60% da força última, ao passo que no painel B a fase inelástica teve seu início quando foi atingida 40% da força última.

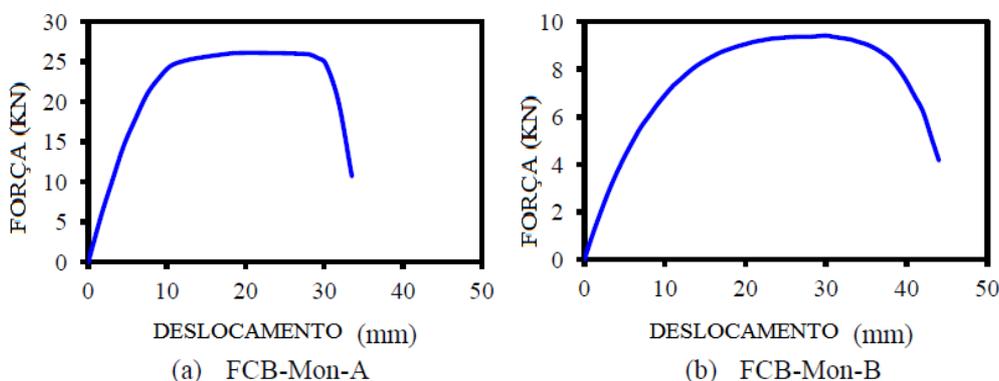


Figura 8 – Gráfico do comportamento dos painéis A e B no ensaio monotômico

Fonte: (Shahi et al, 2014 - Adaptado)

Tabela 7 - Resultado dos ensaios monotômicos

| Modelo | Força Máxima (kN) | Desloc. assoc. à Força Máx. (mm) |
|-----------|-------------------|----------------------------------|
| FCB-Mon-A | 26,1 | 23,4 |



| | | |
|-----------|-----|------|
| FCB-Mon-B | 9,4 | 27,9 |
|-----------|-----|------|

Fonte: (Shahi et al, 2014 - Adaptado)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao avaliar o comportamento da ligação entre as placas cimentícias e o reticulado metálico tem-se que avaliar não só as propriedades individuais de cada elemento como também qual é o espaçamento destas ligações para então calcular qual é a carga suportada por cada ligação individualmente. Nesta seção serão comparadas as propriedades de cada elemento, sendo estes, o aço, a seção do reticulado metálico e as dimensões dos corpos de prova, as propriedades do parafuso e as propriedades das placas. Posteriormente, será feita uma análise da ligação propriamente dita comparando com as montagens sem revestimento.

4.1 Propriedades Gerais dos Elementos

Ao analisar o reticulado metálico das pesquisas em questão percebe-se que Accorti e Baldassino utilizaram os mesmos perfis com alma de 100mm, espessura de 1,20mm e espaçamento entre montantes de 500mm. Ao passo que Shahi utilizou mesmos perfis com alma de 90mm, espessura de 0,75mm e espaçamento entre montantes variável de 450mm e 600mm. Em relação ao tipo de aço Shahi não especificou a tensão de escoamento do material utilizado. As demais pesquisas utilizaram aço com $f_y = 280$ MPa.

Todas as pesquisas utilizaram corpos de prova (CP) com altura de 2400mm o que coincide com a altura padrão da chapa de revestimento. Entretanto, as larguras utilizadas nos cps foi variada: 900mm (Shahi), 2400mm (Shahi) e 3018mm (Accorti e Baldassino). Portanto, foram utilizadas quantidades distintas de montantes, ou seja, 3, 5 e 8 montantes, respectivamente. Isto é relevante, pois quanto maior o numero de montantes maior o numero de ligações internas entre PLC e PFF.

As placas utilizadas nas pesquisas foram de 5mm (Shahi), 10mm (Accorti e Baldassino) e 12,5mm (Accorti e Baldassino). Conforme observa-se na norma brasileira NBR 15498: 2016 e nas pesquisas em questão, existe uma grande variedade de fabricação das placas cimentícias. O conceito que nomeia o material placa cimentícia é amplo e cada fabricante tem uma liberdade grande no que tange a sua composição e fabricação. Um bom exemplo desta diversidade encontra-se na Tabela 1, as placas cimentícias identificadas como A e B são fabricadas pela mesma empresa e tem a mesma espessura, entretanto, são produtos diferentes, já que uma tem adição de fibras de celulose em sua constituição e a outra não.

O último elemento a ser analisado é o parafuso. Estes são resistentes e espaçados o suficiente para não serem os responsáveis pelo colapso da estrutural dos cps. Todos os parafusos empregados são auto-brocantes. Os parafusos da ligação placa cimentícia e reticulado metálico são alongados e possuem aletas laterais.



4.2 Análise do Comportamento da Ligação entre as PLC e o Reticulado Metálico

Analisado os dados experimentais dos painéis de cisalhamento ensaiados observa-se um padrão de que quanto mais placas cimentícias são usadas e maior a espessura destas placas, maior é a força suportada pelo painel. Além disso, os modelos perdem uma parte considerável da sua capacidade de deformação.

Na Figura 5, ao comparar as duas curvas uma com revestimento (uma placa de gesso acartonado e uma placa cimentícia) e outra sem revestimento, ambas com contraventamento de fitas de aço em X, observa-se que a primeira curva (com revestimento), em comparação com a segunda curva, apresenta um incremento de carga máxima de, aproximadamente, 217% e uma diminuição de 71% no deslocamento associado à carga última.

Outro fato que comprova estas características pode ser observado na Tabela 4 e na Tabela 5. Tomando a primeira como referência por não apresentar revestimento, é possível perceber um incremento de, aproximadamente, 511% e uma diminuição de 73% no deslocamento associado à carga última no modelo G5 com carregamento monotônico.

Por fim, na Tabela 7, compara-se o modelo A com duas placas cimentícias e o modelo B apenas com uma placa cimentícia. Tomando-se o modelo B como referência o modelo A apresentou um incremento de carga máxima de, aproximadamente, 271% e uma diminuição de 16% no deslocamento associado à carga última. Os dados confirmam a teoria de que quanto mais placas, maior a força resistente e menos os deslocamentos. Entretanto, a pequena diferença de -16% no deslocamento pode ser explicada por uma maior número de montantes no modelo A, dois a mais que no modelo B.

Portanto, a conclusão de Accorti et al (2016), quanto ao efeito benéfico da presença de revestimento nos painéis pôde ser confirmada nas demais pesquisas e comprovadas por este artigo. Ou seja, está comprovado que os revestimentos possibilitam um mecanismo mais eficiente de transmissão de forças entre os seus elementos.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados pode-se concluir que a placa cimentícia ao ser utilizada como revestimento nos painéis do sistema LSF melhora a distribuição de forças quando estes estão trabalhando como paredes de contraventamento ou shearwall. Por outro lado, os demais elementos como os parafusos aço-aço e as ancoragens (hold-downs) são mais solicitadas, ou “mais severamente tensionadas” (Accorti et al, 2016) o que confirma e explica a diminuição da capacidade de deslocamento dos painéis.

Conclui-se ainda que é de suma importância o desenvolvimento de estudos nacionais a cerca da interação placa cimentícia e reticulado metálico no sistema construtivo LSF. As placas analisadas nas pesquisas anteriores diferem das placas cimentícias disponíveis no mercado brasileiro, logo, para precisar qual é a contribuição da ligação das PLC com os PFF na rigidez do sistema, tem-se que recriar os testes com os materiais disponíveis no Brasil.



6 REFERÊNCIAS

ACCORTI, et al. Response of CFS Sheathed Shear Walls. **Structures**, v. 8, n. Part 2, p. 318-330, November 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, p. 87. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355: Perfis estruturais de aço Formados à frio**. Rio de Janeiro, p. 36. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, p. 24. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498: Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 24. 2016.

BALDASSINO, N. et al. **Lateral Loading Response of CFS Framed Shear Wall with Cement Board Panels**. 22nd International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Saint Louis: Missouri University of Science and Technology. 2014. p. 793-807.

CARDOSO, S. ; BARROS, M. M. B. D. **ESPECIFICAÇÃO DE PERFIS PARA DRYWALL E LIGHT STEEL FRAMING**. Congresso Latinoamericano da Construção Metálica - Construmetal. São Paulo: [s.n.]. 2016. p. 17.

HOFMANN, G. A. A. **TRATAMENTOS DE JUNTAS INVISÍVEIS EM PLACAS CIMENTÍCIAS NO FECHAMENTO DE SISTEMAS LIGHT STEEL FRAMING**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Ouro Preto, p. 105. 2015.

MEDEIROS, H. Placas cimentícias: Sem amianto, produto recupera mercado. **Finestra**, São Paulo, n. 60, 2005.

RODRIGUES, F. C.; CALDAS, B. **Steel framing: engenharia**. INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Rio de Janeiro, p. 224. 2016. (2).

SHAHI, et al. **In-Plane Behavior of Cold-Formed Steel-Framed Shear Wall Panels Sheathed with Fibre Cement Board**. 22nd International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Saint Louis: Missouri University of Science and Technology. 2014. p. 809-823.

SPECK, J. A. **Análise do Desempenho de Placas Cimentícias Através da Adição de Fibras e Telas, Visando a Redução de Deformações Térmicas e Patologias**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PORTO ALEGRE, p. 112. 2014.