2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DE FACHADA ESTRUTURADA EM PERFIS LEVS DE AÇO (LIGHT STEEL FRAME)

RESENDE, Maurício M. (1); BARREIROS, Thiago (2); OLIVEIRA, Luciana (3);

(1) Universidade São Judas Tadeu, mresende@ipt.br
(2) Instituto de Pesquisas Tecnológicas São Paulo (IPT), thiagob@ipt.br
(3) Instituto de Pesquisas Tecnológicas São Paulo (IPT), luciana@ipt.br

RESUMO

Os sistemas industrializados de fachadas estruturadas por perfis leves de aço (light steel frame) com chapas de fechamento esbeltas são uma tendência, tanto para o mercado de construções novas quanto para renovação de edifícios. Esses sistemas precisam ser projetados considerando diversos requisitos de desempenho, entre eles, o desempenho estrutural. Este artigo objetiva apresentar resultados de ensaios da determinação da resistência do sistema de fachada a cargas horizontais e estabilidade global, com e sem a presença das chapas de fechamento, induzindo a discussão sobre a potencial contribuição destas chapas na estabilidade global do sistema de fachada e sobre o alinhamento entre dimensionamentos teóricos e ensaios. Para o desenvolvimento deste artigo foram realizadas revisões bibliográficas, dimensionamentos teóricos, por meio de software de elementos finitos, e ensaios. Para a realização dos ensaios um protótipo representativo de uma fachada foi construído. Foram realizados dois ensaios: o primeiro com o sistema de fachada completo e o segundo somente com a estrutura de perfis, sem as chapas. Conclui-se que, apesar dos resultados dos ensaios mostrarem que as chapas contribuem para o contraventamento do sistema de fachada, ainda é preciso estudos que levem em consideração as características físicas dessas chapas, sua perda de resistência ao longo dos anos e a possibilidade de substituição e manutenção dessas chapas sem que o desempenho global do sistema seja comprometido.

Palavras-chave: Fachada leve em steel frame, dimensionamento, desempenho estrutural, contraventamento, ensaios.

ABSTRACT

The industrialized lightweight facade systems structured by Cold-Formed Light-Gauge Steel Framed with thin sheathing boards are a trend for new constructions and renovation of buildings. The design of these systems needs to consider several performance requirements, including structural performance. This paper aims to present the results of horizontal load resistance tests, with and without sheathing boards, inducing the discussion about the potential shear capacity of these boards and the alignment between theoretical designs and tests. To develop this paper, bibliographic reviews, theoretical calculation, using finite element software, and tests at labs were carried out. A representative prototype of a facade was built for performing the tests. Two tests were carried out: the first with the complete facade system (with sheathing boards) and the second only with the light steel-framed, without the boards. Although the results of the tests show the potentially shear capacity of the sheathing boards, research taking into account the loss of resistance of these boards over the years and the

possibility of replacing and maintaining the boards without affecting the overall performance of the facade system is still needed.

***Keywords**: Light weight steel framed façade system. Design. Structural performance. Shear capacity. Tests.*

1 INTRODUÇÃO

As fachadas industrializadas em componentes leves são uma tendência, tanto para o mercado de construções novas quanto para o mercado de reformas e renovação de edifícios, visto que os sistemas industrializados por demandarem projetos e planejamentos mais bem resolvidos, , tendem a melhorar a produtividade e qualidade das obras. Além disso, para a renovação de fachadas de edifícios requerem-se sistemas leves, pois, assim, existe a possibilidade de aproveitamento das fundações e estrutura do edifício existente (Mckinsey, 2019).

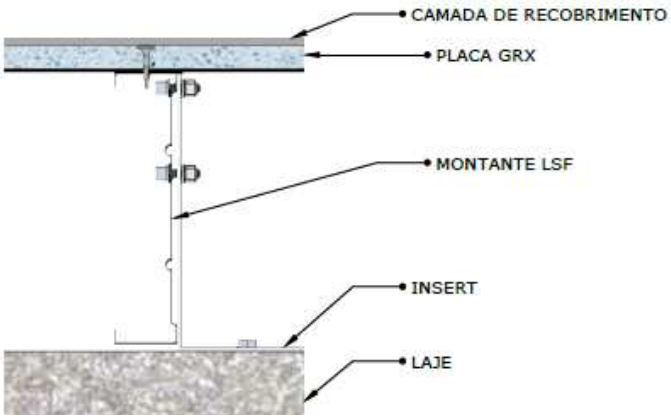
Os sistemas de fachada objeto deste artigo são aqueles estruturados por perfis leves de aço (perfis conformados a frio), também denominados pelo mercado de perfis de *light steel frame*, os quais são fixados por meio de ancoragens metálicas (inserts) à estrutura principal do edifício (Figura 1 e 2). Sobre os perfis, na face externa da fachada, são fixadas chapas de fechamento (chapas com espessuras máximas de 15 mm).

Figura 1 – Vista de fachada com sistema em perfis de *steel frame* em execução



Fonte: Autores

Figura 2 – Vista de fachada com sistema em perfis de *steel frame* em execução



Fonte: Autores

Estes sistemas de fachada devem ser projetados para atenderem minimamente aos requisitos de desempenho estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade à água, durabilidade e isolação sonora. Se forem destinadas a edifícios residenciais devem atender à NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Para outros tipos de edifícios, o programa de necessidades do empreendimento que deve ditar as regras, sendo que o mínimo, por jurisprudência, são as exigências estabelecidas na NBR 15.575-2 (ABNT, 2013a) e na Diretriz SiNAT 009 (2016).

O atendimento ao desempenho estrutural depende de análises de estabilidade global, devido às solicitações de cargas horizontais (vento), da resistência a impactos de corpo mole, corpo duro e resistência à solicitação de peças suspensas especiais, como, por exemplo, letreiros.

Existem algumas orientações no Manual de Steel Framing (Rodrigues, 2016) e na NBR

14762 (ABNT, 2010) para o dimensionamento do sistema de fachada para atendimento a cargas horizontais e estabilidade global. Nesses dimensionamentos não são levados em conta a contribuição das chapas como contraventamento do sistema de fachada, apesar de diversos trabalhos discutirem essa possibilidade, como AISI S213-07/S1-09 (2012), Baran (2012) e Khaliq (2017), pois ainda não existe, ao menos no Brasil, um consenso sobre como dimensionar essa contribuição e quais as respectivas limitações.

Entretanto, existem situações que a configuração do sistema de fachada não é conhecida e somente com os dimensionamentos teóricos não é possível entender e nem dimensionar o comportamento global da fachada quando submetida a cargas horizontais, ou seja, não é possível entender o comportamento de todas as interfaces, como do tratamento das juntas (interfaces) entre pavimentos, dos parafusos de fixação das chapas de fechamento da face externa, das ancoragens e das próprias chapas. Por isso, nessas situações são realizados ensaios, conforme, inclusive, sugere a NBR 15575-2 (ABNT, 2013a) e NBR 10821-2 (ABNT, 2017).

Tais ensaios são realizados considerando um protótipo em escala real com as chapas de fechamento, que, na prática, no instante do ensaio contribuem com o contraventamento da estrutura do sistema de fachada, mesmo que parcialmente. Por isso, os resultados desses ensaios podem diferir do dimensionamento teórico que não considera essa contribuição, o que gera dúvidas quanto à possibilidade da redução da seção dos perfis e de reforços da estrutura da fachada.

Nesse sentido, este artigo objetiva apresentar resultados de ensaios de verificação do desempenho estrutural de um sistema de fachada industrializada leve (fachada em *light steel frame*), com relação à resistência a cargas horizontais e estabilidade global, com e sem a presença das chapas de fechamento. Complementarmente, pretende-se induzir a discussão sobre a potencial contribuição destas chapas na estabilidade global do sistema de fachada e sobre o alinhamento entre dimensionamentos teóricos e ensaios.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste artigo foram realizadas revisões bibliográficas, dimensionamentos teóricos com uso de software de elementos finitos (Solidworks, versão 2013), com base na NBR 14762 (ABNT, 2010), NBR 6123 (ABNT, 1988), e ensaios. Tanto o dimensionamento quanto os ensaios foram realizados considerando uma configuração típica de uma fachada em perfis leves formados a frio para um edifício de 25 pavimentos localizado na região 3, com relação à classe de vento definida na NBR 6123 (ABNT, 1988).

Para o dimensionamento teórico da fachada considerou-se pressão de vento de 1780 Pa e de 2460 Pa, correspondente, respectivamente, à pressão de utilização e de segurança para edifícios de 25 pavimentos (aproximadamente 75 m de altura), para a região III de classe de vento, para uma vida útil de 40 anos. Tais pressões foram calculadas segundo premissas da ABNT NBR 6123 (1988). A verificação/dimensionamento foi realizada utilizando o software de elementos finitos considerando uma malha sólida, com elementos de tamanho máximo e mínimo de 15 mm e 3 mm, respectivamente, totalizando 113.232 nós e 55.261 elementos.

Para a realização dos ensaios um protótipo representativo de um trecho de dois pavimentos do sistema de fachada foi construído, com 3494,5 mm comprimento e 7150 mm de altura. Foram realizados dois ensaios: o primeiro com o sistema de

fachada completo (com as chapas) e o segundo, somente com a estrutura de perfis sem a chapa. Para a realização deste ensaio aplicou-se a pressão de serviço de 1780 Pa (positiva e negativa) e a pressão de segurança de 2460 Pa (positiva e negativa) conforme definido no dimensionamento. Os ensaios foram realizados em conformidade com a NBR 10821-3 (ABNT, 2017). Para a medição dos deslocamentos horizontais, durante a aplicação das pressões de ensaio, foram posicionados relógios comparadores em dois montantes (um montante com emenda e outro montante sem emenda), bem como dois relógios comparadores na face interna das chapas de fechamento.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Dimensionamento teórico

Após a verificação dos esforços a que o sistema de fachada foi submetido com a resistência necessária dos perfis, concluiu-se que para edifícios de 75m de altura, a configuração inicialmente proposta (configuração usada para a construção do protótipo) não atendia aos critérios da NBR 14762 (ABNT, 2010), uma vez que, ocorreria flambagem lateral por torção e flambagem distorcional nos perfis devido à flexão simples, mesmo levando-se em conta que a flambagem distorcional não seria crítica. A resistência do perfil, considerando a flambagem, seria menor que o esforço solicitante. Assim, em razão desse dimensionamento, seriam necessários reforços nas ancoragens e nos perfis para resistirem a solicitações consideradas.

3.2 Ensaios

O primeiro ensaio realizado foi feito no trecho de fachada com as chapas de fechamento. A Tabela 1 apresenta os valores medidos na face interna das chapas e também os limites máximos dos deslocamentos horizontais, instantâneo e residual, estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), para cargas de serviço.

Tabela 1– Deslocamento máximo do sistema de fachada quando submetido a cargas laterais uniformemente distribuídas, com chapas de fechamento (deslocamento medido na face interna da chapa)

Ensaio	Pressão de ensaio de serviço (Pa)	Critério de desempenho (NBR 15575-4 - Tabela 1)	Resultados
1	1 780	Não ocorrência de falhas	Nenhuma ocorrência
		Dh ≤ h/175 ≤ 17,2 mm	Dh = 11,8 mm medido na face interna da chapa
		Dhr ≤ h/1750 ≤ 1,7 mm	Dhr = 3,2 mm medido na face interna da chapa

h: altura do pé direito; Dh: deslocamento horizontal instantâneo; Dhr: deslocamento horizontal residual

Para a pressão de 1780 Pa, o deslocamento residual medido excede ao critério estabelecido, considerando que este critério também deva ser adotado para as chapas de fechamento. A Tabela 2 apresenta os resultados dos deslocamentos horizontais, instantâneos e residuais, medidos nos montantes para as pressões de ensaio de serviço e de segurança. Observa-se que para a pressão de segurança não

existe limite máximo para o deslocamento, o critério refere-se à perda de estabilidade ou ruptura dos elementos. Assim, os perfis atenderam aos critérios de desempenho especificados na norma NBR 10821-3 (ABNT, 2017).

Tabela 2 – Resultados do ensaio de cargas uniformemente distribuídas com chapa de fechamento (deslocamento medido nos perfis tipo montante)

Ensaio	**Pressão de Ensaio (Pa)**	**Critério de desempenho (NBR 10821-3)**	**Deslocamentos (mm)**			
			Montante 1		**Montante 2**	
			Pressão Positiva	**Pressão Negativa**	**Pressão Positiva**	**Pressão Negativa**
1	1 780	Dh ≤ h/175 ≤ 17,2 mm	9,9	9,2	7,1	7,3
		Dhr ≤ 0,4% do comprimento do perfil ≤ 12 mm	0,4	0,2	1,0	0,4
	2 460	Dh ≤ h/175 ≤ 17,2 mm	15,0	12,6	10,6	9,8
		Dhr ≤ 0,4% do comprimento do perfil ≤ 12 mm	1,6	0,8	2,1	1,0

h: altura do pé direito; Dh: deslocamento horizontal instantâneo; Dhr: deslocamento horizontal residual

Visando avaliar o comportamento estrutural da fachada, sem a contribuição das chapas, como é a premissa do dimensionamento teórico, foi realizado um segundo ensaio de cargas uniformemente distribuídas, conforme a ABNT NBR 10821-3 (ABNT, 2017), mas sem as chapas de fechamento. Para isto, no protótipo de 3494,5 mm de comprimento e 7000 mm de altura montado, as chapas de fechamento foram retiradas e substituídas por uma lona plástica com espessura de 600 µm para proporcionar o fechamento e a distribuição uniforme da pressão de vento aplicada para os perfis (Figura 3). Durante a realização do ensaio, com a aplicação da pressão estática de vento igual à pressão de serviço de 1780 kN/m2 pode-se verificar a ocorrência da flambagem lateral por torção e elevado deslocamento da parte central do montante superior (Figura 4), excedendo os limites da NBR 15575-4 (ABNT, 2013. Além disso, ocorreu deformação excessiva do perfil e desprendimento das fixações, antes de atingir a pressão de segurança.

Figura 3 – Protótipo sem as chapas de fechamento (Vista Frontal) – lona plástica no lugar das chapas



Fonte: Autores

Figura 4 – Flambagem dos perfis



Fonte: Autores

O detalhamento dos resultados é resumido na Tabela 3. Os resultados deste ensaio, sem considerar a contribuição das chapas, estão alinhados com os resultados do dimensionamento teórico, conforme explicitado no item 3.1.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de cargas uniformemente distribuídas sem chapas de fechamento

Ensaio	**Pressão de Ensaio (Pa)**	**Critério de desempenho (NBR 10821-3)**	**Deslocamentos (mm)**	
			Montante 1	**Montante 2**
			Pressão Positiva	**Pressão Positiva**
2	1 780	Dh ≤ h/175 ≤ 17,2 mm	**21,2**	16,4
		Dhr ≤ 0,4% do comprimento do perfil ≤ 12 mm	**23,4**	10,2
	2 050*	Dh ≤ h/175 ≤ 17,2 mm	Deformação excessiva do perfil, ocasionando o desprendimento das fixações	Deformação excessiva do perfil, ocasionando o desprendimento das fixações
		Dhr ≤ 0,4% do comprimento do perfil ≤ 12 mm		
	2 460	Dh ≤ h/175 ≤ 17,2 mm	-	-
		Dhr ≤ 0,4% do comprimento do perfil ≤ 12 mm		

h: altura do pé direito; Dh: deslocamento horizontal instantâneo; Dhr: deslocamento horizontal residual; * pressão máxima aplicada no ensaio

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos ensaios para verificação da resistência do sistema de fachada a cargas uniformemente distribuídas (pressão de vento) mostram que as placas de fechamento contribuíram para o contraventamento do sistema de fachada. No protótipo ensaiado com chapa de fechamento não ocorreu flambagem lateral por torção e o deslocamento da parte central do montante superior não ultrapassou ao limite especificado pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Entretanto, tais ocorrências (flambagem por torção do perfil e deslocamento excessivo) foram verificadas no protótipo ensaiado sem a utilização de chapas de fechamento, coincidindo com os resultados obtidos pelo dimensionamento teórico. Importante observar que, mesmo no ensaio feito com as chapas de fechamento, foi observado deslocamento residual excessivo das próprias chapas, o que mostra que ainda seria necessária a previsão de algum reforço.

A adoção da contribuição das chapas de fechamento no contraventamento dos perfis pode proporcionar a economia de materiais, principalmente de aço, reduzindo peso e custo das construções, visto que na configuração reforçada, após novo dimensionamento, houve um acréscimo em torno de 47% da massa de aço. Entretanto, antes da consideração dessas chapas como contribuinte no contraventamento de sistemas de fachada leve, ainda é preciso estudos que definam algum coeficiente (fator de minoração, por exemplo) que leve em consideração a qualidade e o material da chapa de fechamento (características físicas), a perda de sua resistência ao longo dos anos, e a possibilidade de substituição e manutenção dessas chapas sem que o desempenho global do sistema seja comprometido.

REFERÊNCIAS

AISI S213-07/S1-09. "North American Standard for Cold-Formed Steel Framing-Lateral Design 2007. Edition with Supplement No. 1." Washington DC, USA, 2012, pp. 72.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 10.821-2**: Esquadrias para edificações. Parte 2: Esquadrias Externas – Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 10821-3**: Esquadrias para edificações. Parte 3: Esquadrias Externas e Internas – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

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

_____. **NBR 15.498**: Placa de fibrocimento sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 15.575 – 2:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15.575 – 4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

Baran, E., and Alica, C. (2012). "Behavior of cold-formed steel wall panels under monotonic horizontal loading." **Journal of Constructional Steel Research**, 79, pp. 1-8. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.07.020.

Khaliq, W; Moghis, A. Shear Capacity of Cold-Formed Light-Gauge Steel Framed Shear-Wall Panels with Fiber Cement Board Sheathing. **/ International Journal of Steel Structures**, 17(4), 1404-1414, 2017

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Diretriz para avaliação técnica de Produtos – Diretriz SINAT 009 – revisão 01: Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, multicamadas, formado por perfis leves de aço zincado e fechamentos em, chapas delgadas com revestimento de argamassa (Fachada leve em steel frame). Brasília, 2016. Disponível em: <http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 05 jun. 2020.

Mckinsey & Company (2019). Capital Projects & Infrastructure Modular construction: From projects to products. Disponível em: < https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/capital%20projects%20and%20infrastructure/our%20insights/modular%20construction%20from%20projects%20to%20products%20new/modular-construction-from-projects-to-products-full-report-new.ashx>

Rodrigues, F.C; Caldas, R. B. Steel framing: engenharia. Rio de Janeiro: Aço Brasil /CBCA, 2016. 224 p. **Série Manual de Construção em Aço**. ISBN 978-85-89819-39-8