

Caracterização Comportamental da Ligação entre Painéis OSB e um Montante do Sistema Construtivo *Light Steel Framing*

Joseph Stéphane Datchoua^{1*}, Francisco Carlos Rodrigues² e Rodrigo Barreto Caldas³

¹ Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, josephstephane21@yahoo.fr

² Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, francisco@dees.ufmg.br

³ Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, caldas@dees.ufmg.br

Behavioral Characterization of the Connection between OSB and a Stud of the Light Steel Framing Construction System

Resumo

Esta pesquisa analisou a influência do espaçamento entre parafusos, da espessura do montante e dos painéis OSB e do modo de carregamento sobre os valores registrados pela ligação em cada corpo de prova (CP) referente à força máxima ($P_{m\acute{a}x}$), à rigidez elástica (k_e), à energia dissipada (A) e à ductilidade (μ). Para isso, 48 CPs foram ensaiados através do método força-deslizamento. Observou-se que o maior valor médio de $P_{m\acute{a}x}$ foi 240% superior ao menor, o de k_e 2058% superior ao menor, o de A 2109% superior ao menor e o de μ 1495% superior ao menor. Os resultados obtidos possibilitarão a realização de análises paramétricas visando à proposição de soluções analíticas para a quantificação da contribuição dos painéis OSB na estabilização do sistema estrutural do *Light Steel Framing* (LSF), com ou sem o uso do contraventamento de aço.

Palavras-chave: Painel de lascas de madeira orientadas (OSB), Comportamento da ligação, Parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes, Perfis formados a frio.

Abstract

This study analyzed the influence of the spacing between screws, the thickness of the stud and the OSB and the loading mode on the values recorded by the connection in each specimen referring to the maximum force (P_{max}), the elastic stiffness (k_e), the dissipated energy (A) and the ductility (μ). For this, 48 specimens were tested by the force-slip method. It was observed that the highest average value of P_{max} was 240% greater than the lowest, that of k_e 2058% greater than the lowest, that of A 2109% greater than the lowest and that of μ 1495% greater than the lowest. The results obtained will allow the accomplishment of parametric analyzes aiming at proposing analytical solutions for the quantification of the contribution of the OSB in the stabilization of the *Light Steel Framing* (LSF) structural system, with or without the use of steel bracing.

Keywords: Oriented Strand Board (OSB), Connection behavior, Self-drilling and self-tapping screws, Cold-formed profiles.

1 Introdução

O sistema LSF se resume a uma composição de painéis reticulados de aço galvanizado de perfis formados a frio (PFF) trabalhando em conjunto com placas de diferentes materiais, tais como as placas cimentícias e os painéis de lascas de madeira orientadas, internacionalmente denominadas de *Oriented Strand Board* (OSB), constituindo assim a estrutura de uma construção a seco. Segundo Rodrigues (2016), o sistema estrutural total de uma edificação em LSF pode ser dividido em dois grupos de subsistemas, os verticais e os horizontais, sendo que a sua estabilidade global é garantida pelo sistema de contraventamento.

Vários trabalhos vêm sendo realizados com o objetivo de analisar o comportamento da ligação entre os painéis OSB e o montante do sistema construtivo LSF.

Okasha (2004) estudou o comportamento da ligação entre o montante e o painel OSB. O carregamento foi aplicado paralelamente ao montante e ao comprimento do painel OSB. Observou que os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e k_e , respectivamente iguais a 3520 N e 5000 N/mm, foram obtidos com os CPs feitos com painel OSB de 11 mm de espessura nominal, perfil de aço com 1,37 mm de espessura nominal e distância da borda do painel OSB até o eixo do parafuso de 25 mm. O maior valor médio de A , igual a 31900 N.mm, foi obtido com os CPs feitos com painel OSB de 15,5 mm de espessura nominal, perfil de aço com 1,11 mm de espessura nominal e distância da borda do painel OSB até o eixo do parafuso de 25 mm. O maior valor médio de μ , igual a 23,2, foi obtido com os CPs feitos com painel OSB de 12,5 mm de espessura nominal, perfil de aço com 1,11 mm de espessura nominal e distância da borda do painel OSB até o eixo do parafuso de 25 mm.

Fiorino *et al.* (2007) realizaram ensaios experimentais nas ligações com parafusos típicos para casas feitas com PFFs. Observaram que os maiores valores médios de k_e , de A , e de μ foram, respectivamente, iguais a 980 N/mm, 13450 N.mm e 11,87.

Vieira e Schafer (2009) investigaram a rigidez translacional e a resistência do conjunto montantes-painéis OSB. Obtiveram os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e respectivamente iguais a 2980,31 N e 1446,57 N/mm.

Peterman *et al.* (2014) realizaram uma série de ensaios para caracterizar o comportamento da ligação entre os montantes de PFF e os painéis OSB. Observaram que os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e foram, respectivamente, iguais a 2201,87 N e 2041,10 N/mm.

Iuorio *et al.* (2014) avaliaram a resposta lateral das paredes de cisalhamento feitas de PFF e revestidas de painéis OSB. Observaram que os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A , e de μ foram, respectivamente, iguais a 3170 N, 1380 N/mm, 21720 N.mm e 14,34.

Ye *et al.* (2016) realizaram um estudo experimental sobre o comportamento cisalhante da ligação entre os painéis OSB e os montantes de PFF. Concluíram que os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de μ foram, respectivamente, iguais a 1820 N e 4,11.

A presente pesquisa teve por objetivo a caracterização comportamental, de modo teórico e experimental, da ligação de um subsistema de parede, composto por um montante em PFF e painéis OSB fabricados no Brasil, painéis esses que foram fixados no montante por parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes tipo trombeta. O modo de carregamento foi paralelo (Modelo M1) e perpendicular (Modelo M2) ao montante e ao comprimento dos painéis OSB. Essa investigação analisou a influência do espaçamento entre parafusos, das espessuras do montante e dos painéis OSB, incluindo do modo de carregamento sobre os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ , registrados pela ligação em cada CP.

Os resultados obtidos nesta pesquisa servirão de base para a realização de análises paramétricas visando à proposição de soluções analíticas para a quantificação da contribuição dos painéis OSB na estabilização do sistema estrutural do LSF, com ou sem o uso do contraventamento de aço. Com o desenvolvimento do subsistema de contraventamento com o emprego de painéis OSB para o sistema LSF, painéis esses já presentes no sistema como elementos de revestimento do reticulado metálico para a formação das paredes, além de significar uma inovação tecnológica para a construção civil, torna possível a obtenção de edificações com custo reduzido, mantendo a qualidade, a durabilidade e a estabilidade exigidas pelas normas brasileiras aplicáveis. Além disso, atende, sobretudo, aos critérios da sustentabilidade da construção metálica.

2 Estudo experimental

Neste item foram apresentados os detalhes sobre o estudo experimental realizado.

2.1 Materiais

Para a fabricação dos CPs ensaiados, foi necessário o uso de painéis OSB, de um PFF e de parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes.

Os painéis OSB foram fabricados pela empresa *Louisiana Pacific Building Products* (LP) com madeira de pinus, nas dimensões nominais de 9,5 e 11,1 mm (espessuras), 1200 mm (largura) e 2400 mm (comprimento). O montante foi feito de PFF com seção U enrijecido (U_e), com as dimensões nominais de b_w igual a 140 mm (alma), de b_f igual a 40 mm (mesas) e de D igual a 10 mm (enrijecedores). As bobinas foram produzidas pela *Usiminas* com espessuras nominais (t_n) iguais a 0,80 mm e 0,95 mm. As ligações entre os PFFs foram feitas com parafusos cabeça lenticilha e ponta broca da marca Ancora com 4,2 mm de diâmetro e 12,7 mm de comprimento. Os parafusos do mesmo tipo, porém da marca Ciser, com 4,8 mm de diâmetro e 19 mm de comprimento foram usados na fabricação dos perfis caixas que reforçaram a parte superior do montante que ficava desprovida de painéis OSB. As ligações entre os painéis OSB e o montante foram feitas com parafusos cabeça trombeta e ponta broca da marca Ciser com 4,2 mm de diâmetro e 32 mm de comprimento.

Foram consideradas as dimensões nominais mais empregadas no sistema construtivo LSF, tais como as duas espessuras dos perfis (0,80 mm e 0,95 mm), as duas espessuras de painéis OSB (9,5 mm e 11,1 mm) e as duas distâncias entre os eixos dos parafusos empregados na produção das paredes (150 mm e 300 mm).

Foram estabelecidos 3 CPs para compor cada série. As séries dependiam da espessura do painel OSB, da espessura do perfil de aço e da distância entre os eixos dos parafusos. Para cada espessura de perfil, foram consideradas duas espessuras de painéis OSB. E para cada espessura de OSB, foram consideradas duas distâncias entre os eixos dos parafusos (Figura 1 e Figura 2).

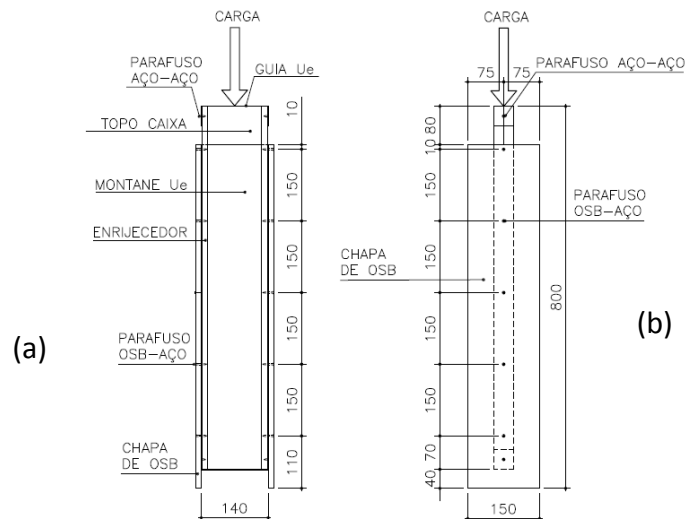


Figura 1 – Modelo M1 com distâncias de 150 mm entre os eixos dos parafusos: a) vista lateral; b) vista frontal. Unidade das cotas em mm.

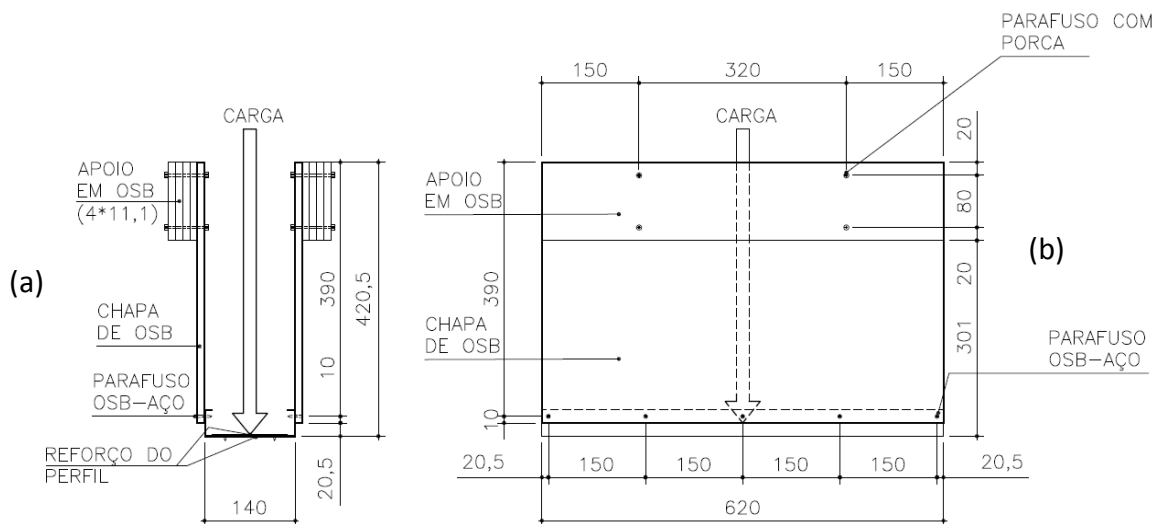


Figura 2 – Modelo M2 com distância de 150 mm entre os eixos dos parafusos: a) vista lateral; b) vista frontal. Unidade das cotas em mm.

Os painéis OSB usados para a fabricação dos CPs do Modelo M1 (com 720 mm de comprimento e 150 mm de largura) foram extraídos com seus respectivos comprimentos paralelos ao comprimento de 2400 mm dos painéis originais de OSB. Os dos CPs do Modelo M2 (com 620 mm de comprimento e 400 mm de largura) foram extraídos com seu comprimento paralelo ao comprimento de 2400 mm dos painéis originais de OSB.

2.2 Características dos corpos de prova

Cada CP do Modelo M1 foi composto de um montante com topo feito em perfil caixa como reforço enquanto que cada CP do Modelo M2 teve sua alma reforçada com uma

chapa de 1,25 mm (espessura nominal). Também faziam parte de cada CP dois painéis OSB e os parafusos de fixação (Tabela 1). Para a nomenclatura, foi obtido: o modelo seguido do seu número (M1-2), a série seguida do seu número (S1-2-3-4-5-6-7-8), a espessura nominal do painel OSB (t_{OSB} como A e B), a espessura nominal do perfil de aço (t_n), a dimensão da alma do perfil (b_w), a distância entre os eixos dos parafusos (e_p). A Tabela 1 apresenta ainda a quantidade de parafusos (Q_p) e a quantidade de CPs (Q_{cp}).

Tabela 1 – Parâmetros relativos às séries dos corpos de prova ensaiados.

Nomenclatura		t_{OSB} (mm)	t_n (mm)	b_w (mm)	e_p (mm)	Q_p	Q_{cp}
M1 e M2	S1-A-0,80-140-150	9,5	0,80	140	150	10	3
	S2-A-0,80-140-300				300	6	3
	S3-A-0,95-140-150		0,95		150	10	3
	S4-A-0,95-140-300				300	6	3
	S5-B-0,80-140-150	11,1	0,80		150	10	3
	S6-B-0,80-140-300				300	6	3
	S7-B-0,95-140-150		0,95		150	10	3
	S8-B-0,95-140-300				300	6	3

2.3 Procedimento de ensaio dos corpos de prova

Para realizar esses ensaios, usou-se um pórtico de reação composto de um cilindro hidráulico de dupla ação com capacidade de 50 toneladas; 2 transdutores de deslocamentos (DTs) com percurso de 100 mm; dois sistemas de aquisição de dados da marca *Spider8* 600 Hz com o *software Catman 4.5 Release 2*; um anel dinamométrico com capacidade de 50.000 kgf; uma bomba hidráulica manual com 700 bar como máxima pressão de trabalho.

Seguindo as prescrições da norma Européia EN BS594:1996 e as da Dissertação de Datchoua (2018), o ensaio foi realizado em dois procedimentos, denominados de 1 e 2.

No procedimento 1, para a definição da carga de referência, o primeiro CP de cada série foi carregado continuamente até a ruptura. O procedimento 2 foi aplicado aos demais CPs da mesma série e era composto por três etapas de carregamento: inicialmente, foram aplicados incrementos de força até atingir 10% da força máxima obtida no primeiro CP e esperou-se por 2 minutos para que o subsistema pudesse se estabilizar; carregou-se novamente o CP até alcançar 40% da mesma força máxima e esperou-se por 5 minutos; voltou-se ao carregamento progressivo até a força máxima

e esperou-se mais uma vez durante 5 minutos. Monitorou-se, durante todo o ensaio, a movimentação dos parafusos e o comportamento das ligações. Com o Modelo M1, esse monitoramento foi feito até que a força aplicada decrescesse atingindo os 80% do valor máximo alcançado. Além disso, o ensaio foi finalizado somente após o descarregamento completo com o posicionamento do ponteiro do extensômetro no seu valor inicial 0.

3 Resultados obtidos na experimentação

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados. P_t é igual à força total alcançada pelo corpo de prova durante o ensaio, δ_e é o deslocamento correspondente ao valor de $P_e = 0,4 P_{m\acute{a}x}$.

Tabela 2 – Resultados relativos ao ensaio de cada corpo de prova.

Nomenclatura		P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ	
M1	S1	CP1	18986	1898	759	0,53	1433	20230	11,8
		CP2	19273	1927	771	0,31	2525	18762	17,6
		CP3	21676	2168	867	0,85	1019	14202	5,0
	S2	CP1	13018	2170	868	0,23	3758	16253	17,8
		CP2	10789	1798	719	0,74	965	17243	7,5
		CP3	13628	2271	908	0,24	3753	17534	18,3
	S3	CP1	21491	2149	860	0,16	5316	11517	19,3
		CP3	18000	1800	720	0,26	2784	8253	9,8
	S4	CP1	12114	2019	808	0,21	3829	23280	29,7
		CP2	12198	2033	813	0,43	1891	18552	12,1
		CP3	13586	2264	906	0,41	2186	19492	13,7
	S5	CP1	17386	1738	695	0,11	6274	4385	14,0
		CP2	21019	2102	841	0,47	1805	20673	12,0
		CP3	19787	1979	791	0,32	2507	5764	6,3
	S6	CP1	13439	2240	896	0,16	5768	16187	26,5
		CP2	12997	2166	866	0,22	3933	21586	26,6
		CP3	13460	2243	897	0,72	1242	14708	5,6
	S7	CP1	20136	2013	805	0,09	8810	9230	32,9
		CP2	21019	2102	841	0,68	1240	20237	8,6
		CP3	22219	2222	889	0,39	2250	20703	13,5
	S8	CP1	13418	2236	894	0,64	1402	23343	10,1
		CP2	12682	2114	845	0,40	2125	24306	16,4
		CP3	13165	2194	878	0,27	3289	18625	18,2
	M2	S1	CP1	7195	719	279	1,45	198	2487
CP2			8323	832	333	1,03	324	1982	1,5
CP3			6280	628	251	1,24	202	-	-
S2		CP1	5197	866	346	0,49	705	1245	2,4
		CP2	4701	783	313	0,75	420	-	-
		CP3	3332	555	222	0,47	469	762	2,1
S3		CP1	6003	600	240	1,30	185	-	-
		CP2	6876	687	275	1,30	211	1692	1,2

Nomenclatura		P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ	
		CP3	6961	696	278	1,69	165	-	-
	S4	CP1	3868	645	258	0,94	273	-	-
		CP2	5364	894	358	1,34	266	-	-
		CP3	3471	578	231	1,06	218	2369	2,4
		CP1	6684	668	267	0,70	380	1820	2,5
	S5	CP2	7216	722	289	1,07	270	-	-
		CP3	5513	551	220	0,91	243	1057	1,4
		CP2	4840	807	323	1,21	267	1859	1,2
		CP3	2916	486	194	0,50	392	1021	3,1
	S7	CP1	9969	997	399	1,87	213	4365	1,9
		CP2	7642	764	306	1,89	162	-	-
		CP3	6620	662	265	1,54	265	-	-
	S8	CP1	4285	714	286	1,69	169	-	-
		CP2	3134	522	209	0,62	338	2685	5,4
CP3		5177	863	345	1,44	240	3754	2,2	

O CP2 da série S3 do Modelo M1 não foi considerado, pois a retirada da haste de aperto do grampo que estava encostando-se ao painel P2 afetou os dados iniciais de um dos DTs no primeiro intervalo de espera de 2 min. Sendo assim, os valores de k_e , de A e de μ foram excessivamente superiores aos valores dos seus CP1 e 3. Não foi possível descarregar os CPs do Modelo M2 antes de parar a aquisição de dados devido ao modo de ruptura por rasgamento de 1 e/ou dos 2 painéis OSB. Além disso, não foi possível determinar o valor da ductilidade (μ) de todos os CPs devido ao pequeno valor de deslocamento alcançado pela força de ruptura, o que afetou o valor da energia dissipada (A). O CP1 da série S6 do Modelo M2 foi danificado durante o transporte e, por isso, não foi possível efetuar o seu ensaio.

4 Análise dos resultados

Neste item apresenta-se o modo de análise dos dados, as discussões dos resultados obtidos, a influência dos parâmetros de fabricação dos CPs sobre esses resultados.

4.1 Modo de análise dos dados obtidos a partir dos corpos de prova ensaiados

Seguindo as prescrições das normas ECCS-1985, *AISI Research Report* RP00-6 e AISI S917-17, foram determinados o valor, por ligação, da rigidez inicial (k_e) pela Equação (1), da energia dissipada (A) e da ductilidade (μ) pela Equação (2), de cada CP.

Além da curva de força *versus* deslocamento entre o painel OSB e o perfil de aço, foi também elaborada a curva de EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic*: curva elasto-plástica da energia equivalente).

$$k_e = P_e / \delta_e \quad (1)$$

$$\mu = (\delta_u / \delta_y) > 1 \quad (2)$$

$$P_y = (-\delta_u \pm (\delta_u^2 - (2A/k_e))^{0,5}) / (1/k_e) \quad (3)$$

Onde $P_{m\acute{a}x}$ (N) é a força máxima alcançada pela ligação; δ_u é o deslocamento correspondente ao valor da força de ruptura $P_u = 0,8 P_{m\acute{a}x}$; P_y é o início de escoamento que é determinado pela Equação (3) e δ_y o seu deslocamento correspondente. Para a interpretação dos dados experimentais obtidos, foram também determinados o valor da média e do coeficiente de variação (C_v) de cada série dos CPs ensaiados.

De modo geral, foi obtido: $15\% \geq C_v$: baixa dispersão (resultados homogêneos); $15\% < C_v < 30\%$: média dispersão; $C_v \geq 30\%$: alta dispersão (resultados heterogêneos).

O CP1 das séries S6 e S7 do Modelo M1 e o CP1 das séries S7 e S8 do Modelo M2 foram apresentados neste item a título de exemplo para os demais CPs. Os gráficos força *versus* deslocamento dos CPs dessas mesmas séries, séries essas que registraram os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, k_e , A e μ , foram agrupados e apresentados no item 4.2 objetivando evitar a redundância de análises.

O CP1 da série S6 de Modelo M1 alcançou um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 2239,82 N com um deslocamento de 6,29 mm, um P_y igual a 1893,30 N com um deslocamento de 0,33 mm e um P_u igual a 1791,85 N com um deslocamento correspondente de 8,71 mm. Esse CP tinha uma distância média da borda do painel OSB até o eixo dos parafusos (D_b) de 13 mm. A ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* [falha do painel OSB (a)] e por *Pull-out* [falha do perfil de aço (b)] com a rotação de todos os parafusos (Figura 3).

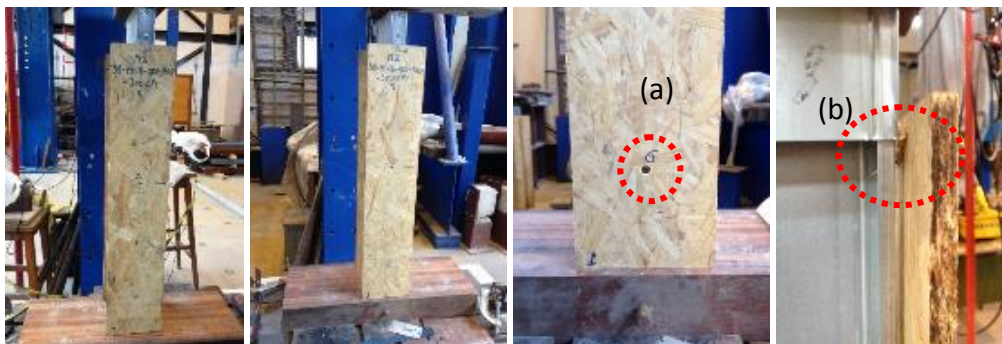


Figura 3 – Modelo M1 Série S6 CP1 antes e depois do ensaio.

O CP1 da série S7 de Modelo M1 alcançou um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 2013,58 N com um

deslocamento de 5,71 mm, um P_y igual a 1585,14 N com um deslocamento de 0,18 mm e um P_u igual a 1610,87 N com um deslocamento correspondente de 5,91 mm. Esse CP tinha um D_b de 11,50 mm e um espaçamento entre parafusos (e_p) de 149 mm. A ruptura do CP ocorreu por plastificação dos enrijecedores juntos com as mesas com a flambagem distorcional do topo do perfil (a) causando o encaminhamento para o *Pull-over* (b) com a rotação de todos os parafusos (Figura 4).

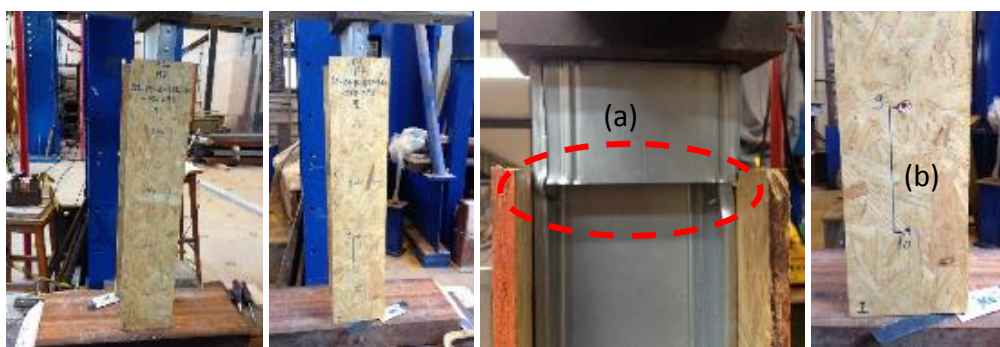


Figura 4 – Série S7 CP1 antes e depois do ensaio.

O CP1 da série S7 de Modelo M2 alcançou um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 996,88 N com um deslocamento de 4,07 mm, um P_y igual a 827,61N com um deslocamento de 3,89 mm e um P_u igual a 797,50 N com um deslocamento correspondente de 7,22 mm. Esse CP tinha um D_b de 10,70 mm e um e_p de 149,50 mm. As bases dos DTs se desprenderam da alma do perfil durante o rompimento do CP por rasgamento do painel OSB (a) com a rotação de alguns parafusos (Figura 5).



Figura 5 – Modelo M2 Série S7 CP1 antes e depois do ensaio.

O CP1 da série S8 de Modelo M2 alcançou um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 714,10 N com um deslocamento de 3,20 mm e um P_u igual a 571,28 N com um deslocamento de 3,57 mm. Esse CP tinha um D_b de 10,95 mm e um e_p de 301,50 mm. O rompimento do CP ocorreu por rasgamento do painel OSB (a) com a rotação de alguns parafusos (Figura 6).

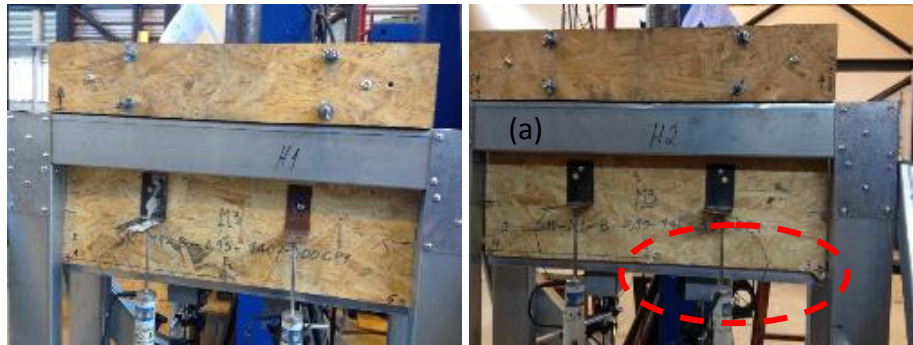


Figura 6 – Modelo M2 Série S8 CP1 antes e depois do ensaio.

4.2 Discussões dos resultados obtidos

Com a série S6 do Modelo M1, $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra uma homogeneidade dos resultados. O C_v a partir do valor de A foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , foi obtido um C_v acima de 30%, demonstrando a alta dispersão dos resultados. Essa heterogeneidade foi devido aos baixos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP3 por causa dos seus altos valores de δ_e e δ_y . Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP3, o maior valor de k_e pelo CP1 e o maior valor de μ pelo CP2. Esse maior valor de k_e foi devido ao baixo valor de δ_e (Figura 7).

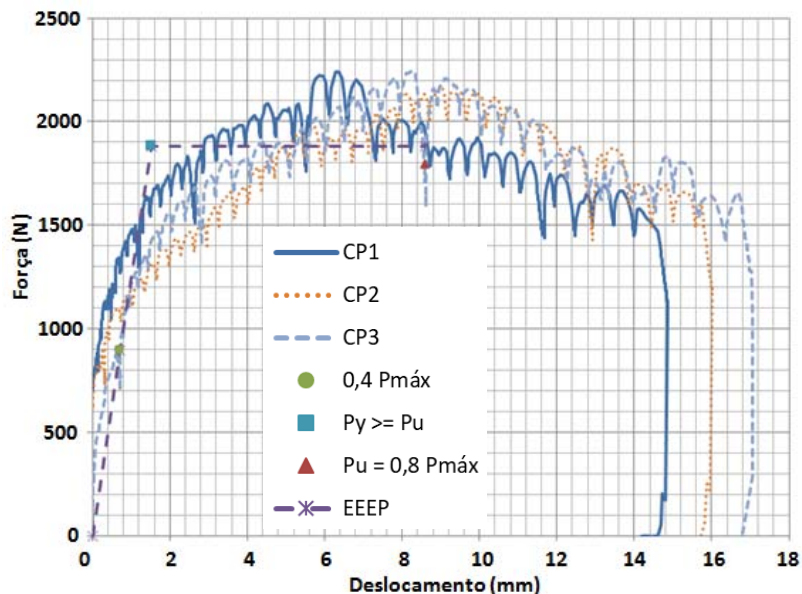


Figura 7 – Gráfico força *versus* deslocamento dos CPs da série S6 Modelo M1.

Com a série S7 do Modelo M1, $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferiores a 15%, o que demonstrou uma maior homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e , de A e de μ , foi obtido um C_v acima de 30%, demonstrando a alta dispersão dos resultados. Essa heterogeneidade foi devida aos altos valores de k_e e de δ_u alcançados pelo CP1

incluindo o seu baixo valor de A por causa dos baixos valores de δ_e , de δ_u e de δ_y . Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP3 e os maiores valores de k_e e de μ pelo CP1. Esse maior valor de k_e foi devido ao baixo valor de δ_e (Figura 8).

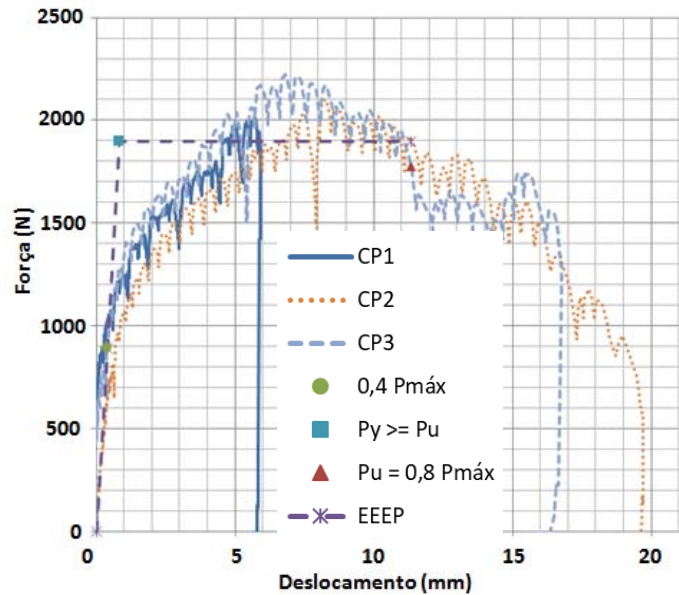


Figura 8 – Gráfico força *versus* deslocamento dos CPs da série S7 Modelo M1.

Com a série S7 do Modelo M2, $P_{m\acute{a}x}$ e k_e tiveram seus valores de C_v registrados entre 15 e 30 %, o que caracterizou a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão foi devida ao alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ alcançado pelo CP1 por causa do seu modo de ruptura e ao baixo valor de k_e alcançado pelo CP2 por causa do seu alto valor de δ_e . O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido com o CP1 e o maior valor de k_e com o CP3. Esse maior valor de k_e foi devido ao baixo valor de δ_e (Figura 9).

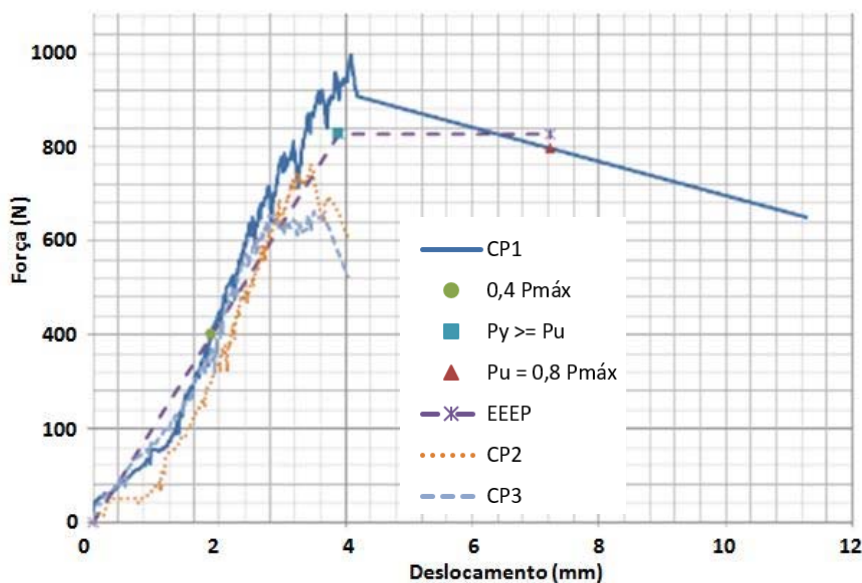


Figura 9 – Gráfico força *versus* deslocamento dos CPs da série S7 Modelo M2.

Com a série S8 do Modelo M2, $P_{m\acute{a}x}$ e A tiveram seus valores de C_v registrados entre 15 e 30 %, o que caracterizou a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , foi obtido um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade foi devida ao baixo valor de k_e alcançado pelo CP1 por causa do seu alto valor de δ_e e ao alto valor de μ alcançado pelo CP2 por causa do seu baixo valor de δ_y . Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos com o CP3 e os maiores valores de k_e e de μ com o CP2. Esse maior valor de k_e foi devido ao baixo valor de δ_e (Figura 10).

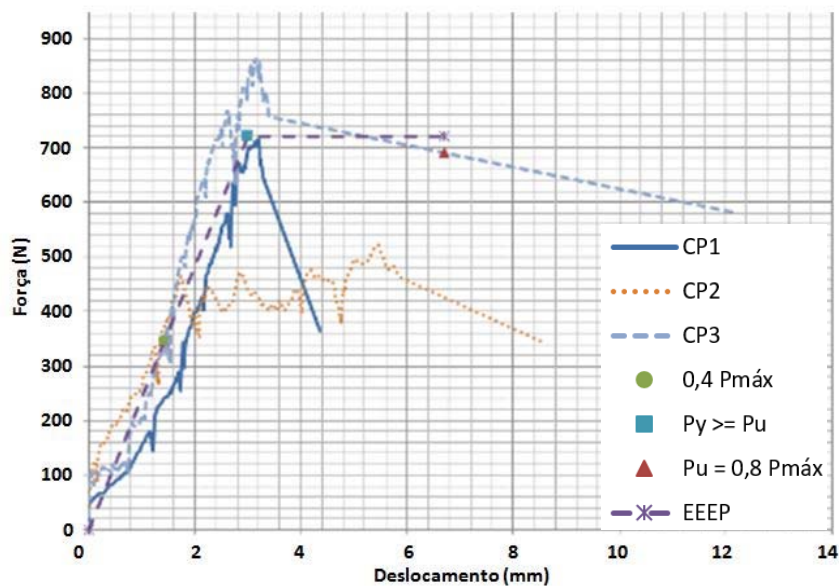


Figura 10 – Gráfico força versus deslocamento dos CPs da série S8 Modelo M2.

4.3 Influência dos parâmetros de fabricação dos corpos de prova sobre os resultados obtidos

Tabela 3 – Resultados médios relativos a cada série dos corpos de prova ensaiados.

Nomenclatura		$P_{m\acute{a}x}$ (N)	C_v (%)	k_e (N/mm)	C_v (%)	A (N.mm)	C_v (%)	μ	C_v (%)
M1	S1	1998	7,4	1659	46,9	17731	17,7	11,5	54,7
	S2	2080	12,0	2826	57,0	17010	3,9	14,5	41,7
	S3	1974	12,5	4050	44,2	9885	23,3	14,6	45,9
	S4	2105	6,5	2635	39,6	20441	12,2	18,5	52,7
	S5	1940	9,5	3529	68,1	10274	87,9	10,8	37,2
	S6	2216	2,0	3648	62,4	17493	20,7	19,6	61,6
	S7	2112	4,9	4100	100,2	16723	38,8	18,3	70,1
	S8	2181	2,9	2272	41,9	22091	13,8	14,9	28,5
M2	S1	727	14,0	241	30,0	2234	16,0	1,6	12,0
	S2	735	22,0	531	29,0	1004	34,0	2,3	9,0
	S3	661	8,0	187	12,0	1692	-	1,2	-
	S4	706	24,0	252	12,0	2369	-	2,4	-

Nomenclatura	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	C_v (%)	k_e (N/mm)	C_v (%)	A (N.mm)	C_v (%)	μ	C_v (%)
S5	647	13,0	298	24	1439	37,0	1,9	37,0
S6	646	35,0	330	27	1440	41,0	2,1	61,0
S7	808	21,0	213	24	4365	-	1,9	-
S8	700	24,0	249	34	3219	23,0	3,8	59,0

4.3.1 Influência da distância entre os eixos dos parafusos sobre os resultados – M1

A série S1 foi constituída de CPs com 10 parafusos de e_p igual a 150 mm e a série S2 com 6 parafusos de e_p igual a 300 mm. Conforme a Tabela 3, observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série S2 foram, respectivamente, 4,10 %, 70,23 % e 26,48 % superiores aos valores da série S1. Porém, o valor médio de A da série S1 foi 4,24 % superior ao valor da série S2.

A série S3 foi constituída de CPs com e_p igual a 150 mm e a série S4 com e_p igual a 300 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ da série S4 foram, respectivamente, 6,63 %, 106,79 % e 26,75 % superiores aos valores da série S3. Porém, o valor médio de k_e da série S3 foi 53,68 % superior ao valor da série S4.

A série S5 foi constituída de CPs com e_p igual a 150 mm e a série S6 com e_p igual a 300 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ da série S6 foram, respectivamente, 14,27 %, 3,38 %, 70,26 % e 82,17 % superiores aos valores da série S5.

A série S7 foi constituída de CPs com e_p igual a 150 mm e a série S8 com e_p igual a 300 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série S8 foram, respectivamente, 3,26 % e 32,10 % superiores aos valores da série S7. Porém, os valores médios de k_e e de μ da série S7 foram, respectivamente, 80,46 % e 22,72 % superiores aos valores da série S8.

Observou-se que quanto maior foi o valor de e_p , maiores foram os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ . Esse mesmo não foi observado com o valor médio de k_e talvez por causa da irregularidade do valor de deslocamento inicial registrado pelos CPs.

4.3.2 Influência da espessura do perfil de aço sobre os resultados – M1

A série S1 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S3 com t_n igual a 0,95 mm. Conforme a Tabela 3, observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série S1 foram, respectivamente, 1,2 % e 79,4 % superiores aos da série S3. Porém, os

valores médios de k_e e de μ da série S3 foram, respectivamente, 144 % e 27 % superiores aos da série S1.

A série S2 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S4 com t_n igual a 0,95 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de A e de μ da série S4 foram, respectivamente, 1,2 %, 20,2 % e 27,6 % superiores aos da série S2. Porém, o valor médio de k_e da série S2 foi 7,2 % superior ao da série S4.

A série S5 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S7 com t_n igual a 0,95 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ da série S7 foram, respectivamente, 8,9 %, 16,2 %, 62,8 % e 69,4 % superiores aos da série S5.

A série S6 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S8 com t_n igual a 0,95 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de k_e e de μ da série S6 foram, respectivamente, 1,6 %, 60,6 % e 31,5 % superiores aos da série S8. Porém, o valor médio de A da série S8 foi 26,3 % superior ao da série S6.

Observou-se que quanto maior foi a espessura nominal dos perfis de aço (t_n), maiores foram os valores de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ . Observou-se também que essa variação de t_n não influenciou significativamente o valor de $P_{máx}$.

4.3.3 Influência da espessura nominal dos painéis OSB sobre os resultados – M1

A série S1 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S5 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Conforme a Tabela 3, observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de A e de μ da série S1 foram, respectivamente, 3 %, 72,6 % e 6,5 % superiores aos da série S5. Porém, o valor médio de k_e da série S5 foi 112,7 % superior ao da série S1.

A série S2 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S6 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ da série S6 foram, respectivamente, 6,5 %, 29,1 %, 3 % e 35,2 % superiores aos da série S2.

A série S3 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S7 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ da série S7 foram, respectivamente, 7 %, 1,2 %, 69,2 % e 25,3 % superiores aos da série S3.

A série S4 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S8 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$ e de A da série S8 foram,

respectivamente, 3,6 % e 8,1 % superiores aos da série S4. Porém, os valores médios de k_e e de μ da série S4 foram, respectivamente, 16 % e 24,2 % superiores aos da série S8.

Observou-se que quanto maior foi o valor de t_{OSB} , maiores foram os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ .

4.3.4 Influência da distância entre os eixos dos parafusos sobre os resultados – M2

A série S1 foi constituída de CPs com 10 parafusos de e_p igual a 150 mm e a série S2 com 6 parafusos de e_p igual a 300 mm. Conforme a Tabela 3, observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série S2 foram, respectivamente, 1,1 %, 120 % e 43,7 % superiores aos da série S1. Porém, o valor médio de A da série S1 foi 122,5 % superior ao da série S2.

A série S3 foi constituída de CPs com e_p igual a 150 mm e a série S4 com e_p igual a 300 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ da série S4 foram, respectivamente, 6,8 %, 34,7 %, 40 % e 100 % superiores aos da série S3.

A série S5 foi constituída de CPs com e_p igual a 150 mm e a série S6 com e_p igual a 300 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série S5 foram semelhantes aos da série S6. Porém, os valores médios de k_e e de μ da série S6 foram, respectivamente, 10,7 % e 10,5 % superiores aos valores da série S5.

A série S7 foi constituída de CPs com e_p igual a 150 mm e a série S8 com e_p igual a 300 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série S7 foram, respectivamente, 15,4 % e 35,6 % superiores aos da série S8. Porém, os valores médios de k_e e de μ da série S8 foram, respectivamente, 17 % e 100 % superiores aos valores da série S7.

Observou-se que quanto maior foi o valor de e_p , maiores foram os valores de k_e e de μ e menores foram os valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A. Observou-se também que essa variação de e_p não influenciou significativamente o valor de $P_{m\acute{a}x}$ de modo geral.

4.3.5 Influência da espessura do perfil de aço sobre os resultados – M2

A série S1 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S3 com t_n igual a 0,95 mm. Conforme a Tabela 3, observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de

μ da série S1 foram, respectivamente, 10 %, 29 %, 32 % e 33,3 % superiores aos da série S3.

A série S2 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S4 com t_n igual a 0,95 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e da série S2 foram, respectivamente, 4,1 % e 111 % superiores aos da série S4. Porém, os valores médios de A e de μ da série S4 foram, respectivamente, 136 % e 4,3 % superiores aos da série S2.

A série S5 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S7 com t_n igual a 0,95 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série S7 foram, respectivamente, 25 % e 203,3 % superiores aos da série S5. Porém, o valor médio de k_e da série S5 foi 40 % superior ao da série S7. Além disso, o valor médio de μ da série S5 foi igual ao da série S7.

A série S6 foi constituída de CPs com t_n igual a 0,80 mm e a série S8 com t_n igual a 0,95 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ da série S8 foram, respectivamente, 8,3 %, 123,5 % e 81 % superiores aos da série S6. Porém, o valor médio de k_e da série S6 foi 32,5 % superior ao da série S8.

Observou-se que quanto maior foi o valor de t_n , maiores foram os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ .

4.3.6 Influência da espessura nominal dos painéis OSB sobre os resultados – M2

A série S1 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S5 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Conforme a Tabela 3, observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série S1 foram, respectivamente, 12,4 % e 55,2 % superiores aos da série S5. Porém, os valores médios de k_e e de μ da série S5 foram, respectivamente, 23,6 % e 18,7 % superiores aos da série S1.

A série S2 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S6 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série S2 foram, respectivamente, 13,8 %, 61 % e 6,5 % superiores aos da série S6. Porém, o valor médio de A da série S6 foi 43,4 % superior ao da série S2.

A série S3 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S7 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ da série S7 foram, respectivamente, 22,2 %, 14 %, 158 % e 58,3 % superiores aos da série S3.

A série S4 foi constituída de CPs com t_{OSB} igual a 9,5 mm e a série S8 com t_{OSB} igual a 11,1 mm. Observou-se que os valores médios de $P_{máx}$ e de k_e da série S4 foram semelhantes aos da série S8. Porém, os valores médios de A e de μ da série S8 foram, respectivamente, 36 % e 58,3 % superiores aos da série S4.

Observou-se que quanto maior foi o valor de t_{OSB} , maiores foram os valores de A e de μ e menores os valores $P_{máx}$ e de k_e .

4.3.7 Influência do modo de carregamento sobre os resultados

O modelo M1 representava os CPs ensaiados com carregamento paralelo às fibras externas dos painéis OSB e ao seu montante enquanto que o modelo M2 representava os CPs ensaiados com carregamento perpendicular às fibras externas dos painéis OSB e ao seu montante.

Observou-se que os valores de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ foram altos com o carregamento paralelo às fibras externas dos painéis OSB e ao montante. Nesta pesquisa, os valores de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ foram muito baixos com o carregamento perpendicular às fibras externas dos painéis OSB e ao montante por causa da posição do montante nos CPs. A distância de borda dos painéis até o eixo dos parafusos (D_b) do modelo M2 foi de aproximadamente 10 mm, distância essa que era paralela ao carregamento causando, de maneira geral, um modo de ruptura por rasgamento dos painéis OSB pelos parafusos.

5 Conclusões

Quanto ao valor médio de $P_{máx}$, o maior foi aproximadamente 3,4 vezes superior ao menor. Esse maior foi alcançado pelos CPs da série S6 do modelo M1 e o menor pelos CPs da série S6 do modelo M2.

Quanto ao valor médio de k_e , o maior foi aproximadamente 22 vezes superior ao menor. Esse maior foi alcançado pelos CPs da série S7 do modelo M1 e o menor pelos CPs da série S3 do modelo M2.

Quanto ao valor médio de A , o maior foi aproximadamente 22 vezes superior ao menor. Esse maior foi alcançado pelos CPs da série S8 do modelo M1 e o menor pelos CPs da série S2 do modelo M2.

Quanto ao valor médio de μ , o maior não foi aproximadamente 16 vezes superior ao menor. Esse maior foi alcançado pelos CPs da série S6 do modelo M1 e o menor pelos CPs da série S3 do modelo M2.

Na Tabela 3, pode-se observar que os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de μ foram, respectivamente, iguais a 2216,45 N e 19,62 com os seus valores de C_v respectivamente iguais a 1,96 % e 61,58 %. O maior valor médio de k_e foi igual a 4.100,33 N/mm sendo o seu valor de C_v igual a 100,24 %. O maior valor médio de A foi igual a 22091,49 N.mm e o valor do seu C_v foi igual a 13,76 %.

Os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e , respectivamente iguais a 3520 N e 5000 N/mm, obtidos por Okasha (2004) com t_{OSB} igual a 11 mm e t_n igual a 1,37 mm, foram, respectivamente, superiores de 59 % e de 22 % aos valores obtidos na presente pesquisa. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de Okasha (2004) ter usado um valor de t_n aproximadamente 1,4 vezes superior ao t_n da presente pesquisa.

O maior valor médio de A , igual a 31900 N.mm, obtido por Okasha (2004) a partir dos CPs com t_{OSB} igual a 15,5 mm e t_n igual a 1,11 mm, foi superior de 44 % ao valor obtido na presente pesquisa. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de Okasha (2004) ter usado um valor de t_{OSB} aproximadamente 1,4 vezes e um de t_n aproximadamente 1,2 vezes superiores aos da presente pesquisa.

O maior valor médio de μ , igual a 23,2, também obtido por Okasha (2004) a partir dos CPs com t_{OSB} igual a 12,5 mm e t_n igual a 1,11 mm, foi superior de 18 % ao valor obtido na presente pesquisa. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de Okasha (2004) ter usado um valor de t_{OSB} aproximadamente 1,1 vezes e um de t_n aproximadamente 1,2 vezes superiores aos da presente pesquisa.

Para pesquisas futuras na mesma área de atuação, sugere-se executar ensaios de força-deslizamento com a espessura de perfil igual a 1,25 mm seguindo-se os mesmos parâmetros estabelecidos na presente pesquisa.

6 Agradecimentos

À CAPES, à FAPEMIG e à CNPq pelo apoio financeiro em forma de fomento à pesquisa; à LP pelo fornecimento dos painéis; à Flasan pelo fornecimento do aço e pela fabricação dos CPs; à Construseco pela assistência técnica e a todos os outros colaboradores pelo auxílio durante os ensaios e o tratamento de dados.

7 Referências bibliográficas

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE – **AISI S917-17**. Test Standard for Determining the Fastener-Sheathing Local Translational Stiffness of Sheathed Cold-Formed Steel Assemblies.

DATCHOUA, Joseph Stéphane. Estudo Teórico-Experimental do Comportamento da Ligação de Painéis de OSB com Perfis do Reticulado Metálico do Sistema Construtivo Light Steel Framing. Dissertação de Mestrado. 2018. 204p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

DESIGN, ECCS Seismic. Recommended Testing Procedure for Assessing the Behavior of Structural Steel Elements Under Cyclic Loads. Tech. Comm. 1-Structural Safety and Loadings, TTVGL3-Rep. (**ECCS-1985**: European Convention for Constructions Steelwork).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Timber structures - Test methods - Racking strength and stiffness of timber frame wall panels. **EN, BS594: 1996**.

FIORINO, L.; DELLA CORTE, G.; LANDOLFO, R., Experimental tests on typical screw connections for cold-formed steel housing. **Engineering Structures**, v. 29, n. 8, p. 1761-1773, 2007.

IUORIO, O.; FIORINO, L.; LANDOLFO, R.; Testing CFS structures: The new school BFS in Naples. Thin-walled structures, v. 84, p. 275-288, 2014.

OKASHA, A. F. Performance of steel frame/wood sheathing screw connections subjected to monotonic and cyclic loading. Master of Research. Department of Civil Engineering and Applied Mechanics. McGill University, Canada, 2004. 104p.

PETERMAN, K. D.; NAKATA, N.; SCHAFFER, B. W., Hysteretic characterization of cold-formed steel stud-to-sheathing connections. **Revista de Pesquisa em Aço para a Construção**, v. 101, p. 254-264, 2014.

RODRIGUES, Francisco Carlos; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Steel Framing: Engenharia**. Instituto Brasileiro de Siderurgia, Rio de Janeiro, 2ª edição revisada, p 224, 2016.

VAGH, Shabbir; DOLAN, J. D.; EASTERLING, W. S. Effect of anchorage and sheathing configuration on the cyclic response of long steel-frame shear walls. 2007. (**AISI Research Report RP00-6 – Revision 2007**).

VIEIRA, L. C. M.; SCHAFFER, B. W., Experimental results for translational stiffness of stud-sheathing assemblies. **AISI-COFS supplemental report**, 2009.

YE, Jihong; WANG, Xingxing; ZHAO, Mengyuan, Experimental study on shear behavior of screw connections in CFS sheathing. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 121, p. 1-12, 2016.