

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

CAROLINE AMORIM DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE UM SISTEMA
AUTOPORTANTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

CAROLINE AMORIM DA SILVA

AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE UM SISTEMA AUTOPORTANTE

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr^a. Elisabeth Penner

Co-orientador: MSc. Eng^a. Carla Rabelo Monich

CURITBA
2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

“Avaliação De Características Mecânicas De Um Sistema Autoportante”

por

Caroline Amorim da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso parcial apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 7 de março de 2014, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Dr^a Elisabeth Penner

Prof. Esp. Marcelo Queiroz Varisco

Prof. Dr. Wellington Mazer

MSc. Eng^a Carla Rabelo Monich

RESUMO

SILVA, Caroline Amorim da. **Avaliação de Características Mecânicas de Um Sistema Autoportante**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Esta pesquisa visa estudar características mecânicas dos materiais de um sistema autoportante composto por duas chapas de OSB e um recheio de EPS. Discute a necessidade de racionalização de métodos, processos e sistemas construtivos. Apresenta conceitos de sistemas estruturais comparativos e materiais utilizados no sistema em estudo. Por meio de ensaios de compressão axial no compósito e de flexão simples reta no compósito e na chapa de OSB, foram rompidos 52 corpos de prova, e ao final do trabalho estão os resultados e discussões das análises. Traz como resultado do estudo uma análise quanto ao desempenho estrutural do compósito, levando-se em conta as condições nas quais foi realizada a avaliação.

Palavras-chave: Sistema autoportante; OSB; EPS; Compressão axial; Flexão simples reta.

ABSTRACT

SILVA, Caroline Amorim da. **Evaluation of Mechanical Characteristics of a Self-Supporting Building System**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

This research aims to study the mechanical characteristics of the materials of a self-supporting system composed of two sheets of OSB and a core of EPS. It argues the need for rationalization of methods, processes and building systems. It presents concepts of comparative structural systems and materials used in the system in consideration. Through axial compression tests on composite and simple bending in the composite and OSB sheet, 52 specimens were broken, and in the end of the paper are the results of the analyzes and discussions. It brings as a result an analysis on the structural performance of the composite, considering the conditions which the assessment was conducted.

Keywords: Self-Supporting System; OSB; EPS; Axial compression; Simple bending.

LISTA DE SIGLAS

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem

ABRAPEX – Associação Brasileira do Poliestireno Expandido

DATec – Documento de Avaliação Técnica

EPS – *Expanded Polystyrene* / Poliestireno Expandido

PCAE – Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural

OSB – *Oriented Strand Board* / Painel de Partículas Orientadas

SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

XLS – *Extruded Polystyrene* / Poliestireno Extrudado

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F2	39
Gráfico 2 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F3	40
Gráfico 3 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F4	41
Gráfico 4 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F5	42
Gráfico 5 – Força X Deslocamento: EPS F2	46
Gráfico 6 – Força X Deslocamento: EPS F3	47
Gráfico 7 – Força X Deslocamento: EPS F4	48
Gráfico 8 – Força X Deslocamento: EPS F5	49
Gráfico 9 - Força X Deslocamento: OSB.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Orientação das partículas <i>Strands</i> na produção dos painéis de OSB.....	17
Figura 2 – Corpo de prova prismático do compósito: Ensaio de compressão axial ..	21
Figura 3 - Corpo de prova prismático do compósito: Ensaio de flexão simples reta .	22
Figura 4 - Corpo de prova prismático do OSB: Ensaio de flexão simples reta	22
Figura 5 – Corpos de prova para ensaio de compressão axial	43
Figura 6 – CP 1 EPS F5: Ensaio de compressão axial	43
Figura 7 – CP1 EPS F5: Ruptura na compressão axial	43
Figura 8 – CP3 EPS F5: Ruptura na compressão axial	44
Figura 9 – CP5 EPS F5: Ruptura na compressão axial	44
Figura 10 – CP3 EPS F4: Ruptura na compressão axial	44
Figura 11 – CP4 EPS F3: Ruptura na compressão axial	45
Figura 12 – CP4 EPS F3: Ruptura na compressão axial	45
Figura 13 – CP4 EPS F5: Ensaio de flexão simples reta	51
Figura 14 – CP4 EPS F5: Ruptura na flexão simples reta	51
Figura 15 – CP7 EPS F5: Ruptura na flexão simples reta	51
Figura 16 – CP1 EPS F3: Ruptura na flexão simples reta	52
Figura 17 – CP1 OSB: Ensaio de flexão simples reta	52
Figura 18 – CP1 OSB: Ruptura na flexão simples reta	52
Figura 19 – CP1 OSB: Ruptura na flexão simples reta	53
Figura 20 – CP6 OSB: Ensaio de flexão simples reta	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de resistência à compressão média e módulo de elasticidade médio: Argamassa, Bloco de concreto e Paredinha.....	10
Tabela 2 - Valores das relações entre módulo de elasticidade médio e resistência à compressão média das paredinhas.....	11
Tabela 3 - Valores das relações entre módulo de elasticidade médio e resistência à compressão média dos blocos	11
Tabela 4 – Blocos utilizados nas séries de paredinhas de JUSTE, 2001	11
Tabela 5 – Argamassas utilizadas nas séries de paredinhas de JUSTE, 2001	11
Tabela 6 - Valores de resistência e módulo de elasticidade de blocos cerâmicos - Autores brasileiros.....	12
Tabela 7 – Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação	12
Tabela 8 - Módulo de elasticidade de corpos de prova de concreto em três grupos de resistência	13
Tabela 9 – Valores usuais de materiais utilizados na Construção Civil.....	14
Tabela 10 – Resumo das propriedades do OSB – chapa de 12 mm	18
Tabela 11 – Propriedades físico-mecânicas do OSB	19
Tabela 12 – Características exigíveis para o EPS	20
Tabela 13 – Densidade dos EPS	23
Tabela 14 – Número de amostras dos ensaios	23
Tabela 15 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F2.....	25
Tabela 16 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F3.....	26
Tabela 17 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F4.....	26
Tabela 18 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F5.....	26
Tabela 19 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F2.....	28
Tabela 20 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F3.....	28
Tabela 21 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F4.....	28
Tabela 22 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F5.....	29
Tabela 23 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – OSB.....	29
Tabela 24 – Tensão normal média.....	30
Tabela 25 – Comparação dos valores médios de E/σ do compósito ensaiado e paredinhas de blocos cerâmicos	30

Tabela 26 - Comparação dos valores médios de E do compósito ensaiado e parედinhas de blocos de concreto.....	31
Tabela 27 - Comparação dos valores médios de E do compósito ensaiado e blocos de concreto.....	31
Tabela 28A – EPS F2: Resultados dos ensaios de compressão axial.....	39
Tabela 29A – Cenário pós ruptura: Compressão Axial - EPS F2.....	39
Tabela 30A – EPS F3: Resultados dos ensaios de compressão axial.....	40
Tabela 31A – Cenário pós ruptura: Compressão axial – EPS F3.....	40
Tabela 32A – EPS F4: Resultados dos ensaios de compressão axial.....	41
Tabela 33A – Cenário pós-ruptura: Compressão axial – EPS F4.....	41
Tabela 34A – EPS F5: Resultados dos ensaios de compressão axial.....	42
Tabela 35A – Cenário pós-ruptura: Compressão axial – EPS F5.....	42
Tabela 36B – EPS F2: Resultados dos ensaios de flexão simples reta.....	46
Tabela 37B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – OSB F2.....	46
Tabela 38B – EPS F3: Resultados dos ensaios de flexão simples reta.....	47
Tabela 39B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – EPS F3.....	47
Tabela 40B – EPS F4: Resultados dos ensaios de flexão simples reta.....	48
Tabela 41B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – EPS F4.....	48
Tabela 42B – EPS F5: Resultados dos ensaios de flexão simples reta.....	49
Tabela 43B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – EPS F5.....	49
Tabela 44B – OSB: Resultados dos ensaios de flexão simples reta.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 OBJETIVO GERAL	8
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.2 JUSTIFICATIVA	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS AUTOPORTANTES	9
2.1.1 Alvenaria Estrutural	9
2.1.2 Tilt Up	14
2.1.3 Light Steel Framing	15
2.1.4 Wood Frame	16
2.2 OSB – <i>ORIENTED STRAND BOARD</i> / PAINEL DE PARTÍCULAS ORIENTADAS	17
2.3 EPS – <i>EXPANDED POLYSTYRENE</i> / POLIESTIRENO EXPANDIDO	19
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
4. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA	25
4.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL	25
4.2 ENSAIOS DE FLEXÃO SIMPLES RETA	27
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
5.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL	30
5.2 ENSAIOS DE FLEXÃO SIMPLES RETA	31
6. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	34
APÊNDICE A	39
APÊNDICE B	46

1. INTRODUÇÃO

Em 2008, durante a crise financeira internacional, o Governo Federal lançou o programa “Minha Casa, Minha Vida” a fim de manter o crescimento econômico do país e impulsionar o setor da construção civil. Em parceria com os Estados, municípios e a iniciativa privada, o programa promove a construção de novas unidades habitacionais voltadas às camadas da população com menor renda, concedendo expressivos subsídios (CAIXA ECONOMICA FEDERAL; 2012). Em meio às inovações tecnológicas nos processos construtivos foi criado o SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica, com a premissa de avaliar produtos não abrangidos por normas técnicas prescritivas (MINISTÉRIO DAS CIDADES; 2014).

Uma tecnologia em processo de testes para posterior submissão ao SiNAT é um sistema construtivo autoportante composto por duas chapas de OSB – *Oriented Strand Board*/Painel de Partículas Orientadas – e um núcleo que pode ser preenchido por materiais como EPS - *Expanded Polystyrene*/Poliestireno Expandido, XPS - *Extruded Polystyrene*/Poliestireno Extrudado, ou *Urethane Foam*/Espuma de Poliuretano, sendo o primeiro o mais largamente utilizado. Empregado em larga escala nos Estados Unidos, Canadá e Chile, o sistema tem despertado interesse em empresários brasileiros devido a sua eficiência, velocidade na montagem, economia e esquema flexível.

Desenvolvido em 1978, o OSB é composto por partículas de madeiras orientadas, ordenadas em camadas (3 a 5) que podem estar dispostas de forma aleatória ou perpendicular às camadas externas (MALONEY; 1996, p.23). Trata-se de um tipo de composto de madeira utilizado para finalidades estruturais, competindo dessa forma com o compensado (DEL MENEZZI; TOMASELLI; SOUZA, 2007, p.68).

O EPS é um plástico celular rígido que possui características isolantes. Tem inúmeras aplicações industriais, porém sua utilização é mais difundida no setor da construção civil. Segundo Morley (2000), 85% dos sistemas construtivos autoportantes em estudo possuem recheio de EPS.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho de pesquisa é o de avaliar características mecânicas dos materiais componentes de um sistema construtivo autoportante.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Determinar a resistência à compressão axial do compósito;
- Determinar a resistência à flexão simples reta do compósito;
- Determinar a resistência à flexão simples reta do OSB.

1.2 JUSTIFICATIVA

O cenário da construção civil brasileira é caracterizado pela baixa produtividade e alta taxa de desperdício de materiais. Novas tecnologias têm ganhado espaço devido à necessidade de racionalização dos métodos, processos e sistemas construtivos.

Quanto à modernização dos processos construtivos, os sistemas totalmente ou parcialmente pré-fabricados vêm se destacando a frente de outras tecnologias. A pré-fabricação foi uma das formas encontradas, por países industrializados, de atender uma grande demanda de habitações com custos reduzidos de mão-de-obra e maior produtividade (CAMPOS, 2006, p.12).

Com esse trabalho pretende-se contribuir para a disseminação de informações sobre o sistema construtivo autoportante, tratado nesse estudo, ao público interessado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS AUTOPORTANTES

Um sistema estrutural autoportante, ou autossustentável – do ponto de vista estrutural – caracteriza-se por assegurar a estabilidade da estrutura, suportando as solicitações a que está submetida.

Alguns sistemas estruturais autoportantes de relevância a esse estudo serão tratados nesse capítulo:

2.1.1 Alvenaria Estrutural

“Conceitua-se de Alvenaria Estrutural o processo construtivo na qual, os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma racional” (CAMACHO, 2006, p.1).

Hendry (2002) descreve que a alvenaria estrutural começou a ser vista como uma tecnologia de construção civil em meados século XVII. Embora entre os séculos XIX e XX testes de resistência dos elementos da alvenaria estrutural tenham sido realizados, os projetos ainda eram elaborados de acordo com métodos empíricos de cálculo, apresentando assim grandes limitações.

Sabbatini (2002) exemplifica o Teatro Municipal de São Paulo, inaugurado em 1911, totalmente estruturado em paredes de alvenaria resistente.

“No entanto, apesar da utilização tradicional da alvenaria como estrutura suporte, na década de 70 foi introduzida, em São Paulo, uma revolucionária inovação neste campo, os PCAE – Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural – conhecidos pela sua forma simplificada: Alvenaria Estrutural. A primeira tecnologia a ser importada teve origem nos EEUU e é comumente denominada por alvenaria estrutural armada de blocos de concreto. Após anos de adaptação e desenvolvimento no País esta tecnologia foi consolidada na década de 80, através de normalização oficial (da ABNT e posteriormente referendada pelo INMETRO) consistente e razoavelmente completa” (SABBATINI, 2002, p.5).

Fonseca (2002) cita a velocidade de construção e economia oriunda do baixo consumo de cimento utilizado na argamassa de assentamento, como as principais vantagens no uso da alvenaria estrutural. Por ser possível que as paredes que constituem a estrutura da edificação desempenhem outras funções simultaneamente, como subdivisão de espaço, isolamento térmico e acústico, proteção ao fogo e adequação às condições climáticas, Oliveira (2001) descreve a alvenaria estrutural como um sucesso econômico.

Bressiani et al. (2012) expõe como principais desvantagens as limitações de projeto, a carência de fornecedores de blocos de concreto e a falta de mão de obra qualificada. Vãos livres limitados e juntas de controle e dilatação a cada 15 m são citados por Tavares (2011).

O estudo da resistência à compressão e da deformabilidade de paredes de blocos de concreto é de fundamental importância para a caracterização desse material e o desenvolvimento de análises de estruturas compostas por esse tipo de painel (JUSTE, 2001).

Na Tabela 1 estão apresentados valores de resistência à compressão média e módulo de elasticidade médio encontrados por Juste (2001) em ensaios de paredes de bloco de concreto e argamassa. Juste (2001) utilizou-se da nomenclatura “paredinha” para paredes em escala reduzida, assim economizando espaço e tempo nos ensaios, além de razoável correlação com ensaios de parede em escala real:

Tabela 1 – Valores de resistência à compressão média e módulo de elasticidade médio: Argamassa, Bloco de concreto e Paredinha

Séries de paredes correspondentes	ARGAMASSA	σ_{am} (MPa)	E_{am} (MPa)	BLOCO DE CONCRETO	σ_{bm} (MPa)	E_{bm} (MPa)	PAREDINHA	σ_{pam} (MPa)	E_{pam} (MPa)
PAB1A1		6,44	9796		10,8	6228		4,97	6383
PAB2A1		6,44	9796		22,92	7554		8,84	9128
PAB1A2		4,2	7598		10,8	6228		4,12	6440
PAB2A2		4,2	7598		22,92	7554		5,65	8693*

* Nessa série não foi possível obter valores médios devido a ruptura de duas paredinhas durante o transporte

Fonte: Adaptado JUSTE, 2001.

Onde:

σ_{am} = Resistência à compressão média da argamassa

E_{am} = Módulo de elasticidade médio da argamassa

σ_{bm} = Resistência à compressão média do bloco de concreto (área bruta)

E_{bm} = Módulo de elasticidade médio do bloco de concreto (área líquida)

σ_{pam} = Resistência à compressão média da paredinha

E_{pam} = Módulo de elasticidade médio da paredinha

Tabela 2 - Valores das relações entre módulo de elasticidade médio e resistência à compressão média das paredinhas

Séries de paredes correspondentes	Valores obtidos nos ensaios		
	σ (MPa)	E (MPa)	E/ σ
PAB1A1	4,97	6383	1284
PAB2A1	8,84	9128	1033
PAB1A2	4,12	6440	1563
PAB2A2	5,65	8693	1539*

* Resultado descartado

Fonte: Adaptado JUSTE, 2001.

Tabela 3 - Valores das relações entre módulo de elasticidade médio e resistência à compressão média dos blocos

Bloco	Valores obtidos nos ensaios		
	σ (MPa)	E (MPa)	E/ σ
B1	10,8	6228	577
B2	22,92	7554	330

Fonte: Adaptado JUSTE, 2001.

Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados referências para interpretação das séries de paredes das Tabelas 1 e 2:

Tabela 4 – Blocos utilizados nas séries de paredinhas de JUSTE, 2001

Bloco	Classe de resistência (MPa)
B1	4,5
B2	12

Fonte: Adaptado JUSTE, 2001.

Tabela 5 – Argamassas utilizadas nas séries de paredinhas de JUSTE, 2001

Argamassa	Traço em volume	Traço em massa
A1	1 : 0,5 : 4,5	1 : 0,31 : 5,8
A2	1 : 1 : 6	1 : 00,61 : 7,73

Fonte: Adaptado JUSTE, 2001.

Nas Tabelas 6 e 7 estão apresentados valores de resistência e módulo de elasticidade de blocos cerâmicos:

Tabela 6 - Valores de resistência e módulo de elasticidade de blocos cerâmicos - Autores brasileiros

Fonte	Tipo do bloco cerâmico	σ (MPa)	E (MPa)	E/ σ	Média E/ σ	Observações
GOMES (1983)	Vazado	2,4	3593	1497	1152	Ensaio de paredes (σ e ϵ)
		3,1	2775	895		
		2,6	2448	942		
		2,9	3692	1273		
FRANCO (1987)	Perfurado	5,85	3661	626	529	Ensaio de prisma (σ) e paredes (ϵ)
		5,52	2900	525		
		5,57	2816	506		
		4,82	2204	457		
MULLER (1989)	Vazado	5,95	3326	559	478	Ensaio de prisma (σ) e paredes (ϵ)
		5,7	2523	443		
		5,37	2326	433		
MENDES (1998)	Vazado	8,11	4508	556	487	Ensaio de prismas sem graute (σ e ϵ)
		12,56	5249	418		
PASQUALI (2006)	Vazado de paredes maciças	4,68	5185	1108	1122	Ensaio de pequenas paredes (σ e ϵ) (argamassa 2, 4 e 10 MPa respectivamente)
		5,16	5200	1008		
		4,48	5604	1251		
	Vazados de paredes vazadas	4,56	4196	920	803	Ensaio de pequenas paredes (σ e ϵ) (argamassa 2, 4 e 10 MPa respectivamente)
		4,34	3665	844		
		5,21	3355	644		

Fonte: COSTA, 2010 (apud PASQUALI, 2007).

Tabela 7 – Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação

Características visuais	Não apresentar quebras, superfícies irregulares ou deformações
Forma	Prisma reto
Tolerância dimensional individual relacionada à dimensão efetiva	± 5 mm (largura, altura ou comprimento)
Tolerância dimensional relacionada à média das dimensões efetivas	± 3 mm (largura, altura ou comprimento)
Espessura das paredes internas dos blocos	≥ 6 mm
Espessura das paredes externas dos blocos	≥ 7 mm
Desvio em relação ao esquadro	≤ 3 mm
Planeza das faces	Flecha ≤ 3 mm
Resistência à compressão (área bruta)	$\geq 1,5$ MPa (para furos na horizontal)
	≥ 3 MPa (para furos na horizontal)
Índice de absorção de água (AA)	$8\% \leq AA \leq 22\%$

Fonte: THOMAZ et al, 2009.

Segundo Sabbatini (2002) blocos cerâmicos ou de concreto, com função estrutural, que forem empregados em casas e sobrados a serem financiados pela Caixa Econômica Federal devem atender as Normas Brasileiras vigentes, em especial a NBR 7171 e NBR 7173.

Poderão ser empregados blocos cerâmicos que, concomitantemente, atendam às seguintes exigências normativas:

- Tenham furos perpendiculares à face de assentamento;
- Sejam, no mínimo, de classe 25 de resistência à compressão, ou seja, tenham resistência à compressão na área bruta mínima de 2,5 MPa, quando ensaiados segundo a NBR 6461 – Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação de resistência à compressão;
- Tenham precisão dimensional.

Da mesma forma, somente poderão ser empregados blocos de concreto que, concomitantemente, atendam as seguintes exigências normativas:

- Sejam vazados, ou seja, toda seção transversal (paralela à face de assentamento) apresente uma área inferior a 75% da área bruta (largura x comprimento);
- Tenham resistência à compressão mínima de 2,5 MPa, quando ensaiados segundo a NBR 7184 – Método de ensaio para blocos vazados de concreto;
- Tenham precisão dimensional.

Na Tabela 8 estão apresentados módulos de elasticidade de corpos de prova cilíndricos de concreto, encontrados por Barbosa e Hanai (2006):

Tabela 8 - Módulo de elasticidade de corpos de prova de concreto em três grupos de resistência

Corpo de prova cilíndrico (cm)	E (MPa)
5 X 10	16199
10 X 20	19407
15 X 30	25484

Fonte: Adaptado BARBOSA; HANAI, 2006.

Na Tabela 9 estão apresentados valores usuais de materiais utilizados na Construção Civil:

Tabela 9 – Valores usuais de materiais utilizados na Construção Civil

Material	E Longitudinal (GPa)	σ (MPa)
Aço para Concreto Armado – CA-50	210	
Concreto	25 a 30	30
Madeira ¹		
Peroba	10 a 20	20 a 40
Pinho	12 a 15	30
Eucalipto	15 a 24	30 a 60

¹ Tensões paralelas às fibras

Fonte: Adaptado de BEER; JOHNSTON, 1995 e NBR 7190/97.

2.1.2 Tilt Up

A ABESC (2014) – Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Concretagem – descreve que o sistema baseia-se na fabricação de placas de concreto de grandes dimensões com função estrutural e de fechamento. As paredes podem apresentar variadas formas, sendo moldadas em concreto armado e executadas no próprio canteiro de obras.

“É um processo de dois passos onde se faz a laje de concreto (piso industrial) como fôrma e modela-se a parede a ser aplicada, disposta horizontalmente, que após adquirir resistência suficiente é içada para seu destino final de aplicação com auxílio de guindastes, prevendo fundações devidamente preparadas para suportar a carga da parede” (MACHADO; TROG, 2011 apud TCA 6th Edition, 2007 p.1-1).

Segundo Machado e Trug (2011 apud DAYTON, 2011, p.3) o método construtivo surgiu há mais de 2000 anos, quando algum anônimo construtor romano descobriu que seria mais fácil moldar uma parede de concreto no chão e içá-la para a posição final. Porém somente após o surgimento do concreto armado foi possível construir painéis de maiores dimensões.

Machado e Trug (2011) listam a economia nas fundações, pilares e vigas, rapidez de construção, durabilidade, resistência ao fogo, baixos custos com manutenção, baixo seguro predial, atrativo arquitetônico, climatização e ampliação

posterior da construção como as principais vantagens da técnica. A ABESC (2014) descreve a versatilidade e possibilidade de utilização.

Ferreira (2010 apud GALDIERI, 2002) diz que as desvantagens do sistema são que a mão de obra deve ser especializada, o piso que servirá como fôrma deve ter resistência para suportar o peso dos painéis, o canteiro deve possuir tamanho suficiente para a fabricação e escoramento provisório das placas, assim como deve haver relação no custo *versus* benefício na locação do guindaste.

2.1.3 Light Steel Framing

Crasto et al. (2012) descrevem o sistema como uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado que são utilizados para a composição de painéis, vigas secundárias ou de piso, tesouras de telhado e demais componentes.

De acordo com Cruz (2012), o *Light Steel Framing* surgiu nos Estados Unidos, no final do século XIX, quando as siderúrgicas começaram a disponibilizar aços de espessuras menores e com maior resistência a corrosão, e se intensificou após a passagem do furacão Andrew em 1992, quando as estruturas de madeira foram substituídas pelas de aço.

“Seu emprego apresenta uma série de vantagens, tanto em relação à construção convencional quanto em relação à construção em madeira, tais como: redução no prazo de execução da obra; material estrutural mais leve em aço e com maior resistência à corrosão; durabilidade; maior precisão na montagem de paredes e pisos; desperdício e perda de materiais reduzidos; custo reduzido; material 100% reciclável e incombustível; qualidade do aço garantida pelas siderúrgicas nacionais” (RODRIGUES, 2006, p. 28)

Uma das principais desvantagens está relacionada à quantidade de pavimentos possíveis. Não se pode construir no Brasil prédios com mais de seis pavimentos por causa da distribuição de carga nesse tipo de obra. O custo e a ausência de revendas especializadas em algumas regiões também são listados como desvantagens (US HOME, 2014).

Ressalta-se que o *Light Steel Framing* é tratado pela Diretriz SiNAT nº 003 - Revisão 01 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "*Light Steel Framing*"), de dezembro de 2012 e que atualmente

2 empresas já possuem DATec – Documento de Avaliação Técnica – que permite o enquadramento do sistema construtivo no Programa “Minha Casa, Minha Vida”: a Saint Gobain, através do DATec nº 014 - Sistema Construtivo a seco SAINT-GOBAIN - Light Steel Frame e a LP Brasil, através do DATec nº 015 - Sistema construtivo LP BRASIL OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com *siding* vinílico e DATec nº 016 - Sistema construtivo LP BRASIL OSB em Light Steel Frame e fechamento em *SmartSide Panel* (SINAT, 2014).

2.1.4 Wood Frame

A TecVerde Engenharia (2014) descreve que o *Wood Frame* surgiu há mais de 100 anos na América do Norte com o intuito de possibilitar a construção de moradias com recursos naturais locais, de fácil manuseio e que possibilitassem conforto térmico tanto nas regiões frias como quentes dos Estados Unidos e Canadá. Atualmente a tecnologia passou a ser aplicada em grandes proporções na Europa, África do Sul, Japão, Nova Zelândia, Chile, Mongólia, Indonésia, Austrália e agora no Brasil.

“As paredes são pré-montadas através de painéis constituídos dos montantes e peças da base e do topo. A montagem é feita com a fixação na base e amarração lateral entre painéis paralelos e transversais. Na próxima fase, fixam-se os painéis externos aos montantes. O fechamento interno só é feito após as instalações elétricas e hidráulicas terem sido executadas. A instalação dos dutos hidráulicos é passante pelos montantes e a fiação elétrica não requer eletrodutos” (MONICH, 2012, p.48-49).

Segundo Souza (2012), as vantagens do sistema consistem na redução do tempo da obra, sustentabilidade visto que a tecnologia utiliza madeira de reflorestamento e gera menos resíduos, flexibilidade de projeto, além de conforto e resistência.

Souza (2012) ainda cita as desvantagens, como a limitação no número de pavimentos (máximo 5), baixa oferta de mão de obra especializada e de ferramentas específicas, além da resistência do mercado frente à mudança.

Ressalta-se que o *Light Wood Framing* é tratado pela Diretriz SiNAT nº 005 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves

tipo "*Light Wood Framing*"), de setembro de 2011 e que atualmente 1 empresa já possui o DATec – Documento de Avaliação Técnica – que permite o enquadramento do sistema construtivo no Programa “Minha Casa, Minha Vida”: a Tecverde Engenharia, através do DATec nº 020 - Sistema Construtivo TECVERDE: "Sistema leve em madeira" (SINAT, 2014).

2.2.OSB – *ORIENTED STRAND BOARD* / PAINEL DE PARTÍCULAS ORIENTADAS

O OSB é um painel estrutural produzido a partir de partículas (*strands*) de madeira, sendo que a camada interna pode estar disposta aleatoriamente ou perpendicular às camadas externas (MENDES, 2001).

Maloney (1996) descreve como “um painel de partículas de madeira orientadas e coladas com resina à prova d’água sob prensagem a quente”.

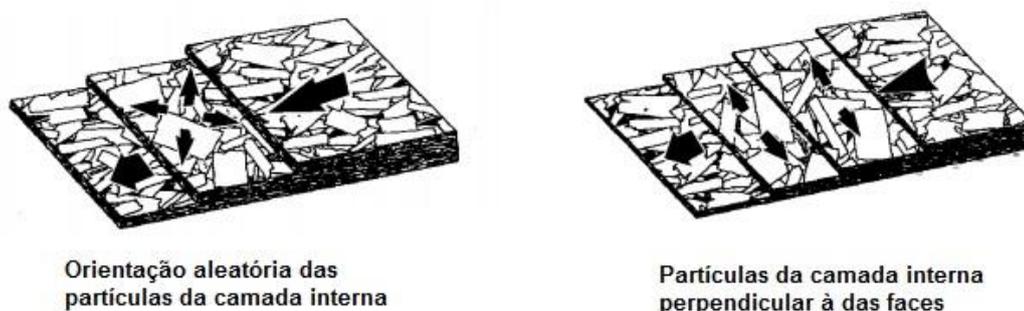


Figura 1 – Orientação das partículas *Strands* na produção dos painéis de OSB
 Fonte: Adaptado OSB-*Performance by Design* (2005)

Mendes (2010) conta que a produção dos painéis começou na década de 70 nos Estados Unidos e Canadá, sendo a segunda geração de *Waferboard*. No município de Ponta Grossa – PR encontra-se a primeira e única unidade industrial de painéis de OSB, com capacidade de produção de 350.000 m³/ano.

Quanto à produção, os painéis normalmente são produzidos em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, mas também pode ser produzidos até a espessura de 38,0 mm. São produzidos em chapas de 1220 x 2440 mm (4x8 pol.) para usos estruturais, mas também podem ser produzidos em dimensões de até 3600 x 7320 mm para usos industriais (MENDES, 2001).

A empresa Masisa (2014) apresenta 3 aplicações para os diferentes tipos de OSB que produz:

- Na Construção Convencional:
Fechamentos de obras; Instalações provisórias (em canteiros de obras);
Fôrmas de concreto para vigas, pilares e fundações (2 a 3 usos);
Mezaninos, palcos, passarelas e afins.
- Na Construção Seca:
Pisos; Paredes; Coberturas.
- Na Indústria Moveleira:
Montagem de caixas de estofados; Fixação de percintas.

Nas Tabelas 10 e 11 estão apresentadas algumas propriedades físico-mecânicas do OSB obtidos por ensaios realizados por Dias et al. (2004) e especificadas pela empresa Masisa (2014).

Tabela 10 – Resumo das propriedades do OSB – chapa de 12 mm

Corpo de prova	Resistência (MPa)			Rigidez - Circular (MPa)		Rigidez - Aparente (MPa)			Rigidez (MPa)
	Flexão Transversal	Flexão Longitudinal	Flexão Vertical	Flexão Transversal	Flexão Longitudinal	Flexão Transversal	Flexão Longitudinal	Flexão Vertical	
1	14,7	22,7	78,4	2314,4	5303	2253,3	5431,8	4222,3	1698,3
2	15,1	23,6	58,6	2505,1	5640,4	2282,8	5727,9	4257	1568,3
3	17,2	25	61,3	2567,6	5401,5	2577,6	6060,4	4541,9	1716,8
4	14,8	23	81,6	2191,2	5471	2209,2	5533,4	4558,7	1775,3
5	16,4	21,5	71,5	2680,2	4883,9	2530,2	5243,3	4809,1	1687
6	14,5	22,7	87,4	2444,4	5369	2399	5629,3	4185,4	1826,1
7	16,1	22	79,7	2639,7	4995,2	2494,5	4993,6	4324,5	1763,9
8	15,9	22,4	79,8	2771,7	4952,2	2722,8	5084,7	4868,3	1806,4
Média	15,6	22,9	74,8	2514,3	5252	2433,7	5463,1	4470,9	1730,3
Desvio Padrão	0,97	1,07	10,17	193,36	274,83	178,98	353,03	266,06	82,33
CV	6,23	4,67	13,6	7,69	5,23	7,35	6,46	5,95	4,76

Fonte: DIAS et al., 2004.

Tabela 11 – Propriedades físico-mecânicas do OSB

Propriedades	6 a 8 mm	10 mm	12 mm	14 a 20 mm	25 a 50 mm
Flexão (N/mm ²)					
Maior eixo	22	22		20	18
Menor eixo	11	11		10	
Módulo de elasticidade (N/mm ²)					
Maior eixo	3500				
Menor eixo	1400				
Tração (N/mm ²)	0,34	0,34		0,32	0,3
Inchamento 24 horas (%)	25	20			
Varição máx de espessura (mm)	± 0,8				
Varição máx comp/larg (mm)	± 3				
Retinilidade das bordas (mm/m)	1,5				
Esquadro (mm/m)	2				
Conteúdo de umidade (%)	5 a 12				
Densidade média (kg/m ³)	640 ± 30	630 ± 30	600 ± 30	560 ± 20	540 ± 20

Fonte: Adaptado MASISA, 2014.

2.3 EPS – EXPANDED POLYSTYRENE / POLIESTIRENO EXPANDIDO

Segundo a ABRAPEX (2014) – Associação Brasileira do Poliestireno Expandido, o EPS foi descoberto em 1949 pelos químicos Frotz Stastny e Karl Buchholz, enquanto trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha.

“O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Como agente expansor para a transformação, emprega-se o pentano. O produto final é composto de pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que se destinam à expansão. No processo de transformação, essas pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas. Expandidas, as pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1m³ de EPS expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar” (ABRAPEX, 2014).

A ABRAPEX (2006) em parceria com a PINI descreve o EPS como um material resistente, fácil de cortar, leve e durável. Na Construção Civil pode-se utilizar o material no nivelamento de lajes e fôrmas para concreto; lajes industrializadas; na produção de concreto leve; isolamento térmico e acústico; forros isolantes e decorativos; painéis autoportantes; painéis divisórios; sistema de blocos vazados de EPS; fundação para estradas; juntas de dilatação e drenagem.

Na Tabela 12 estão apresentadas as características exigíveis para o EPS:

Tabela 12 – Características exigíveis para o EPS

Propriedades	Norma	Unidade	Tipo de EPS						
	Método de Ensaio		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Densidade aparente nominal	NBR 11949	kg/m ³	10	12	14	18	22,5	27,5	32,5
Densidade aparente mínima	NBR 11949	kg/m ³	9	11	13	16	20	25	30
Condutividade térmica máxima (23 °C)	NBR 12094	W/m.k	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por compressão com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	≥ 33	≥ 42	≥ 65	≥ 80	≥ 110	≥ 145	≥ 165
Resistência mínima à flexão	ASTM C-203	KPa	≥ 50	≥ 60	≥ 120	≥ 160	≥ 220	≥ 275	≥ 340
Resistência mínima ao cisalhamento	EM-12090	KPa	≥ 25	≥ 30	≥ 60	≥ 80	≥ 110	≥ 135	≥ 170
Flamabilidade (se material classe F)	NBR 11948	Material retardante à chama							

Fonte: KNAUF INDUSTRIES, 2014.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho de conclusão de curso as seguintes etapas foram cumpridas:

- Fundamentação teórica;
- Realização de ensaios;
- Discussão de resultados;
- Conclusões.

A fundamentação teórica foi baseada em itens relevantes ao tocante da pesquisa, contemplados no capítulo 2. Foram utilizados livros, artigos técnicos, publicações, normas técnicas, monografias, dissertações, teses, além de conhecimentos obtidos no meio acadêmico e profissional.

Para a realização dos ensaios de compressão axial do compósito foram utilizados corpos de prova prismáticos com dimensões ($B_1 \times B_2 \times L$) de 10,8 cm X 15 cm X 24 cm, Figura 2.

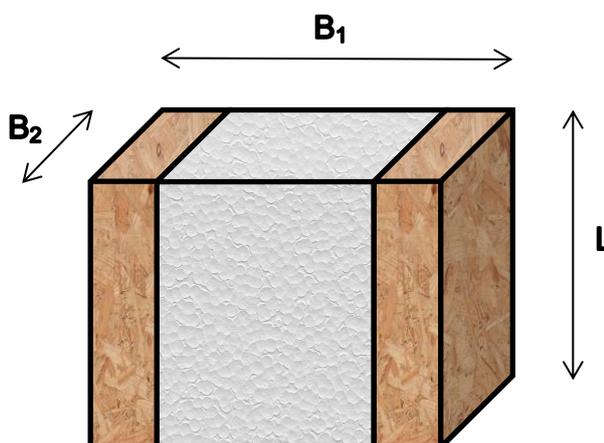


Figura 2 – Corpo de prova prismático do compósito: Ensaio de compressão axial
Fonte: Autoria própria.

Já nos ensaios de flexão simples reta do compósito foram utilizados corpos de prova prismáticos com dimensões ($B \times H \times L$) de 7,5 cm X 10,8 cm X 100 cm, Figura 3.

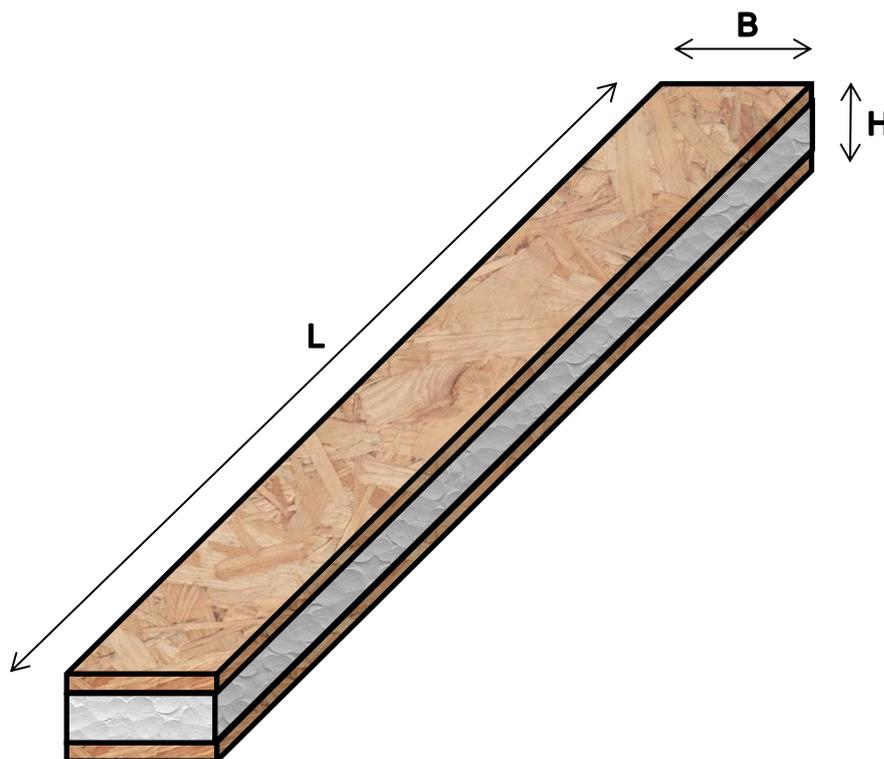


Figura 3 - Corpo de prova prismático do compósito: Ensaio de flexão simples reta
Fonte: Autoria própria.

Nos ensaios de flexão simples reta no OSB foram utilizados corpos de prova prismáticos ($B \times H \times L$) de 15 cm X 0,95 cm X 200 cm, Figura 4.

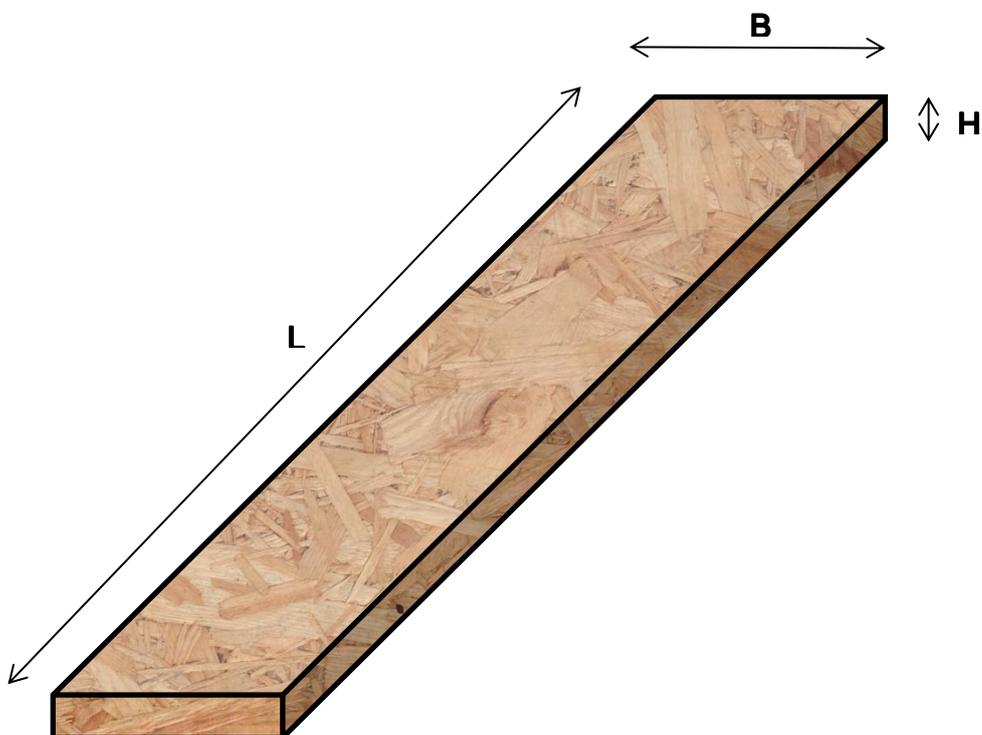


Figura 4 - Corpo de prova prismático do OSB: Ensaio de flexão simples reta
Fonte: Autoria própria.

As densidades dos EPS foram consideradas conforme apresenta a Tabela 13:

Tabela 13 – Densidade dos EPS

Corpo de prova	Densidade (kg/m ³)
F2	11 a 12
F3	13 a 14
F4	16 a 18
F5	20 a 22,5

Fonte: Autoria própria

O equipamento utilizado para a realização de ambos os testes foi a Máquina Universal de Ensaios, Eletromecânica e Microprocessada EMIC modelo DL30000.

A velocidade adotada para os testes de compressão axial foi de 0,01 MPa/s, e para os testes de flexão simples reta 50 N/s nos dois primeiros corpos de prova de densidade F5 e 150 N/s para os demais corpos de prova.

Para a realização dos ensaios foram rompidos 52 corpos de prova, conforme está apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Número de amostras dos ensaios

Ensaio	Densidade	Número de amostras
Compressão	Compósito – EPS F2	2
	Compósito – EPS F3	5
	Compósito – EPS F4	3
	Compósito – EPS F5	4
Flexão	Compósito – EPS F2	8
	Compósito – EPS F3	8
	Compósito – EPS F4	8
	Compósito – EPS F5	8
	OSB	6

Fonte: Autoria própria.

O diferente número de amostras se deve ao fato dos corpos de provas serem sobras de material de uma empresa, e esta prontamente doou o material disponível na época dos ensaios.

4. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

4.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados dos ensaios de compressão axial do compósito estão apresentados nas Tabelas 15 a 18.

Os valores do Módulo de Elasticidade Secante foram calculados a partir a Lei de Hooke (BEER & JOHNSTON, 1995):

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad [1]$$

Onde:

σ \equiv Tensão normal;

E \equiv Módulo de elasticidade;

ε \equiv Deformação específica.

Para o cálculo da Rigidez Axial – EA substitui-se $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ e $\sigma = \frac{F}{A}$ da equação [1]:

$$EA = \frac{F.L}{\Delta L} \quad [2]$$

Onde:

A \equiv Área da seção transversal;

F \equiv Força máxima aplicada;

L \equiv Altura do CP;

ΔL \equiv Deformação do CP (neste caso, coincidente com o deslocamento).

Tabela 15 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F2

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal (MPa)	Altura (cm)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)	Rigidez axial (kN)
1	33,921	0,94	24	2,60	86,769	3131,17
2	25,757	0,72	24	1,75	98,743	353,24

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 16 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F3

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal (MPa)	Altura (cm)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)	Rigidez axial (kN)
1	37,164	1,03	24	3,09	80,00	2886,52
2	37,187	1,05	24	2,98	84,56	2994,93
3	39,905	1,11	24	3,68	72,39	2602,50
4	38,951	1,08	24	2,82	91,91	3314,98
5	41,261	1,15	24	3,16	87,34	3133,75

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 17 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F4

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal (MPa)	Altura (cm)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)	Rigidez axial (kN)
1	37,044	1,03	24	4,65	53,16	1911,95
2	40,070	1,11	24	3,32	80,24	2896,63
3	39,905	1,11	24	3,65	72,99	2623,89

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 18 – Resultados do ensaio de compressão axial – EPS F5

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal (MPa)	Altura (cm)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)	Rigidez axial (kN)
1	43,551	1,21	24	3,10	93,68	3371,69
2	36,813	1,02	24	2,70	90,67	3272,27
3	35,367	0,98	24	2,72	86,47	3120,62
4	41,472	1,15	24	3,60	76,67	2764,80

Fonte: Autoria Própria.

Os demais dados, tais como média, mediana, desvio padrão e gráficos de Tensão normal X Deslocamento, e imagens de alguns corpos de prova rompidos estão apresentados no Apêndice A.

4.2 ENSAIOS DE FLEXÃO SIMPLES RETA

Os resultados dos ensaios de flexão simples reta do compósito estão apresentados nas Tabelas 19 a 22.

Os valores do Produto de Rigidez, ou Rigidez Flexional, foram calculados a partir da Equação da Linha Elástica para o caso de viga simplesmente apoiada com carga concentrada no meio do vão:

$$y = \frac{F \times L^3}{48 \times EI} \quad [3]$$

Onde:

y ≡ Deslocamento;

F ≡ Força máxima aplicada;

L ≡ Vão livre;

EI ≡ Produto de rigidez.

Para o cálculo do Módulo de Elasticidade do OSB foi utilizada a fórmula para cálculo de Momento de Inércia de Superfície Retangular (BEER & JOHNSTON, 1994):

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \quad [4]$$

Onde:

I ≡ Momento de inércia;

b ≡ Base do CP;

h ≡ Altura do CP.

Tabela 19 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F2

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal resistente à tração na flexão (MPa)	Vão livre (m)	Deslocamento (mm)	Produto de Rigidez (kN.m ²)
1	0,633	0,72	0,8	12,96	0,521
2	0,803	0,91	0,8	54,03	0,159
3	0,733	0,83	0,8	49,20	0,159
4	0,743	0,84	0,8	14,64	0,541
5	0,693	0,79	0,8	38,82	0,190
6	0,623	0,71	0,8	14,35	0,463
7	0,793	0,90	0,8	53,96	0,157
8	0,703	0,80	0,8	12,65	0,593

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 20 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F3

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal resistente à tração na flexão (MPa)	Vão livre (m)	Deslocamento (mm)	Produto de Rigidez (kN.m ²)
1	1,185	1,34	0,8	24,60	0,514
2	1,471	1,67	0,8	31,09	0,505
3	1,295	1,47	0,8	28,21	0,490
4	1,356	1,54	0,8	30,46	0,475
5	1,295	1,47	0,8	26,47	0,522
6	1,135	1,29	0,8	20,77	0,583
7	1,004	1,14	0,8	17,66	0,606
8	0,703	0,80	0,8	14,51	0,517

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 21 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F4

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal resistente à tração na flexão (MPa)	Vão livre (m)	Deslocamento (mm)	Produto de Rigidez (kN.m ²)
1	0,562	0,64	0,8	10,73	0,559
2	1,888	2,14	0,8	24,09	0,836
3	0,723	0,82	0,8	9,61	0,802
4	0,954	1,08	0,8	44,22	0,230
5	1,807	2,05	0,8	26,04	0,740
6	1,125	1,28	0,8	8,41	1,427
7	1,456	1,65	0,8	17,17	0,905
8	1,125	1,28	0,8	13,68	0,877

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 22 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – EPS F5

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal resistente à tração na flexão (MPa)	Vão livre (m)	Deslocamento (mm)	Produto de Rigidez (kN.m ²)
1	1,577	1,79	0,8	26,55	0,634
2	1,346	1,53	0,8	21,76	0,660
3	1,185	1,34	0,8	16,59	0,762
4	0,783	0,89	0,8	41,17	0,203
5	0,773	0,88	0,8	14,76	0,559
6	1,607	1,82	0,8	29,28	0,585
7	1,125	1,28	0,8	40,57	0,296
8	1,165	1,32	0,8	38,02	0,327

Fonte: Autoria Própria.

Os resultados dos ensaios de flexão simples reta do OSB estão apresentados na Tabela 23:

Tabela 23 – Resultados do ensaio de flexão simples reta – OSB

Corpo de Prova	Força Máxima (kN)	Tensão normal resistente à tração na flexão (MPa)	Vão livre (m)	Deslocamento (mm)	Produto de Rigidez (kN.m ²)	Momento de Inércia (cm ⁴)	Módulo de Elasticidade (MPa)
1	0,141	22,49	1,6	220,84	0,0545	1,072	5083,69
2	0,121	19,28	1,6	190,05	0,0543		5069,39
3	0,141	22,49	1,6	223,06	0,0539		5033,10
4	0,131	20,89	1,6	204,11	0,0548		5110,28
5	0,121	19,28	1,6	215,34	0,0479		4474,03
6	0,131	20,89	1,6	229,22	0,0488		4550,47

Fonte: Autoria Própria.

Os demais dados, tais como média, mediana, desvio padrão e gráficos de Tensão normal X Deslocamento, e imagens de alguns corpos de prova rompidos estão apresentados no Apêndice B.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

A partir dos resultados dos ensaios de compressão axial do compósito, expostos nas Tabelas 28A a 34A, os valores médios de tensão normal foram compilados para comparação, Tabela 24:

Tabela 24 – Tensão normal média

Densidade do EPS	Tensão Normal - Média (MPa)
F2	0,829
F3	1,084
F4	1,084
F5	1,092

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que não há diferença significativa entre as densidades F3, F4 e F5. Pode-se sugerir que não se justifica o aumento da densidade para tão pouco ganho de tensão normal resistente.

Em comparação a outros materiais, expostos nas Tabelas 2, 3 e 6, o compósito ensaiado apresenta diferenças significativas, Tabelas 25 a 27:

Tabela 25 – Comparação dos valores médios de E/σ do compósito ensaiado e paredinhas de blocos cerâmicos

Densidade do EPS	Média E/σ - Compósito (MPa)	Média E/σ – Paredinhas de blocos cerâmicos (MPa)					
		Vazado	Perfurado	Vazado	Vazado	Vazado de paredes maciças	Vazado de parede vazada
F2	111,89	1152	529	478	487	1122	803
F3	76,79						
F4	63,47						
F5	79,55						

Fonte: Autoria própria.

Tabela 26 - Comparação dos valores médios de E do compósito ensaiado e paredinhas de blocos de concreto

Densidade do EPS	Média E / σ - Compósito (MPa)	$E_{\text{pam}} / \sigma_{\text{pam}}$ (MPa)			
		PA-B1-A1	PA-B2-A1	PA-B1-A2	PA-B2-A2
F2	111,89	1284	1033	1563	1539*
F3	76,79				
F4	63,47				
F5	79,55				

* Valor descartado

Fonte: Autoria própria.

Tabela 27 - Comparação dos valores médios de E do compósito ensaiado e blocos de concreto

Densidade do EPS	E / σ - Compósito (MPa)	Média E / σ - Blocos de concreto (MPa)	
		B1	B2
F2	111,89	577	330
F3	76,79		
F4	63,47		
F5	79,55		

Fonte: Autoria própria.

Com relação ao módulo de elasticidade, os valores do compósito variam de 53,16 a 98,74 MPa, Tabelas 15 a 18. Comparados ao valor médio de corpos de prova cilíndricos de concreto de 15 cm X 30 cm de $E = 25,5$ GPa, Tabela 8, a diferença percentual é de 199,29 %.

Portanto, o módulo de elasticidade não é uma variável de controle adequado para comparar o desempenho com outros materiais utilizados, como paredes de alvenaria ou de blocos de concreto.

5.2 ENSAIOS DE FLEXÃO SIMPLES RETA

A partir dos resultados dos ensaios de flexão simples reta foram obtidos valores médios de rigidez flexional do compósito de 0,544 kN.m², Tabelas 19 a 22, e de 0,0524 kN.m² do OSB isolado, Tabela 23.

Pelo modo de ruptura à flexão simples pode-se admitir que não há compatibilidade de deformações entre os dois materiais, Figura 12. Como o

processo de colagem não é industrializado a colaboração a rigidez por parte do EPS foi prejudicada. De qualquer forma, na situação de utilização, os painéis não serão submetidos aos esforços de flexão com intensidades significativas.

Portanto, esses resultados de EI tornam-se irrelevantes para a discussão sobre desempenho estrutural.

6. CONCLUSÕES

As principais conclusões dessa pesquisa são:

- Dos ensaios de compressão axial:
 - Quando comparados aos blocos cerâmicos estruturais, que devem apresentar resistência à compressão na área bruta mínima de 2,5 MPa, os corpos de prova não atingiram esse valor. Portanto, na configuração em que os corpos de prova foram ensaiados, os mesmos não podem ser considerados estruturais.
- Dos ensaios de flexão simples reta:
 - No compósito, o material apresentou valores de tensão resistente equivalentes à 1/20 das tensões resistentes de madeiras maciças de baixa resistência, da ordem de 20 MPa, Tabelas 9, 19 a 22.
 - No OSB, o material compara-se às madeiras maciças de tensão resistente de 20 MPa, Tabelas 9 e 23.

Finalmente, concluiu-se que o desempenho estrutural do compósito ensaiado é considerado insatisfatório para uso de fins como painéis estruturais. Vale ressaltar que os corpos de provas ensaiados não configuram a geometria adequada para sua utilização. Recomenda-se que os próximos estudos experimentais sejam realizados em corpos de prova na escala real.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM: ABESC.
Disponível em: <http://www.abesc.org.br/sistemas_tUp.htm>. Acesso em: 26 de Fev. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO: ABRAPEX.
Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRNO EXPANDIDO: ABRAPEX. **Manual de utilização de EPS na construção civil**. PINI, 2006. 103 f.

BARBOSA, Claudius de S., HANAI, João B. de. Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. São Carlos, v. 8, n. 34, p. 45-74, 2006. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee34_45.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

BEER, F. P., JOHNSTON Jr, E. R., **Mecânica Vetorial para Engenheiros**, 5ª Edição Revisada, Pearson Makron Books, São Paulo, SP, Brasil, 1994.

BEER, F. P., JOHNSTON Jr, E. R., **Resistência dos Materiais**, 3ª Edição Revisada, Pearson Makron Books, São Paulo, SP, Brasil, 1995.

BRESSIANI, Lucia; FURLAN, Gladis Cristina; HOFFMANN, Luana Gabriela; THOMAZ, William de Araujo. Alvenaria estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em um pesquisa bibliográfica nacional. In: III SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA. 7 e 8 de novembro, 2012. **Anais eletrônicos**. Maringá. Disponível em: <<http://www.eventos.uem.br/index.php/simpgeu/simpgeu/paper/download/944/747>> Acesso em: 24 fev. 2014.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda Habitacional no Brasil - 2012**. Disponível em: <http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/habita/documentos_gerais/demanda_habitacional.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2014.

CAMACHO, Jefferson S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Ilha da Solteira, 2006, 48 p. Apostila do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

CAMPOS, Rubens J. A. **Diretrizes de projeto para produção de habitações térreas com estrutura tipo plataforma e fechamento com placas cimentícias.** 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Edificação e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, 2006.

COSTA, Odivan de. **Análise da Influência dos Componentes na Eficiência da Alvenaria Estrutural Cerâmica.** 2010. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso Superior em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2010.

CRASTO, Renata C. M. de; FREITAS, Arlene M. S.; SANTIAGO, Alexandre Kokke. **Steel Framing: Arquitetura.** 2 ed. 151 f. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2012. (Série Manuais da Construção em Aço).

CRUZ, Emerson Donizete da. **Light Steel Framing: Construção seca.** 2012. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdades Integradas Dom Pedro I. São José do Rio Preto, 2012.

DAYTON SUPERIOR. **Tilt-Up construction – Product Handbook.** Miamisburg, OH, 2011.

DEL MENEZZI, Cláudio H. S.; TOMASELLI, Ivan; SOUZA, Mário Rabelo de. **Avaliação não-destrutiva de painéis OSB modificados termicamente: parte 1 – efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão.** Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 76, p. 67-75, dez. 2007.

DIAS, Gustavo L.; LIMA, André L.; SANTOS, Altevir C. dos; SZÜCS, Carlos A. Determinação de propriedades mecânicas do OSB. In: IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Julho, 2004, Cuiabá. Disponível em: <http://www.lpbrasil.com.br/inc/download.asp?caminho=ensaios&arquivo=propriedades_osb.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2014.

FERREIRA, Nicole S. Dallabona. **Comparativo de custos e tempo de execução entre painéis pré-fabricados em concreto e alvenaria de blocos de concreto – Utilização em galpão com estrutura pré-moldada.** 2010. 73 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, SC, 2010.

FONSECA, Fábio Braga da. **Desempenho Estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição**. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2002.

GALDIERI, M. **Sistema Construtivo Tilt-Up: Uma alternativa aos sistemas pré-fabricados**. 43 f. São Paulo, SP, 2002.

HENDRY, A.W. **Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe**. Prog. Struct. Eng. Mater. 2002; p. 291–300. University of Edinburgh, Scotland.

JUSTE, Andrea Elizabeth. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. 2001. 236 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2001.

KNAUF INDUSTRIES. **EPS**. Disponível em: < <http://www.knauf-insopor.com.br/produtos/servicos-em-inovacao/eps>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

MASISA. **Produtos – Recomendações prática OSB – Masisa OSB / Características e usos**. Disponível em: < <http://www.redmasisa.com/bra/por/produto/recomendacoes-praticas-osb/masisa-osb-caracteristicas-e-usos/1501/487/>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

MACHADO, Rafael Gomes; TROG, Leandro Francisco. **Sistema construtivo Tilt-Up: Informações gerais, aplicações e comparação com outros métodos construtivos**. 2011. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Concreto) – Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2011.

MALONEY, T. M. **The family of wood composite materials**. Forest Products Journal, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, fev. 1996.

MENDES, Lourival Marin. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2001.

MENDES, Rafael Farinassi. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php>. Acesso em: 26 jan. 2014.

MONICH, Carla Rabelo. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema Wood Frame no Estado do Paraná**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2012.

MORLEY, Michael. **Building With Structural Insulated Panels (SIPS)**. The Taunton Press, Newtown, CT, USA, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de madeiras**: NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997.

OLIVEIRA, Fabiana Lopes de. **Reabilitação de estruturas de alvenaria para aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada**. 2001. 75 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2001.

OSB – Performance by Design. Ontario: Structural Board Association, 2005. 28 f.

PASQUALI, Ivair. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2007.

RODRIGUES, Francisco Carlos. **Steel Framing: Engenharia**. 127 f. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manuais da Construção em Aço).

SABBATINI, Fernando H. **Alvenaria Estrutural – Materiais, Execução da Estrutura e Controle Tecnológico: Requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal**. Caixa Econômica Federal, Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. Brasília, maio 2002.

SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. Disponível em:
< http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 27 fev. 2014.

SOUZA, Laurilan Gonçalves. Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame. **Especialize Revista On Line – Instituto de Pós Graduação**, Florianópolis, abril, 2012. Disponível em:
<<http://www.ipog.edu.br/uploads/arquivos/80c5f1f09008d87d427f2c446ae349e7.pdf>>
. Acesso em: 27 fev. 2014.

TAVARES, Jandson Henrique. **Alvenaria estrutural: Estudo bibliográfico e definições**. 2011. 53 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, RN, 2011.

TCA: Tilt-Up Concrete Association. **The Tilt-Up construction and engineering manual**. 6th Edition, Fourth Printing. Mount Vernon, IN, september 2007.

TECVERDE. **Tecnologia Tecverde**. Disponível em: <
<http://www.tecverde.com.br/site/tecverde/tecnologia-tecverde/>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

THOMAZ, Ercio; FILHO, Cláudio Vicente Mitidieri; CLETO, Fabiana da Rocha; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Código de práticas nº 1: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.

US HOME. **Steel Frame: 1660 m² em 70 dias**. Disponível em:
<<http://www.ushome.com.br/imprensa/sf1660m/sf1660m.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

APÊNDICE A

ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

Tabela 28A – EPS F2: Resultados dos ensaios de compressão axial

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	29,840	0,8289
Mediana	29,840	0,8289
Desvio padrão	5,773	0,1604
Coef. Var. (%)	19,350	19,35
Mínimo	25,760	0,7155
Máximo	33,920	0,9422

Fonte: Autoria Própria

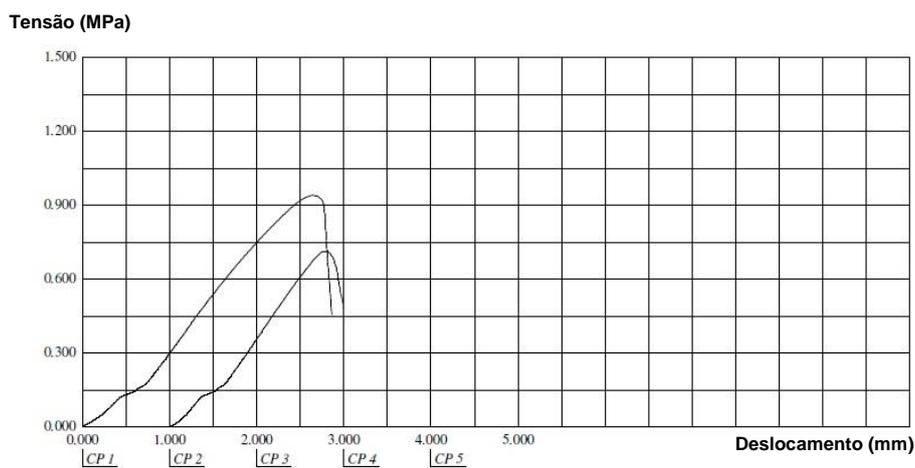


Gráfico 1 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F2

Fonte: Autoria Própria

Tabela 29A – Cenário pós ruptura: Compressão Axial - EPS F2

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Rompeu o OSB
2	Rompeu o OSB
	Descolou no OSB

Fonte: Autoria Própria

Tabela 30A – EPS F3: Resultados dos ensaios de compressão axial

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	39,020	1,084
Mediana	38,950	1,082
Desvio padrão	1,636	0,04544
Coef. Var. (%)	4,192	4,192
Mínimo	37,160	1,032
Máximo	41,260	1,146

Fonte: Autoria Própria

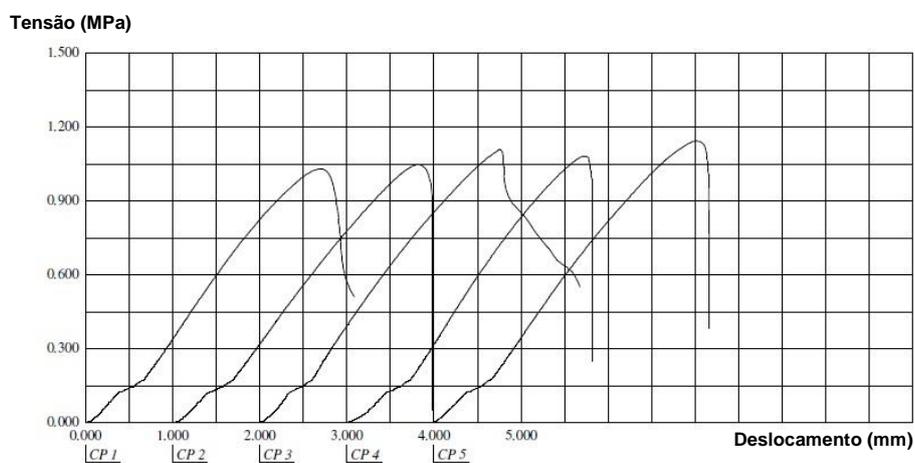


Gráfico 2 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F3

Fonte: Autoria Própria

Tabela 31A – Cenário pós ruptura: Compressão axial – EPS F3

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Rompeu o OSB
2	Rompeu o OSB
	Parte do OSB descolou
3	Rompeu o OSB
4	Rompeu o OSB
	Rompeu no EPS
	Parte do OSB descolou
5	Rompeu o OSB

Fonte: Autoria Própria

Tabela 32A – EPS F4: Resultados dos ensaios de compressão axial

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	39,010	1,084
Mediana	39,910	1,108
Desvio padrão	1,704	0,04733
Coef. Var. (%)	4,368	4,368
Mínimo	37,040	1,029
Máximo	40,080	1,113

Fonte: Autoria Própria

Tensão (MPa)

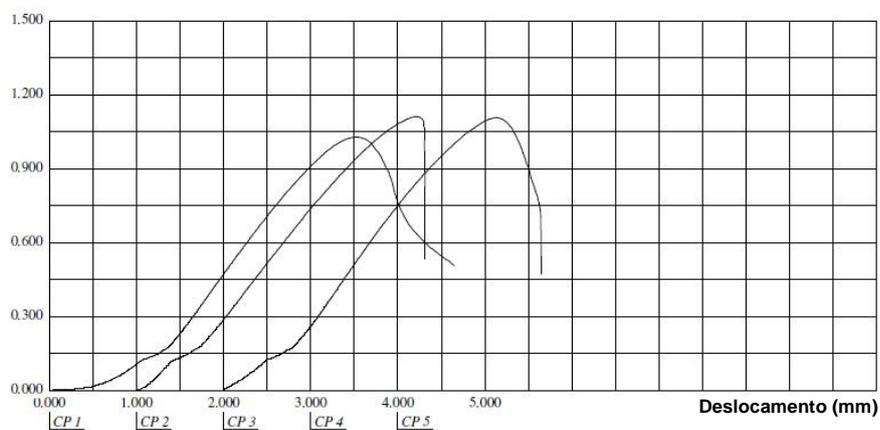


Gráfico 3 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F4

Fonte: Autoria Própria

Tabela 33A – Cenário pós-ruptura: Compressão axial – EPS F4

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Rompeu o OSB
2	Rompeu o OSB
3	Rompeu o OSB
	Parte do OSB descolou

Fonte: Autoria Própria

Tabela 34A – EPS F5: Resultados dos ensaios de compressão axial

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	39,300	1,092
Mediana	39,140	1,087
Desvio padrão	3,849	0,1069
Coef. Var. (%)	9,794	9,794
Mínimo	35,370	0,9824
Máximo	43,550	1,21

Fonte: Autoria Própria

Tensão (MPa)

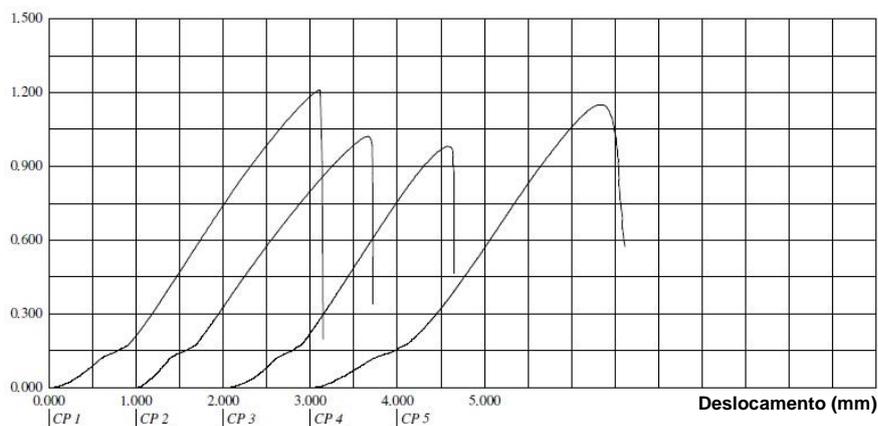


Gráfico 4 – Tensão normal X Deslocamento: EPS F5

Fonte: Autoria Própria

Tabela 35A – Cenário pós-ruptura: Compressão axial – EPS F5

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Descolou no EPS e OSB
	Rompeu o OSB
2	Rompeu o OSB
3	Rompeu o OSB
	Parte do OSB descolou
4	Rompeu o OSB

Fonte: Autoria Própria



Figura 5 – Corpos de prova para ensaio de compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 6 – CP 1 EPS F5: Ensaio de compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 7 – CP1 EPS F5: Ruptura na compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 8 – CP3 EPS F5: Ruptura na compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 9 – CP2 EPS F3: Ruptura na compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 10 – CP3 EPS F4: Ruptura na compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 11 – CP4 EPS F3: Ruptura na compressão axial
Fonte: Autoria Própria



Figura 12 – CP4 EPS F3: Ruptura na compressão axial
Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE B

ENSAIOS DE FLEXÃO SIMPLES RETA

Tabela 36B – EPS F2: Resultados dos ensaios de flexão simples reta

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	0,716	0,8115
Mediana	0,718	0,8143
Desvio padrão	0,666	0,07549
Coef. Var. (%)	9,302	9,302
Mínimo	0,623	0,7061
Máximo	0,803	0,9111

Fonte: Autoria Própria

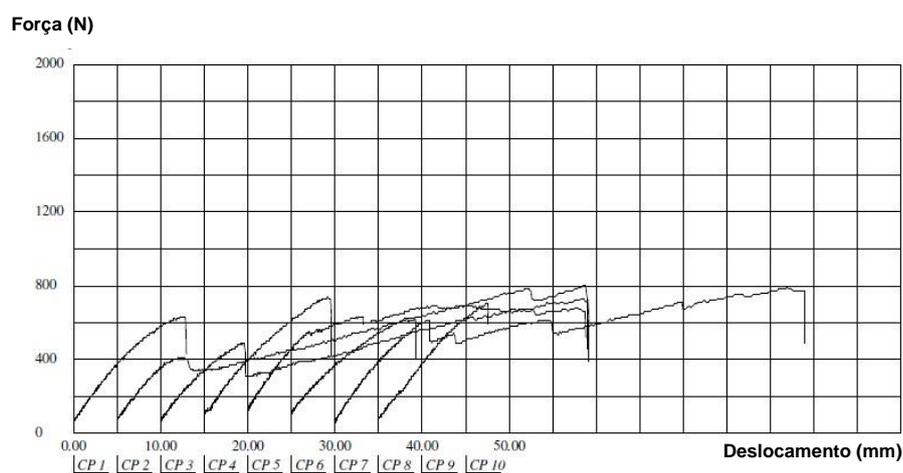


Gráfico 5 – Força X Deslocamento: EPS F2
Fonte: Autoria Própria

Tabela 37B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – OSB F2

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura	Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Rompeu o OSB	5	Rompeu o OSB
	Rompeu o EPS		Rompeu o EPS
2	Rompeu o OSB	6	Descolou
	Descolou		Rompeu o EPS
3	Rompeu o OSB	7	Descolou
	Rompeu o EPS		Rompeu o OSB
	Descolou		Rompeu o EPS
4	Rompeu o OSB	8	Descolou
	Descolou		Rompeu o EPS
			Descolou

Fonte: Autoria Própria

Tabela 38B – EPS F3: Resultados dos ensaios de flexão simples reta

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	1,181	1,34
Mediana	0,124	1,407
Desvio padrão	0,241	0,2731
Coef. Var. (%)	20,380	20,38
Mínimo	0,703	0,7973
Máximo	1,476	1,674

Fonte: Autoria Própria

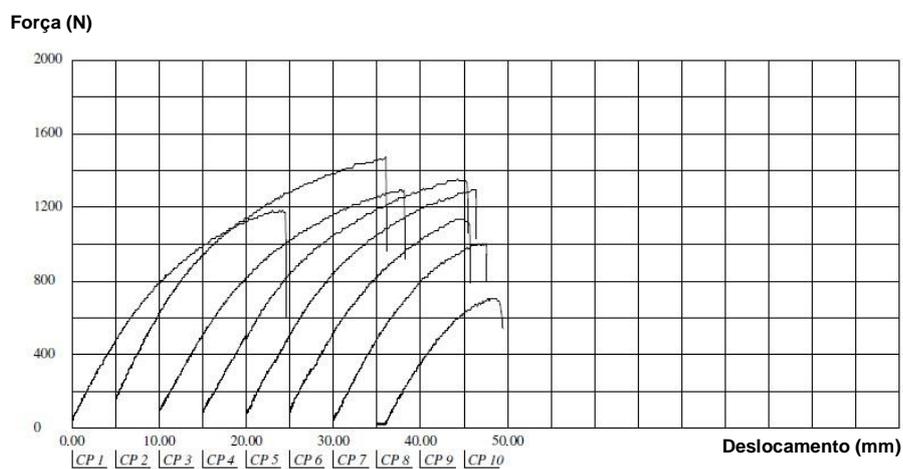


Gráfico 6 – Força X Deslocamento: EPS F3

Fonte: Autoria Própria

Tabela 39B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – EPS F3

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Descolou
2	Rompeu o OSB
3	Rompeu o OSB
4	Descolou
	Rompeu o EPS
5	Rompeu o OSB
6	Rompeu o OSB
7	Descolou
8	Descolou

Fonte: Autoria Própria

Tabela 40B – EPS F4: Resultados dos ensaios de flexão simples reta

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	1,205	1,367
Mediana	1,125	1,276
Desvio padrão	0,480	0,5446
Coef. Var. (%)	39,840	39,84
Mínimo	0,562	0,6378
Máximo	0,189	2,141

Fonte: Autoria Própria

Força (N)

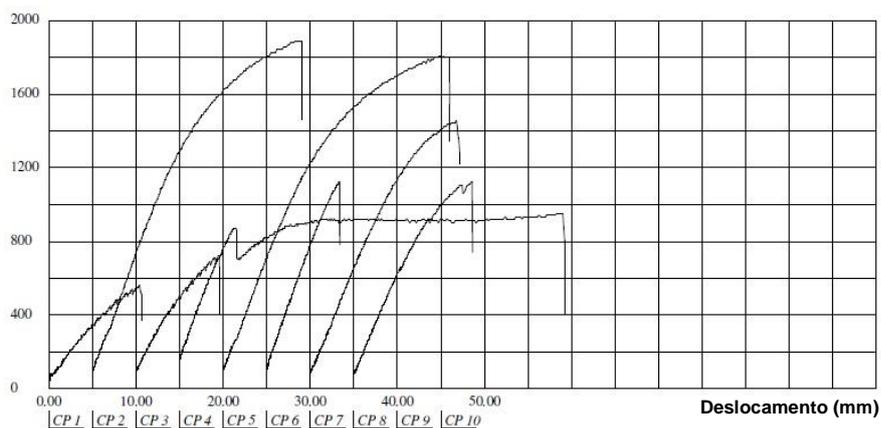


Gráfico 7 – Força X Deslocamento: EPS F4

Fonte: Autoria Própria

Tabela 41B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – EPS F4

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Rompeu o OSB
2	Rompeu o OSB
3	Descolou o EPS
4	Rompeu o OSB
	Descolou o OSB
5	Rompeu o OSB
6	Descolou o EPS
7	Descolou o OSB
8	Descolou o OSB

Tabela 42B – EPS F5: Resultados dos ensaios de flexão simples reta

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	1,195	1,355
Mediana	1,175	1,333
Desvio padrão	0,314	0,3564
Coef. Var. (%)	26,300	26,3
Mínimo	0,773	0,877
Máximo	1,607	1,822

Fonte: Autoria Própria

Força (N)



Gráfico 8 – Força X Deslocamento: EPS F5

Fonte: Autoria Própria

Tabela 43B – Cenário pós-ruptura: Flexão simples reta – EPS F5

Corpo de prova	Cenário pós-ruptura
1	Rompeu o OSB
2	Rompeu o OSB
3	Rompeu o OSB
	Rompeu o EPS
4	Rompeu o OSB
	Descolou o OSB
5	Rompeu o OSB
	Descolou o OSB
6	Rompeu o OSB
7	Rompeu o OSB
	Rompeu o EPS
	Descolou o OSB
8	Rompeu o OSB
	Rompeu o EPS
	Descolou o OSB

Fonte: Autoria Própria

Tabela 44B – OSB: Resultados dos ensaios de flexão simples reta

	Força máxima (KN)	Tensão normal (MPa)
Média	0,128	20,98
Mediana	0,126	20,89
Desvio padrão	0,009	1,248
Coef. Var. (%)	6,952	5,947
Mínimo	0,121	19,28
Máximo	0,141	22,49

Fonte: Autoria Própria

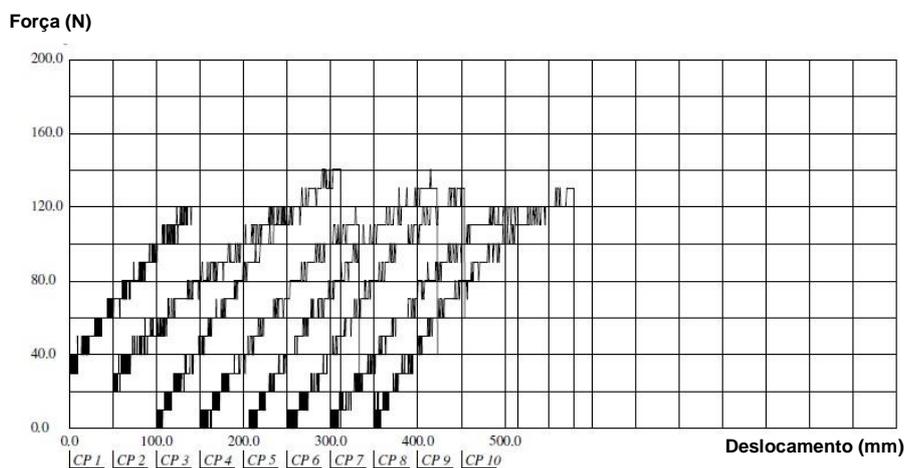
Gráfico 9 - Força X Deslocamento: OSB
Fonte: Autoria Própria



Figura 13 – CP4 EPS F5: Ensaio de flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria



Figura 14 – CP4 EPS F5: Ruptura na flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria



Figura 15 – CP7 EPS F5: Ruptura na flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria

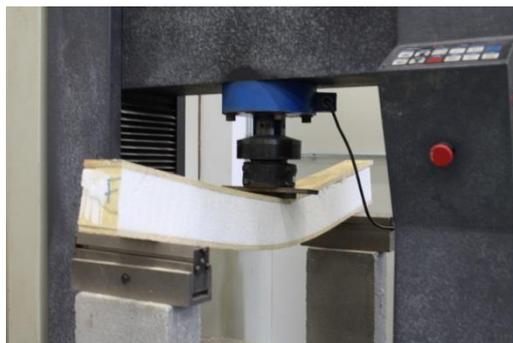


Figura 16 – CP1 EPS F3: Ruptura na flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria



Figura 17 – CP1 OSB: Ensaio de flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria



Figura 18 – CP1 OSB: Ruptura na flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria



Figura 19 – CP1 OSB: Ruptura na flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria



Figura 20 – CP6 OSB: Ensaio de flexão simples reta
Fonte: Autoria Própria