

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM SISTEMA AUTOPORTANTE

Elisabeth Penner¹; Caroline Amorim da Silva²; Carla Rabelo Monich³

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo a avaliação de características mecânicas dos materiais de um sistema autoportante composto por duas chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) e um preenchimento de EPS (*Expanded Polystyrene*). Foi realizada uma discussão sobre a necessidade de racionalização dos processos e sistemas construtivos já em uso. Apresentaram-se conceitos de outros sistemas estruturais para comparação 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 foram apresentadas as discussões sobre os resultados obtidos quando comparados aos sistemas estruturais já consagrados no mercado. A partir dessas discussões foram apontadas quais melhorias podem ser implementadas para que o sistema proposto se torne competitivo.

Palavras-chave: Sistema Autoportante, Métodos Construtivos, Estruturas Autossustentáveis.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the mechanical properties of the materials of a self-supporting system consisted of two OSB (*Oriented Strand Board*) panels and an EPS padding (*Expanded Polystyrene*). A discussion of the need for rationalization of processes and constructive systems already in use was performed. Concepts presented to other structural systems for comparison and materials used for the system under study. Through axial compression tests on composite and simple straight bending in composite and OSB plate they were broken 52 specimens and at the end of the work discussions of the results were presented as compared to structural systems already established in Marketplace. From these discussions were pointed out which improvements can be implemented so that the proposed system becomes competitive.

KEYWORDS: Self-supporting system, Constructive methods, Self-sustaining structures.

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

¹ Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, professora associada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Mecânica das Estruturas, atuando principalmente nos seguintes temas: análise experimental de estruturas, diagnóstico do comportamento estrutural e estruturas de madeira; e-mail: epenner@utfpr.edu.br.

² Engenheira Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR; e-mail: carol.amorim@ymail.com.

³ Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná - UFPR; e-mail: carla@tecverde.com.br.

voltadas às camadas da população com menor renda, concedendo expressivos subsídios (CAIXA ECONÔMICA 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 preenchimento de EPS.

2 Objetivos

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

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- 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.

3 Motivação

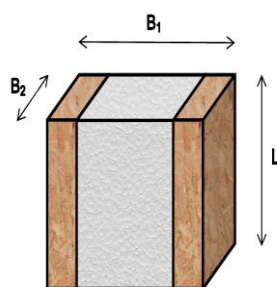
O cenário da construção civil brasileira é caracterizado pela baixa produtividade e alta taxa de desperdício de materiais. Novas tecnologias têm ganhado espaço devido à

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

4 Procedimentos metodológicos

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 10,8cm x 15cm x 24cm, figura 1.

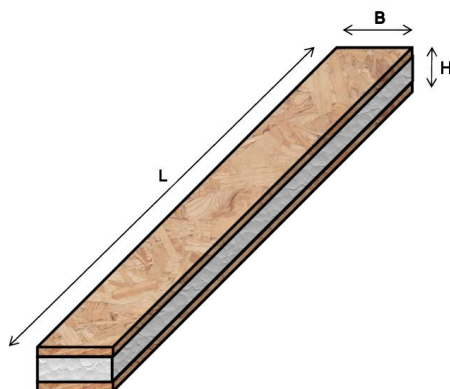
Figura 1- Corpo de Prova prismático do compósito para ensaios de compressão axial



Fonte: Os autores.

Já nos ensaios de flexão simples reta do compósito foram utilizados corpos de prova prismáticos com dimensões ($B \times H \times L$) de 7,5cm x 10,8cm x 100cm, figura 2.

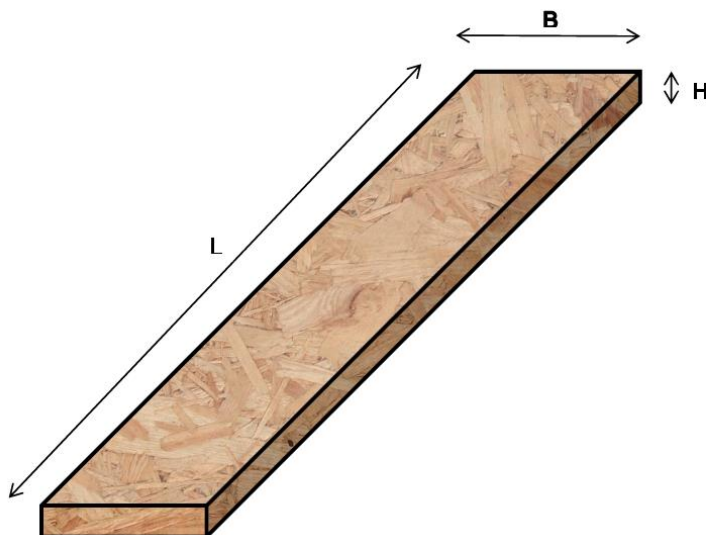
Figura 2- Corpo de Prova prismático do compósito para ensaios de flexão simples reta



Fonte: Os autores.

Nos ensaios de flexão simples reta realizados apenas nas placas de OSB foram utilizados corpos de prova prismáticos (B x H x L) de 15cm x 0,95cm x 200cm, figura 3.

Figura 3 - Corpo de Prova da placa de OSB para ensaios de flexão simples reta



Fonte: Os autores.

As densidades dos EPS foram consideradas conforme apresenta a tabela 1.

Tabela 1 – Densidades dos EPS´s utilizados nos ensaios

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: Os autores.

O equipamento utilizado para a realização de ambos os testes foi a Máquina Universal de Ensaio, 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 2.

Tabela 2 – Quantidade 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: Os autores.

5 Resultados dos ensaios de caracterização mecânica

5.1 Ensaio de compressão axial

Os resultados dos ensaios de compressão axial do compósito estão apresentados nas tabelas 3 a 6.

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

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

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 $\sigma = \frac{F}{A}$ na equação [1] que resulta em:

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

Onde:

A \equiv Área da seção transversal;

F \equiv Força máxima aplicada;

L \equiv Altura do CP;

ΔL \equiv Deformação do CP (no caso de ensaio axial, coincide com o valor do deslocamento).

Tabela 3 – Resultados dos ensaios 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	3.131,17
2	25,757	0,72	24	1,75	98.743	3.532,39

Fonte: Os autores.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios 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	2.886,52
2	37,187	1,03	24	2,98	84,56	2.994,93

3	39,905	1,11	24	3,68	72,39	2.602,50
4	38,951	1,08	24	2,82	91,91	3314,98
5	41,261	1,15	24	3,16	87,34	3.133,75

Fonte: Os autores.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios 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	1.911,95
2	40,070	1,11	24	3,32	80,24	2.896,63
3	39,905	1,11	24	3,65	72,99	2.623,89

Fonte: Os autores.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios 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	3.371,69
2	36,813	1,02	24	2,70	90,67	3.272,27
3	35,367	0,98	24	2,72	86,47	3.120,62
4	41,472	1,15	24	3,60	76,67	2.764,80

Fonte: Os autores.

5.2 Ensaio de flexão simples reta

Os resultados dos ensaios de flexão simples reta do compósito estão apresentados nas Tabelas 7 a 10.

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:

$$y = \frac{FL^3}{48 EI} \quad [3]$$

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):

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

Onde:

$I \equiv$ Momento de inércia;

$b \equiv$ Base do CP;

$h \equiv$ Altura do CP.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de flexão simples reta – EPS F2

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal 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: Os autores.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de flexão simples reta - EPS F3

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal 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	1,47	0,8	20,77	0,583
7	1,004	1,29	0,8	17,66	0,606
8	0,703	0,80	0,8	14,51	0,517

Fonte: Os autores.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de flexão simples reta – EPS F4

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal 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	0,8836
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: Os autores.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de flexão simples reta – EPS F5

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal 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: Os autores.

Os resultados dos ensaios de flexão simples reta do OSB estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de flexão simples reta – OSB

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Tensão normal à resistência à tração na flexão (Mpa)	Vão livre (m)	Deslocamento (mm)	Produto de rigidez (kN.m ²)	Movimento de Inércia (cm ⁴)	Módulo de elasticidade (Mpa)
1	0,141	22,49	1,6	220,84	0,0454	1,072	5.083,69
2	0,121	19,28	1,6	190,05	0,0543		5.069,39
3	0,141	22,49	1,6	223,06	0,0539		5.033,10
4	0,131	20,89	1,6	204,11	0,0548		5.110,28
5	0,121	19,28	1,6	215,34	0,0479		4.474,04
6	0,131	20,89	1,6	2299,22	0,0488		4.550,47

Fonte: Os autores.

5. Discussão dos resultados

5.1 Ensaio de compressão axial

A partir dos resultados dos ensaios de compressão axial do compósito, os valores médios de tensão normal foram compilados para comparação, tabela 12.

Tabela 12 - Ensaio de compressão axial – Tensão Normal Média – EPS F2

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

Fonte: Os autores.

Observa-se pela tabela 12 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, o compósito ensaiado apresenta diferenças significativas, tabelas 13 a 15.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de compressão axial – EPS F2

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 paredes vazada
F2	111,89	1.152	529	478	487	1.122	803

F3	76,79						
F4	63,47						
F5	79,55						

Fonte: Os autores.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de compressão axial – EPS F2

Densidade do EPS	Média E / σ - Compósito (Mpa)	E _{pam} / σ_{pam} (Mpa)			
		PA-B1-A1	PA-B2-A1	PA-B1-A2	PA-B2-A2
F2	111,89	1.284	1.033	1.563	1.539*
F3	76,79				
F4	63,47				
F5	79,55				

Fonte: Os autores.

* Valor descartado

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de compressão axial - EPS F2

Densidade do EPS	Média 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: Os autores.

Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentadas imagens da realização de alguns ensaios de compressão axial do compósito.

Figura 3– Ensaio de compressão axial dos compósitos



a) Padrão do corpo de prova

b) CP1 EPS F5

c) CP1 EPS F5

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 – Ensaio de compressão axial dos compósitos (continuação)

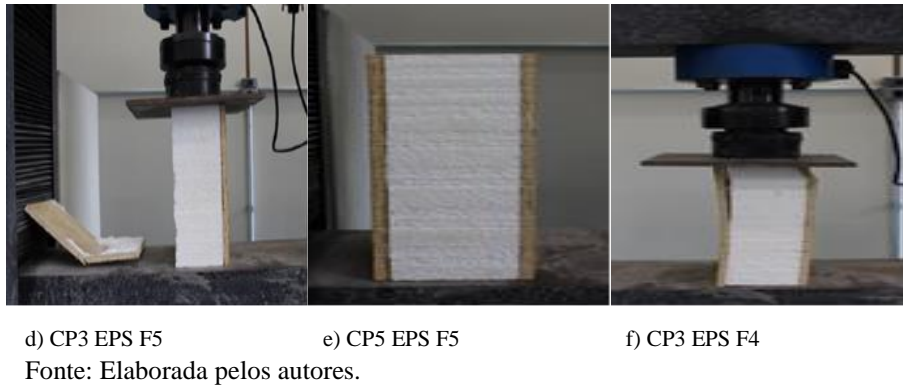
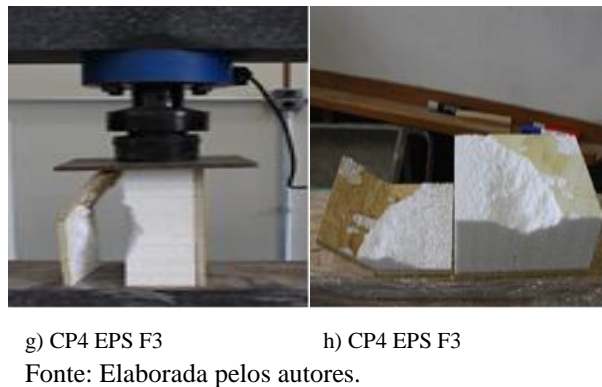


Figura 5 – Ensaio de compressão axial dos compósitos (continuação)



Com relação ao módulo de elasticidade, os valores do compósito variam de 53,16 MPa a 98,74 MPa, tabelas 3 a 6. Comparados ao valor médio obtido de ensaios de corpos de prova cilíndricos de concreto de 15 cm x 30 cm de $E = 25,5$ GPa, a diferença percentual é de 199,29%.

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

5.2 Ensaio 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 7 a 10, e de 0,0524 kN.m² do OSB isolado, Tabela 11.

Pelo modo de ruptura à flexão simples pode-se admitir que não há compatibilidade de deformações entre os dois materiais, Figura 6. 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.

Nas figuras 6 e 7 são apresentadas imagens da realização de alguns ensaios de flexão simples reta do compósito.

Figura 6 - Ensaios de flexão simples reta dos compósitos



a) CP4 EPS F5

b) CP4 EPS F5

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 7 - Ensaios de flexão simples reta dos compósitos (continuação)



c) CP7 EPS F5

d) CP1 EPS F3

Fonte: Elaborada pelos autores.

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.

No OSB, o material compara-se às madeiras maciças de tensão resistente de 20 MPa.

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

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.

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.

CAMPOS, R. 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.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.; SOUZA, M. R. 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.

JUSTE, A. E. **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.

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

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, C. R. **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.

PASQUALI, I. **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.

SILVA, C. A. **Avaliação de Características Mecânicas de um Sistema Autoportante**, Trabalho de Conclusão de Curso de graduação de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Curitiba, Curitiba, PR, 2014.

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

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