

MODELAGEM NUMÉRICA 3D E EXPERIMENTAÇÃO DE DIAFRAGMAS HORIZONTAIS EM SISTEMA LEVE EM MADEIRA

3D numerical modeling and experimentation of horizontal diaphragms of wood light-frame

Altevir Castro dos Santos¹, Poliana Dias de Moraes², Rodrigo Figueiredo Terezo³



PALAVRAS CHAVE:

Método de Elementos Finitos;
Estruturas em madeira;
Diafragmas de madeira
Sistema plataforma;
Edificações em madeira.

KEYWORDS:

Finite Element Method;
Timber structure;
Wood diaphragm;
Platform frame;
Wood frame construction.

RESUMO: Este trabalho aborda construções em madeira sob a ótica de sistemas com estruturas leves, apresenta análise computacional através de modelagem pelo método de elementos finitos de diafragmas de piso e vigas I submetidas a ensaio de flexão. O objetivo geral é avaliar a resistência e a rigidez de diafragmas horizontais, construídos em Sistemas Leves de Madeira, quando submetidos a ações verticais. As análises pelo Método de Elementos Finitos foram realizadas através do programa computacional SAP2000 e foram avaliadas as influências dos seguintes parâmetros: componentes de vigas que constituem os elementos de ossatura do diafragma horizontal e o espaçamento entre pregos de fixação do contrapiso composto por chapas de OSB – *Oriented Strand Board*. Ao final do trabalho comparam-se os resultados obtidos a partir das análises experimentais e numérica, são apresentadas algumas conclusões demonstrando que as chapas de OSB, utilizadas como elementos de contrapiso nos diafragmas horizontais, são responsáveis pela redistribuição do carregamento e a influência dos diferentes sistemas de ligações empregados.

ABSTRACT: This work is focused on lightweight wood-frame constructions, presents a finite element modeling of floor diaphragms and wood I-joists subjected to four-point bending. It presents the results of experimental tests on wood I-joists subjected to vertical loads. The main goal of this research is to evaluate the resistance and rigidity of wood light-frame floor diaphragms, when subjected to monotonic vertical forces acting in the plane of the floor. The analysis by the Finite Element Method was performed by SAP2000 computer program were tested with different constructive arrangements, and the influence of the following variables were examined: distance between wood I-joists and distance between nails around the perimeter of the OSB boards. Finally, a comparison between experimentation and analytical results are performed, some conclusions are presented demonstrating that the OSB, used as subfloor elements in horizontal diaphragms, are responsible for the redistribution of the load and the influence of the different systems of connections used.

* Contato com os autores:

¹e-mail: altevir.santos@unioeste.br (A. C. Santos)

Engenheiro Agrícola, Doutor em Engenharia Civil, Prof. Associado, CCET - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR.

²e-mail: poliana.moraes@ufsc.br (P. D. Moraes)

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil, Prof. Associado, ECV - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

³e-mail: rodrigo.terezo@udesc.br (R. F. Terezo)

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil, Prof. Associado, CAV - Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages-SC.

Publicado em 12 de maio de 2023

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo, os diafragmas horizontais de piso em madeira foram projetados considerando os elementos de viga da ossatura agindo independentemente, com propriedades semelhantes a vigas isoladas. Esta concepção assume que as chapas empregadas como contrapiso apresentam somente a função de transferir cargas para as vigas isoladas, sem considerar sua contribuição para o acréscimo da resistência e rigidez final da estrutura como um todo. Esta suposição desconsiderava os fatores de interação entre os elementos, que são capazes de afetar a rigidez e a deformação da estrutura final de piso. Fato aceitável para a época, uma vez que os procedimentos de cálculo não dispunham de modelos mais modernos de projeto capazes de considerar o emprego de novos materiais e métodos construtivos.

Atualmente, existem basicamente duas teorias que diferem dessa concepção de vigas isoladas para dimensionamento de diafragmas horizontais de piso em sistemas leves de madeira. São elas: as teorias da ação composta e da redistribuição de esforços. A teoria da ação composta considera que as vigas da ossatura e as chapas de contrapiso possuem um comportamento similar a uma viga T. A chapa de contrapiso vinculada aos elementos da ossatura age como a mesa da viga T e o elemento de ossatura como alma. A teoria da redistribuição de esforços considera que as chapas de contrapiso executam uma segunda função importante, redistribuindo a carga entre os elementos de viga que compõem a ossatura do diafragma. Este comportamento é observado devido às chapas de contrapiso agirem como uma viga larga e muito fina, disposta continuamente sob vários elementos de viga da ossatura, resultando na redução das diferentes flechas individuais destas vigas que é decorrente da variabilidade de suas propriedades mecânicas. Assim sendo, as chapas de contrapiso propiciam maior enrijecimento na direção perpendicular ao elemento de viga, maior redistribuição de esforços e menor variação na deflexão das vigas de ossatura. Porém, essa análise não pode ser feita pelas simples equações que definem as propriedades da maioria das seções compostas, visto que a conexão das chapas de contrapiso com os elementos de vigas da ossatura é realizada através de ligações semi-rígidas, existindo um plano de deslize entre os dois elementos.

O National Design Specification (AWC, 2018), emprega um Fator de barras repetidas (C_r) para conjuntos estruturais compostos por três ou mais elementos paralelos de madeira, espaçados no máximo de 60 centímetros e conectados por um componente capaz de distribuir o carregamento, uma vez que compreendem um conjunto estrutural com maior capacidade de resistência à flexão quanto comparada aos elementos atuando individualmente. Portanto, a maioria dos elementos em uma estrutura se beneficia de um ajuste para os efeitos de resistência do sistema inerentes a elementos repetitivos. Os valores para projeto fornecidos no NDS são baseados em um único elemento estrutural, assim, é permitido um acréscimo das flechas a fim de contabilizar elementos repetitivos. O NDS recomenda, neste caso, um fator de 1,15 que corresponde a um aumento de 15 por cento na resistência à flexão. Segundo a American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1997), testes demonstraram que para sistemas compostos por quatro ou mais elementos um fator de barra repetitiva de 1,4 pode ser empregado, (HUD, 2000).

A rigidez dos diafragmas de piso em sistema leve em madeira é função do tipo de ligação entre as chapas de contrapiso e os elementos de ossatura. Segundo Sherwood e Moody (1989), a National Association of Home Builders, avaliando a rigidez de elementos de ossatura isolados e respectivas interações decorrentes do tipo de ligação, observou 13% de aumento na rigidez de diafragmas de piso quando empregado contrapiso de chapas compensadas pregadas e aumento de 38% quando utilizado contrapiso de chapas de madeira compensada com ligação pregada e colada aos elementos da ossatura. Williston e Abner (1962), apud Sherwood e Moody (1989), observaram que vigas dimensionadas como elementos isolados ao atuarem em conjunto na estrutura de diafragmas de piso, apresentam flechas 40 por cento menores, em média, devido aos efeitos da interação com as chapas empregadas como contrapiso.

Polensek et al. (1972) apud Sherwood e Moody (1989), testaram 44 diafragmas de piso observando aumento de rigidez na ordem de 15% a 104%, ressaltam que a grande variabilidade de valores observados

segue a variabilidade natural dos elementos de madeira e assumir que todo elemento de viga da ossatura apresenta propriedades iguais é ignorar a variabilidade natural da madeira como material de construção. Assim, a redução das diferenças entre as deflexões das vigas da ossatura devida às chapas de contrapiso quando submetidas a cargas uniformes e a habilidade em distribuir cargas (quando as vigas estão sujeitas a cargas concentradas ou apresentam grande variação de propriedades mecânicas), é atualmente uma importante consideração para avaliação do desempenho de diafragmas de piso composto por vigas pré-fabricadas de madeira. Pesquisas desta natureza têm demonstrando que o aumento da rigidez das ligações dos elementos de piso pode proporcionar aumentos significativos ao desempenho do diafragma de piso.

Estudos realizados por Santos (2005) demonstraram que o desempenho das ligações pregadas entre madeira maciça e chapas de madeira reconstituída é um parâmetro fundamental na modelagem de diafragmas de piso em sistemas leves em madeira. O comportamento estrutural dos diafragmas de piso está diretamente relacionado ao desempenho individual de cada ligação pregada, que trabalha essencialmente à solicitação lateral. Nesta situação, a ligação apresenta um comportamento não-linear, o que determina um comportamento igualmente não-linear do diafragma como um todo.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da ligação, entre a chapa de contrapiso de OSB e os elementos de vigas da ossatura, na rigidez de diafragmas horizontais de piso produzidos em sistemas leves em madeira por meio de um estudo numérico-experimental. Esta pesquisa consiste em um estudo experimental de diafragma de piso em sistema leve em madeira com o propósito de avaliar sua capacidade estrutural sob a simulação de carregamento estático e determinar valores representativos da rigidez do diafragma, com diferentes tipos de conexões, para emprego em uma construção real.

3. METODOLOGIA

A parte experimental desta pesquisa consistiu na avaliação de diafragmas de piso confeccionados com vigas-I e chapas de OSB. As características dos materiais e dos elementos estruturais usados para a confecção dos diafragmas são apresentadas a seguir.

3.1 MATERIAIS

Os materiais usados nesta pesquisa foram as chapas de OSB de 18 mm de espessura, madeira serrada de *Pinus sp.* nas dimensões de seção 25 mm × 50 mm e pregos anelados da série pneumático em aço carbono com diâmetro de 2,7 mm e comprimento de 70 mm.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos módulos de elasticidade para as peças de *Pinus sp.* empregadas em cada flange das vigas utilizadas na fabricação dos diafragmas, determinados segundo critérios da Norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os flanges são indicados pelas letras de “a” até “d” conforme ilustrado pela Figura 1. Os diferentes sistemas de ligações definidos para a confecção dos protótipos são denominados: ligações pregadas com espaçamentos de 200 mm (E200), de 100 mm (E100) e ligação colada (LC). Para as chapas de OSB foram empregados valores determinados por Dias et al. (2004), sendo o módulo de elasticidade longitudinal de 2719 MPa e o módulo de elasticidade ao cisalhamento (G) de 1820 MPa.

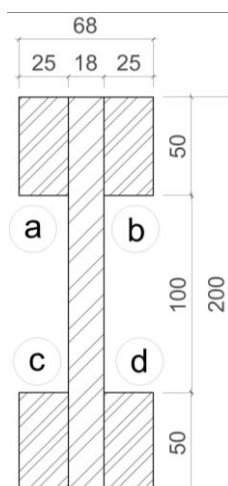
TABELA 1: Módulo de elasticidade dos flanges das vigas (MPa)

Diafragma E200				
Flange	a	b	c	d
Viga 1	7434,85	8013,59	9624,41	8906,56
Viga 2	7093,22	5772,85	8908,60	12194,14
Viga 3	5349,21	6493,28	11277,34	10958,80
Diafragma E100				
Flange	a	b	c	d
Viga 1	5471,45	7983,59	11510,78	9072,15
Viga 2	8161,41	8227,06	9209,98	8380,75
Viga 3	7208,26	7264,96	10124,03	9463,83
Diafragma LC				
Flange	a	b	c	d
Viga 1	8369,09	5185,15	9719,88	10789,16
Viga 2	7434,85	8013,59	9624,41	8906,56
Viga 3	5144,70	7701,79	12962,68	8360,61

Fonte: Autoria Própria.

3.2 VIGA I DE PISO

As vigas I tinham as dimensões de 68 mm × 200 mm × 2440 mm (Figura 1). As abas eram compostas por barrotes de madeira serrada em Pinus sp. de 25 mm × 50 mm × 2440 mm, indicados pelas letras de “a” até “d” conforme ilustrado pela Figura 1. A alma foi fabricada por chapas de peças de OSB de 18 mm de espessura e 200 mm de altura com 2440 mm de comprimento, sendo que as abas foram ligadas à alma por adesivo Cascorez Extra, Poliacetato de Vinila em dispersão aquosa do fabricante Cascola, cuja pressão de colagem foi assegurada pelos pregos anelados colocados a cada 240 mm, conforme metodologia apresentada por Santos (2007).

**FIGURA 1:** Seção transversal da viga I (dimensões em mm).

3.3 DIAFRAGMAS HORIZONTAIS DE PISO

Foram confeccionados três protótipos com diferentes formas de ligação entre as chapas de OSB e as vigas: ligação colada (LC), ligações pregadas com espaçamentos de 100 mm (E100) e de 200 mm (E200). Eles são compostos por uma chapa de OSB de 18 mm × 800 mm × 2440 mm (Figura 2), fixadas à mesa das 3 vigas I espaçadas de 366 mm de centro a centro, com fixação de enrijecedores de seção transversal de

25 mm × 50 mm (Figuras 3 e 4), para que o mesmo possa conter sistemas de ligação que reproduza parâmetros reais.

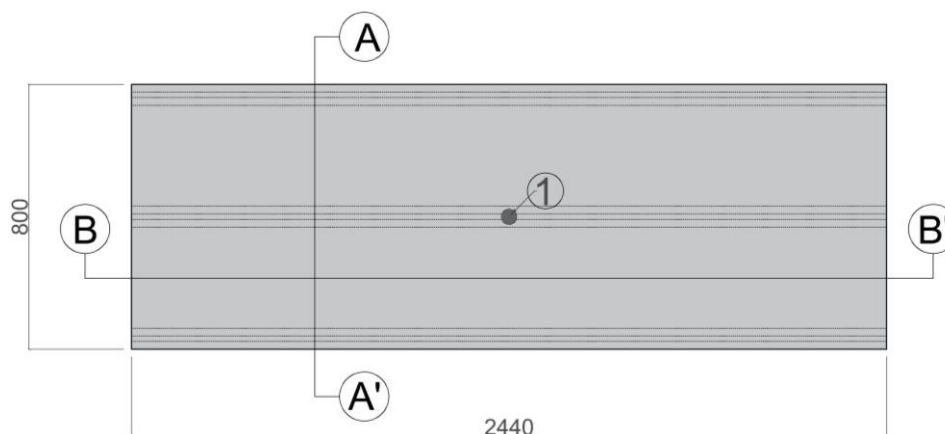


FIGURA 2: Vista superior do diafragma horizontal (dimensões em mm).

3.4 ENSAIOS MECÂNICOS

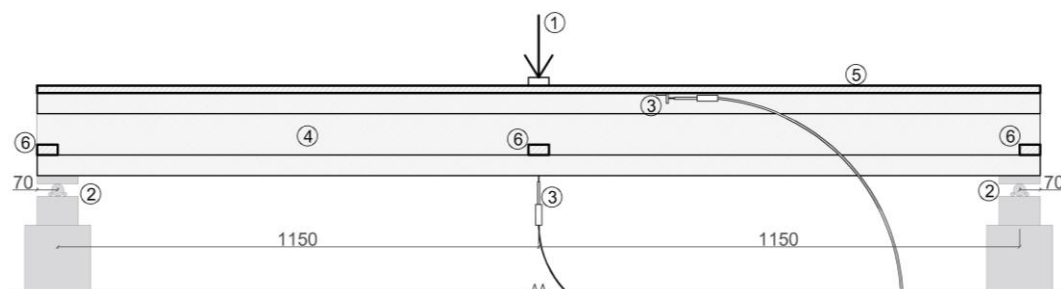
Os ensaios foram realizados em uma laje de reação do Laboratório de Experimentação em Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, com o auxílio de pórtico metálico como elemento de reação. Foram realizados ensaios para a caracterização das vigas I isoladas e ensaios dos diafragmas horizontais de piso, os quais serão descritos a seguir.

3.4.1 Ensaio da Viga I

As vigas I foram ensaiadas à flexão em três pontos, para avaliar o módulo de elasticidade desse elemento integrante do diafragma horizontal. Os apoios eram espaçados de 2300 mm e a carga aplicada no centro do vão por meio de um atuador hidráulico com capacidade de até 1MN. O deslocamento medido por um transdutor de deslocamento e monitoramento da aplicação do carregamento foi realizado por meio de uma célula de carga com capacidade de 50 kN. Os dados foram registrados a cada segundo por meio de um sistema de aquisição de dados para auxílio no desenvolvimento do Modelo de elementos finitos.

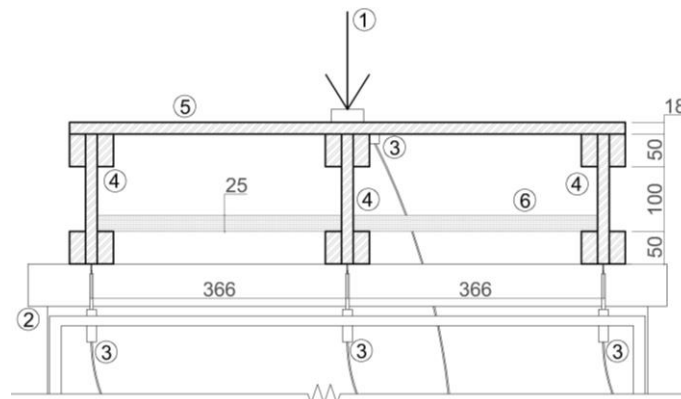
3.4.2 Ensaio Monotônico dos Diafragmas Horizontais de Piso

Os diafragmas horizontais apresentavam apoios rotativos para a sua contenção durante os ensaios com aplicação de carga concentrada no meio do vão da viga central (Figuras 3 e 4). O monitoramento da aplicação do carregamento foi realizado por meio de uma célula de carga com capacidade de 50 kN, enquanto que a medição dos deslocamento foi realizado por meio de 4 transdutores de deslocamento (Figuras 3 e 4). Três instalados no centro do vão de cada uma das vigas I integrantes do painel, para medir o deslocamento transversal, e outro instalado para medir o deslocamento relativo entre a viga e a chapa de OSB (Figura 4). O registro dos dados foi realizado por meio de um sistema de aquisição de dados.



1-Carregamento; 2- apoios; 3- transdutores de deslocamentos; 4-vigas I; 5 – chapas de OSB; 6 - enrijecedores

FIGURA 3: Arranjo do ensaio – corte BB do diafragma (medidas em mm).



1- Carregamento; 2- apoios; 3- transdutores de deslocamentos; 4- vigas I; 5 – chapas de OSB; 6 - enrijecedor
FIGURA 4: Arranjo de ensaio – corte AA do diafragma (medidas em mm).

3.5. MODELAGEM NUMÉRICA

A modelagem numérica tridimensional com ligações não lineares para o diafragma de piso foi realizada por meio do programa computacional SAP-2000. As mesas das vigas foram modeladas como elementos sólidos de oito nós, os painéis em OSB e almas das vigas-I por elementos do tipo membrana com vinte e quatro nós. As ligações pregadas entre as vigas e a chapa de OSB foram modeladas por elementos de molas com propriedades elásticas multilíneas e características descritas no item 3.5.3., enquanto que as ligações colocadas foram consideradas rígidas.

3.5.1. Malha e condições de contorno

Na Modelagem, dimensões de malhas de 100 mm e de 200 mm foram usadas para permitir a introdução das conexões pregadas entre os nós da viga com a chapa de contrapiso do diafragma. Os modelos das vigas-I e do diafragma horizontal com malhas de 100 mm são ilustrados nas Figuras 5 e 6, respectivamente. As vigas foram consideradas bi-apoiadas como condição de contorno, recebendo a liberação dos movimentos de rotação e carregamento aplicado incrementalmente no ponto mediano da viga central com controle de deslocamentos.

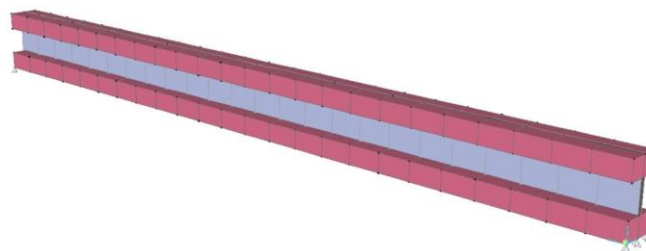


FIGURA 5: Modelo numérico desenvolvido para vigas-I

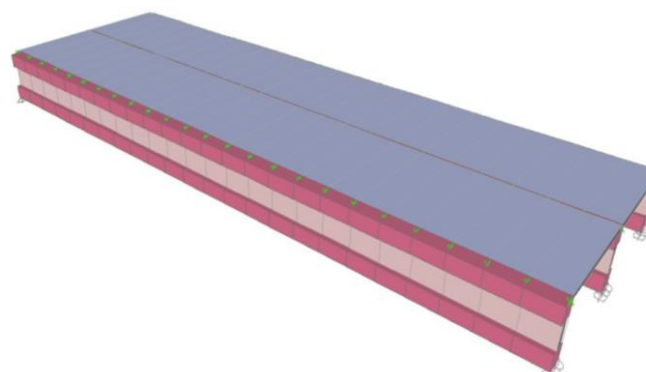


FIGURA 6: Diafragma horizontal com malha de 100 mm (E100)

3.5.2. Discretização para modelagem da madeira e da chapa de OSB

A madeira serrada usada na mesa das vigas I foi modelada como um material com isotropia transversal, na qual se assumem propriedades idênticas nas direções radial e tangencial, com coeficiente de Poisson $\nu_{TR}=\nu_{LT}=0,42$ e $\nu_{RL}=0,04$. O módulo de elasticidade longitudinal à flexão da madeira serrada é apresentado na Tabela 1 e o módulo de elasticidade transversal determinado segundo a relação $G : E \approx 1 : 14$, proposta por Bodig e Jayne (1982). Para as chapas de OSB foram empregados valores determinados por Dias et al. (2004), sendo o módulo de elasticidade longitudinal de 2719 MPa e o módulo de elasticidade ao cisalhamento (G) de 1820 MPa.

3.5.3. Discretização para modelagem das ligações pregadas

As ligações pregadas foram modeladas com propriedades elásticas multilíneas conforme estudo experimental de Santos et al. (2004), os parâmetros utilizados no programa SAP-2000 com N-LINK foram discretizados pela Relação força \times deslocamento da ligação pregada, conforme ilustrado na Figura 7.

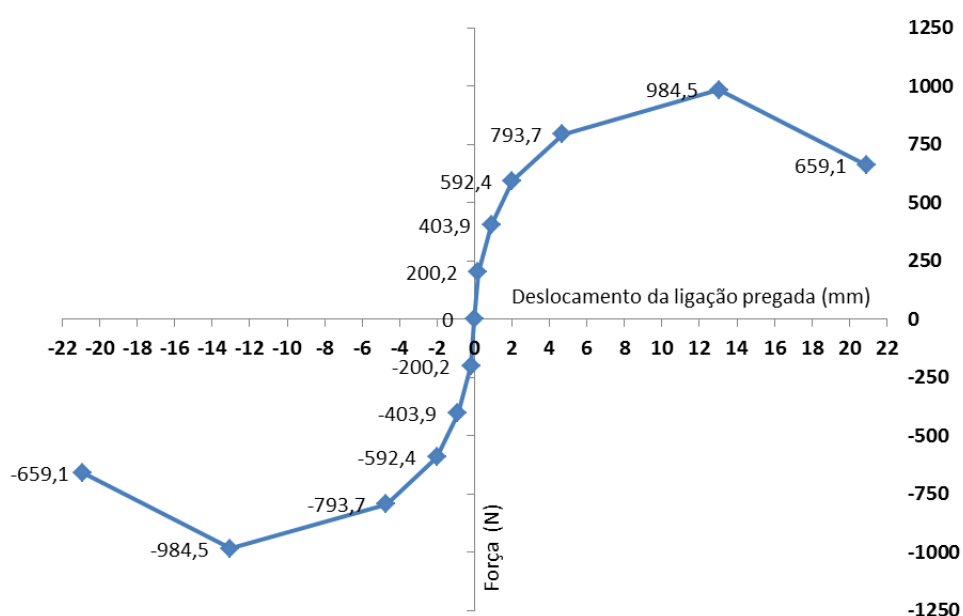


FIGURA 7: Relação força (N) \times deslocamento da ligação pregada (mm)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados comparativos entre modelos numéricos e experimentais para os diagramas carga \times deslocamento para os diferentes diafragmas estudados. Adicionalmente, serão também apresentadas as deflexões nas vigas dos diafragmas, a distribuição das cargas entre as vigas e comparação realizada através da modelagem, considerando as vigas como elementos isolados ou vinculados ao conjunto.

4.1. DIAGRAMA CARGA \times DESLOCAMENTO CENTRAL DOS DIAFRAGMAS

O diagrama carga \times deslocamentos medidos no eixo central dos protótipos são ilustrados na Figura 8.

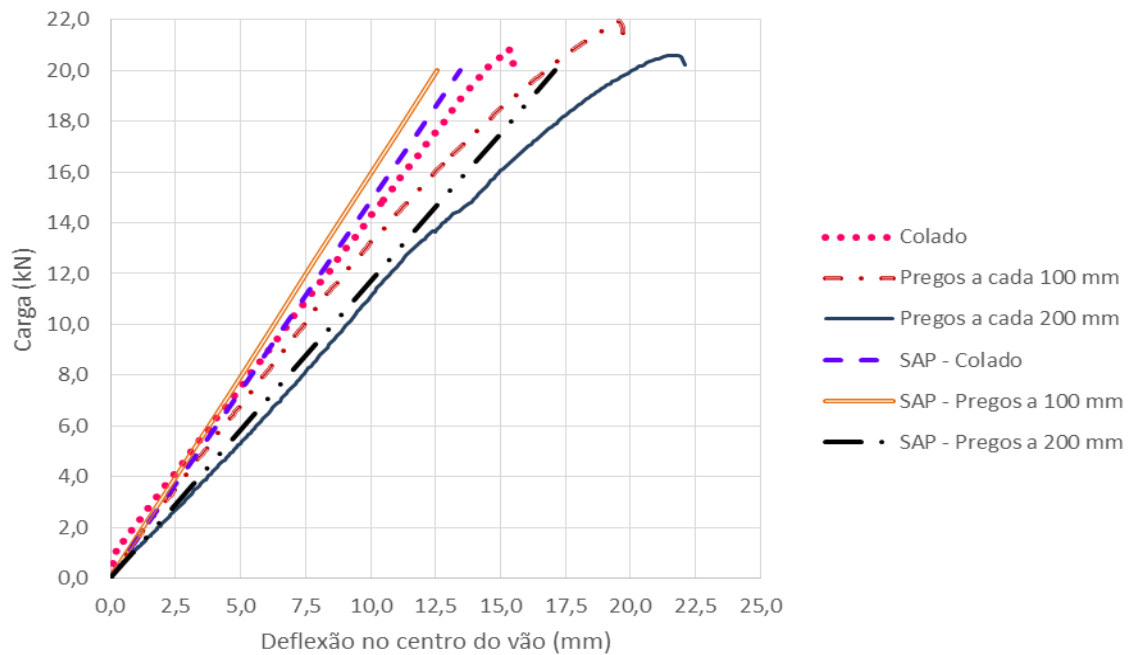


FIGURA 8: Relação Carga (kN) × Deflexão no centro do vão (mm)

Entre os diferentes protótipos ensaiados o diafragma pregado com espaçamento de 100 mm (E100) foi o que apresentou os menores valores de deflexão no meio do vão, seguido pelo diafragma colado (LC) e diafragma pregado com espaçamento de 200 mm (E200). Percebe-se que o modelo numérico apresenta resultados mais conservadores aos valores dos ensaios experimentais e as diferenças vão se elevando com a elevação do carregamento.

Variações da ordem de 7% são observadas para ligações com pregos espaçados a cada 100mm em relação à ligação colada, 21% para ligações com pregos espaçados a cada 200mm em relação à ligação colada e 27% para ligações com pregos espaçados a cada 200mm em relação à ligações com pregos espaçados a cada 100mm. Variações entre os valores observados para os ensaios de estrutura real são da ordem de 10 a 20% para diafragma pregado com espaçamento de 100 mm (E100) quando comparado ao diafragma colado (LC), 15 a 20% para diafragma pregado com espaçamento de 200 mm (E200) quando comparado ao diafragma pregado com espaçamento de 100 mm (E100) e 25 a 30% para diafragma pregado com espaçamento de 200 mm (E200) quando comparado ao diafragma colado (LC).

Observa-se que o sistema de ligação também é determinante para a rigidez do diafragma, uma vez que o aumento da rigidez da ligação proporciona aumento da rigidez do diafragma como um todo.

4.2. DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA PREGADO COM ESPAÇAMENTO DE 200MM (E200)

Os resultados obtidos nos ensaios experimentais dos protótipos e dos modelos numéricos são apresentados na Figura 9.

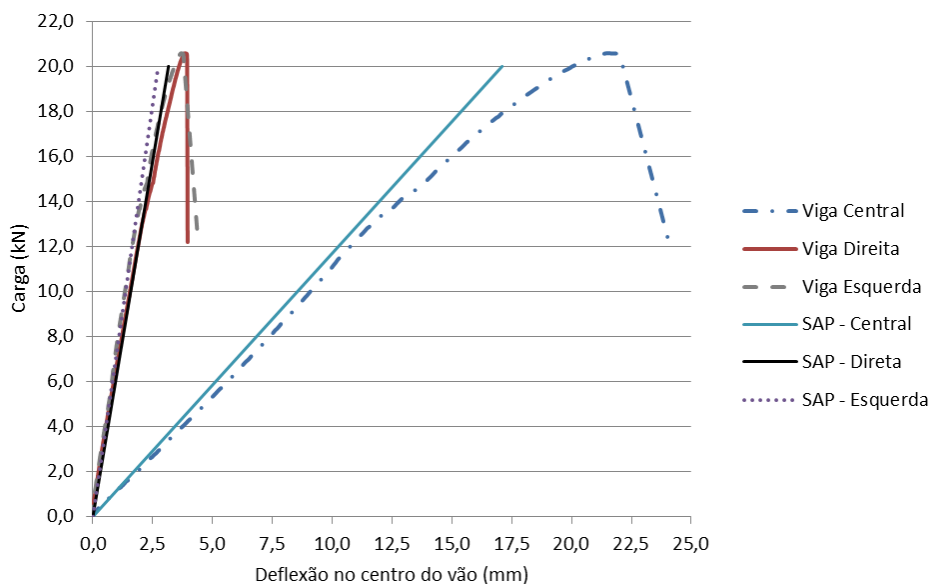


FIGURA 9: Relação Carga (kN) × Deflexão no centro do vão (mm) – (E200m)

Os valores são referentes aos deslocamentos decorrentes de cargas aplicadas no centro do vão central da viga do diafragma. Os resultados relativos ao modelo numérico apresentam valores mais conservadores em relação à estrutura real, no entanto, estas diferenças iniciam a partir de 2,0 kN. A partir deste carregamento, observa-se uma diferença que se eleva com a elevação do carregamento e pode chegar até 15% na viga central e 24% nas vigas laterais.

4.3. DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA PREGADO COM ESPAÇAMENTO DE 100MM (E100)

Os deslocamentos no centro do vão oriundos do modelo numérico e ensaio experimental são apresentados na Figura 10. Neste caso o modelo numérico também apresentou comportamento mais rígido que a estrutura real, podendo esta diferença representar uma discrepância, que se eleva com a elevação do carregamento, de até 25% em todas as vigas.

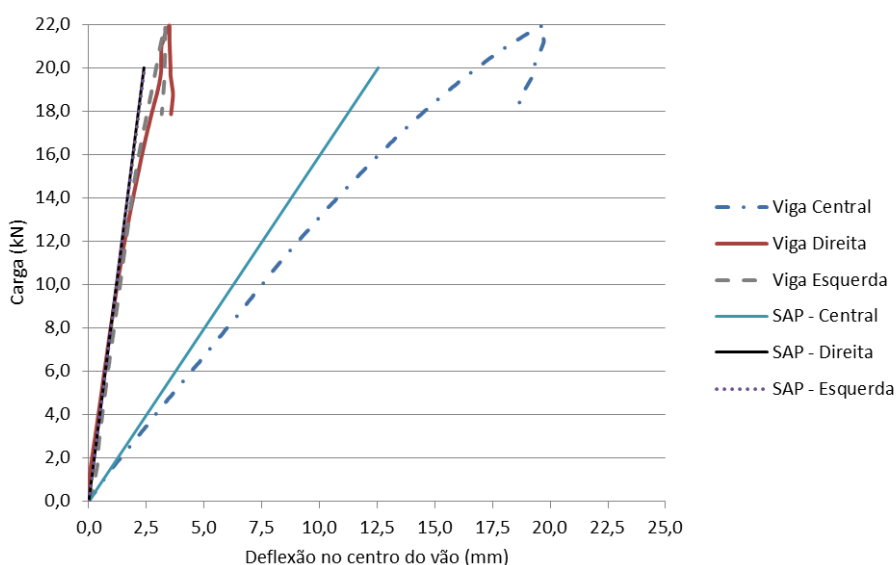


FIGURA 10: Relação Carga (kN) × Deflexão no centro do vão (mm) – (E100)

4.4. DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA COLADO

A Figura 11 ilustra os deslocamentos observados no centro do vão do diafragma, com a união da chapa de piso colada às vigas, em comparação ao modelo numérico. Os dados indicam que ocorre uma oscilação dos valores obtidos através dos ensaios experimentais em relação ao modelo numérico. Até 9 kN, o modelo numérico apresenta valores de deslocamento superiores aos do ensaio experimental, em seguida, os valores voltam a representar resultados conservadores. Esta variação em ambos os casos podem chegar até 8% de diferença e pode ser decorrente do comportamento experimental do diafragma devido à ligação colada (LC), uma vez que a ligação rígida apresentou um comportamento diferenciado dos demais diafragmas com ligações pregadas (semirrígidas).

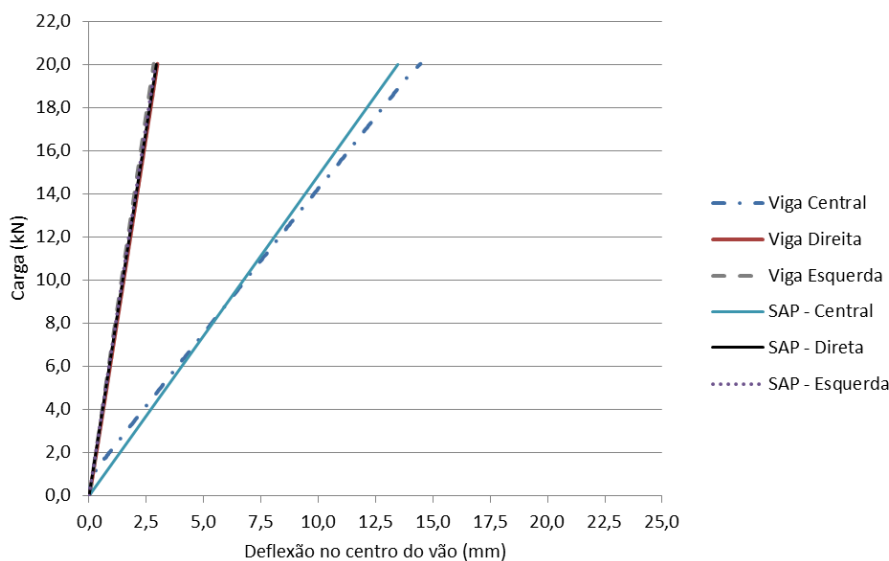


FIGURA 11: Relação Carga (kN) × Deflexão no centro do vão (mm) – (LC)

4.5. REAÇÕES DE APOIO A PARTIR DOS MODELOS NUMÉRICOS

A Figura 12 ilustra a distribuição do carregamento em relação às reações de apoio nas vigas centrais e laterais obtidas através do modelo numérico. Verifica-se que a viga pregada com 200 mm de espaçamento entre pregos absorve a maior carga, seguida da viga pregada de 100 mm entre pregos e da colada respectivamente.

Observa-se que o aumento da redistribuição do carregamento das vigas para os apoios é proporcional ao aumento do carregamento e da rigidez das ligações. O modelo numérico demonstrou que as vigas laterais são responsáveis por 6,32% das reações de apoio quanto os protótipos de diafragmas recebem a fixação das chapas do piso de OSB através de pregos espaçados a cada 200 mm, 21,65% quando fixados por pregos a cada 100 mm e 41,08% quando são colados. Tais resultados possivelmente foram influenciados em decorrência da variabilidade de rigidez existente entre os materiais empregados nos elementos da ossatura.

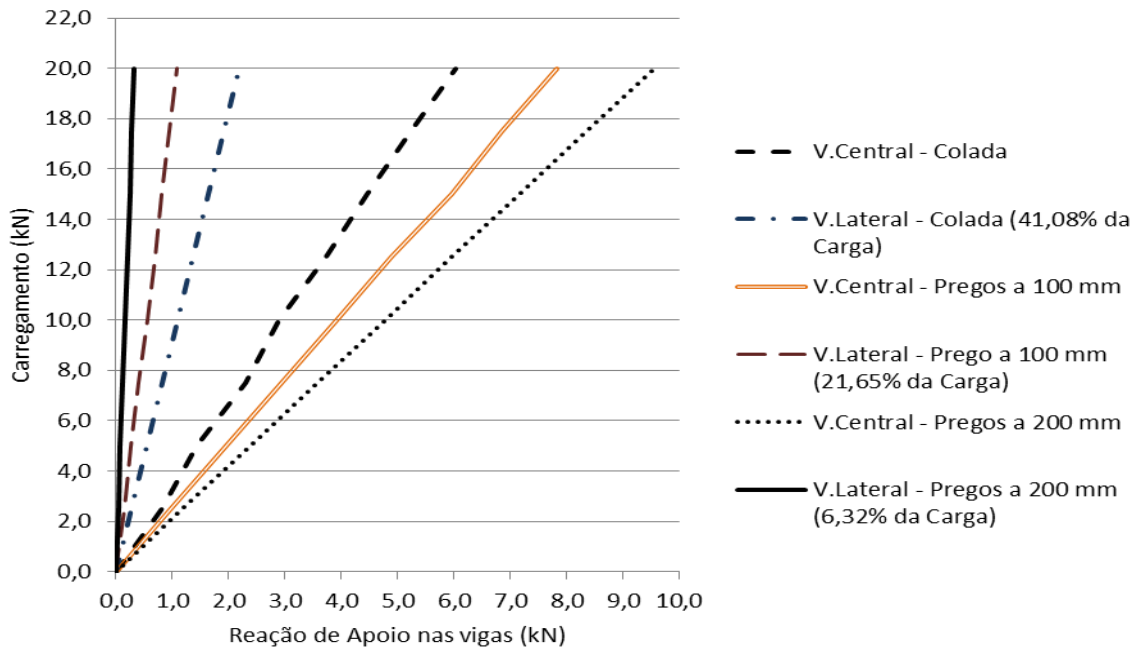


FIGURA 12: Carregamento (kN) × Reação de apoio nas vigas (kN)

4.6. DESLOCAMENTOS DAS VIGAS DOS DIAFRAGMAS

A Figura 13, com valores obtidos através do modelo numérico, ilustra o comportamento das vigas isoladamente quando aplicado carregamento no centro do vão. Entre as vigas empregadas nos modelos numéricos observa-se uma variação da ordem de 4% nos valores de deflexão no centro do vão, fato bastante aceitável por se tratar do material madeira.

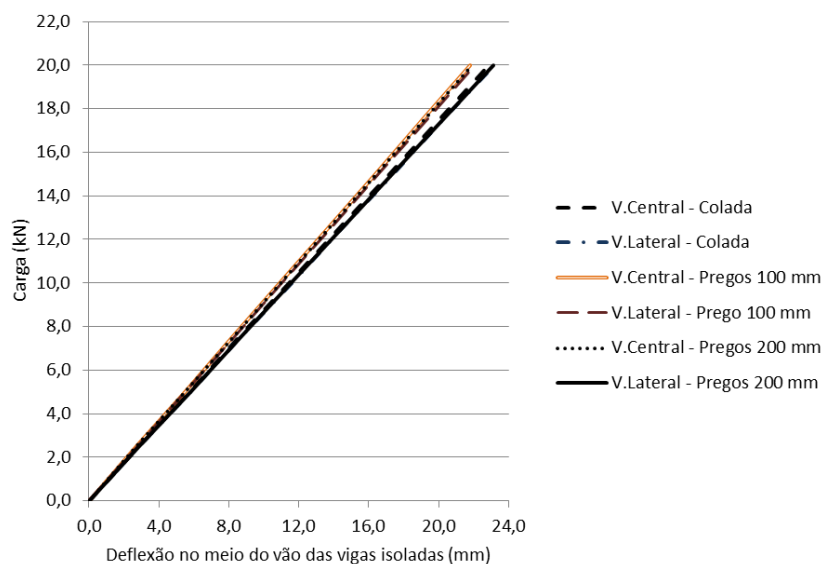


FIGURA 13: Relação Carga (kN) × Deflexão no centro do vão das vigas isoladas (mm)

Um comparativo, com valores obtidos através do modelo numérico, entre vigas isoladas e vigas vinculadas à chapa de OBS, quando submetidas ao carregamento no centro do vão, é ilustrado na Figura 14. O gráfico ilustra que o dimensionamento da viga como elemento isolado apresentam valores de deflexão no centro do vão maiores, quando comparados aos valores de vigas trabalhando em conjunto nos diafragmas piso. Isso ocorre em função da solidariedade das ligações existentes entre as vigas e a chapa de OSB. As vigas vinculadas por ligações através de pregos espaçados a cada 200 mm apresentam uma

redução da deflexão no centro do vão da ordem de 24% quando comparadas às vigas isoladas, esta redução é da ordem da ordem de 40% nas vigas coladas e de 44% para vigas com ligações pregadas com pregos espaçados a cada 100 mm.

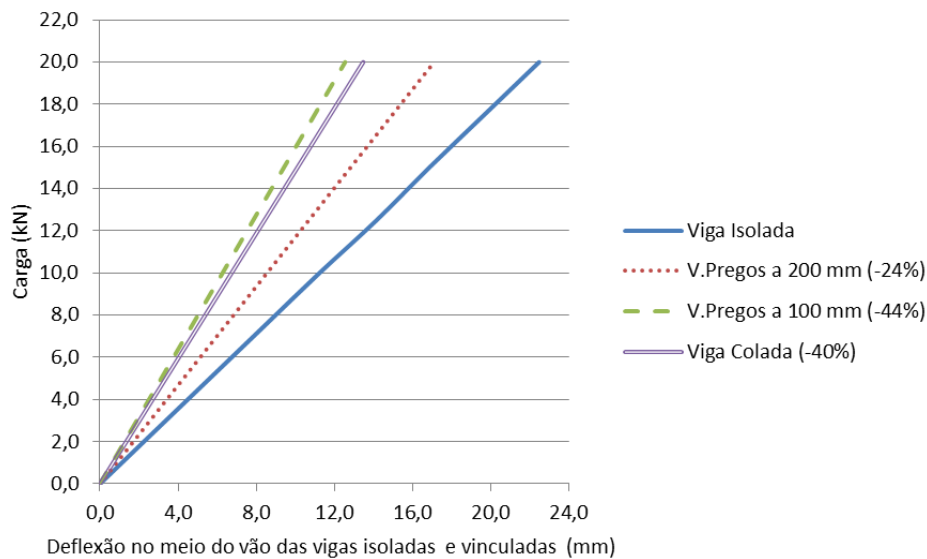


FIGURA 14: Relação Carga (kN) × Deflexão no centro do vão das vigas isoladas e vinculadas (mm)

5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi analisada a influência da ligação entre viga e chapa de OSB na deflexão e na distribuição de esforços entre vigas de diafragmas horizontais submetidos a carregamento vertical por meio de um estudo numérico-experimental. Foram estudadas 3 configurações de ligação entre as chapas de OSB e as vigas do diafragma: ligação colada, ligação pregada com espaçamento de 100 mm e ligação pregada com espaçamento de 200 mm. Os resultados obtidos permitiram concluir que:

Os modelos numéricos desenvolvidos para os protótipos de diafragmas de piso apresentaram resultados mais conservadores quando comparados aos valores dos ensaios experimentais e as diferenças se elevam com a elevação do carregamento. Tal comportamento possivelmente tenha sido influenciado pela falta de caracterização das propriedades mecânicas das chapas de OSB empregadas na pesquisa.

Entre os diferentes protótipos ensaiados o diafragma pregado com espaçamento de 100 mm foi o que apresentou os menores valores de deflexão no meio do vão, seguido pelo diafragma colado e diafragma pregado com espaçamento de 200 mm. Tal comportamento possivelmente tenha sido influenciado pela variação das propriedades mecânicas dos materiais empregados nas flanges das vigas-I.

O contrapiso em OSB nos diafragmas horizontais é responsável pela redistribuição do carregamento aplicado em um de suas vigas para as demais. O aumento da redistribuição do carregamento das vigas para os apoios é proporcional ao aumento do carregamento e da rigidez das ligações. Os modelos numéricos desenvolvidos demonstram que as vigas adjacentes ao carregamento são responsáveis por 6,32% das reações de apoio quando os protótipos de diafragmas recebem a fixação das chapas do piso de OSB através de pregos espaçados a cada 200 mm, 21,65% quando fixados por pregos a cada 100 mm e 41,08% quando são colados. Tais resultados possivelmente foram influenciados em decorrência da variabilidade de rigidez existente entre os materiais empregados nos elementos da ossatura.

As vigas da ossatura dos diafragmas horizontais de piso trabalham de forma solidária e não isoladas. No entanto, resultados de ensaios e modelos numéricos utilizados na pesquisa demonstram variações de valores para protótipos confeccionados com pregos espaçados a cada 200 mm a partir de

2,0 kN. A partir deste carregamento, observa-se uma diferença, que se eleva, com a elevação do carregamento e pode chegar até 15% na viga central e 24% nas vigas adjacentes. O modelo numérico dos protótipos confeccionados com pregos espaçados a cada 100 mm apresentou comportamento mais rígido que a estrutura real, podendo esta diferença representar uma discrepância, que se eleva com a elevação do carregamento, de até 25% em todas as vigas. Em se tratando dos protótipos em que as vigas estão coladas à chapa de OSB, ocorre uma oscilação dos valores obtidos através dos ensaios experimentais em relação ao modelo numérico. Até 9 kN, o modelo numérico apresenta valores de deslocamento superiores aos do ensaio experimental, em seguida, os valores voltam a representar resultados conservadores. Esta variação em ambos os casos podem chegar até 8% de diferença e pode ser decorrente do comportamento experimental do diafragma devido à ligação colada, uma vez que a ligação rígida apresentou um comportamento diferenciado dos demais diafragmas com ligações pregadas (semirrígidas).

A consideração para dimensionamento das vigas do diafragma como componentes isolados apresentam valores de deflexão no centro do vão maiores, quando comparados aos valores de vigas trabalhando em conjunto nos diafragmas piso. Esse fato ocorre em função da solidariedade das ligações existentes entre as vigas e a chapa de OSB. As vigas vinculadas por ligações através de pregos espaçados a cada 200 mm apresentaram uma redução da deflexão no centro do vão da ordem de 24% quando comparadas às vigas isoladas, esta redução é da ordem da ordem de 40% nas vigas coladas e de 44% para vigas com ligações pregadas com pregos espaçados a cada 100 mm.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). **Design Requirements and Bending Properties for Mechanically Laminated Columns (EP 559)**. St. Joseph, MI: ASAE, 1997.
- American Wood Council (AWC). 2018. **National Design Specification for Wood Construction**. Washington, DC: AWC.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7190: **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar: Krieger Publishing Company, 1982.
- DIAS, G.L.; SANTOS, A.C.; LIMA, A.L.; SZÜCS, C.A. **Determinação de propriedades mecânicas do OSB**. In: ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. Anais. . . Cuiabá: EdUFMT, 2004. p.51.
- SANTOS, A.C.; DIAS, G.L.; LIMA, A.L.; SZÜCS, C.A. **Avaliação experimental das ligações pregadas entre chapas de OSB e madeira de pinus quanto à solicitação lateral**. In: ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004. Cuiabá. Anais. . . Cuiabá: EdUFMT, 2004. p.103.
- SANTOS, A. C. **Pisos em sistema leve de madeira sob ação de carregamento monotônico em seu plano**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2005. 102p.
- SANTOS, A. C. **Diafragmas horizontais de piso em madeira, confeccionados com chapas de OSB e vigas I, submetidos ao carregamento vertical**. Acta Sci. Tech., Maringá, v. 29, n. 2, p. 119-124, 2007.
- SHERWOOD, G.E.; MOODY, R. C. **Light-frame wall and floor systems - analysis and performance, General Technical Report FPL-GTR-59**. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service Forest Products Laboratory, 1989. 162 p.
- U.S. Department of Housing and Urban Development (HUD). **Residential Structural Design Guide - A State-of-the-Art Review and Application of Engineering Information for Light-Frame Homes, Apartments, and Townhouses**. Washington, DC: HUD, 2000.