

ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DE UMA GRELHA LAMELAR PLANA DE MADEIRA

L. A. TIENI¹, J. C. PIGOZZO², W. W. WUTZOW³, L. M. SILVA⁴, A. L. CHRISTOFORO⁵

Universidade Estadual de Maringá¹⁻³; Universidade Federal de São Carlos⁴⁻⁵

<http://orcid.org/0000-0002-5591-7620>⁴

leonardomartinsesilva@gmail.com⁴

Submetido 07/09/2019 - Aceito 03/11/2020

DOI: 10.15628/holos.2020.8986

RESUMO

A grelha lamelar em madeira permite a construção de grandes vãos com uso de madeira serrada em dimensões comerciais. O sistema é caracterizado pela geometria das barras, em que cada nó reúne o centro de uma barra com as extremidades de duas outras, cada uma destas barras representando uma lamela. Dependendo da concepção das ligações definidas entre as lamelas, a transmissão dos momentos de torção pode ou não ser levada em consideração, e tal condição pode impactar significativamente no desempenho mecânico da estrutura lamelar a ser projetada. O objetivo deste trabalho é analisar modelos numéricos de estruturas de grelha lamelar variando a vinculação entre as barras, contribuindo assim para o desenvolvimento de projetos estruturais baseados em simulações mais realistas de estruturas lamelares de madeira. Os elementos de barra podem ou não transmitir momentos de torção em suas

extremidades. Portanto, são comparados os resultados de modelos numéricos à evidências experimentais, oriundas de um protótipo de grelha lamelar plana feito com madeira de *Pinus* spp. A variável utilizada para as comparações é o deslocamento vertical em vários pontos da estrutura. O modelo numérico é elaborado e analisado no software SAP2000. Mantém-se a estrutura em condições tais que não ultrapassem o estado limite de utilização. As ligações entre as lamelas foram feitas com chapas metálicas que envolvem lateralmente a lamela, fixadas às barras de madeira por parafusos auto atarraxantes. Pelos resultados obtidos, o modelo considerando articulação perfeita forneceu deslocamentos nodais mais próximos dos deslocamentos obtidos experimentalmente, indicando ser pequena a torção transmitida entre as barras.

PALAVRAS-CHAVE: Grelha lamelar. Cobertura. Estrutura de madeira.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF A FLAT LAMELLAR LUMBER GRID

ABSTRACT

The wood lamellar grid allows the construction of large spans using commercial lumber. The system is characterized by the geometry of the bars, where each node joins the center of a bar with the ends of two others, each of these bars representing a lamella. Depending on the design of the defined connections between the lamellas, transmission of torsion moments may or may not be taken into account, and this condition may significantly impact the mechanical performance of the lamellar structure designed. The objective of this work is to analyze numerical models for lamellar grid structures varying the support between bars, contributing to develop more realistic simulations in structural design of wooden lamellar structures. The bar elements may or

may not transmit torsional moments. Therefore, results of numerical models are compared with experimental evidence from a flat lamellar grid prototype made with *Pinus* spp. Vertical displacement in various points in the structure are compared. The numerical model is developed and analyzed using SAP2000 software. The prototype is kept in conditions which do not exceed the limit-state of serviceability. Joints between lamellae were made with sheet metal that surrounds the lamella laterally, fixed to the lumber by self-tapping screws. Results indicate that models considering perfect articulation provided nodal displacements closer to the observed experimentally, implying that the torsion moment transmitted between bars is small.

KEYWORDS: Lamellar grid. Roof. Lumber structure.



1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de fonte natural, renovável e abundante no Brasil (Beech et al., 2017). Se apresenta como excelente alternativa de material para a construção civil, em razão da sua boa relação entre resistência e densidade (Almeida et al., 2018; Araujo et al., 2018).

Características como flexibilidade e a resistência da madeira às várias solicitações permitem o desenvolvimento de estruturas com geometrias e formatos variados, com destaque para as estruturas lamelares (Ferreira & Calil Jr., 2002).

Estruturas lamelares de madeira são estruturas tridimensionais hiperestáticas constituídas por elementos de barras denominados por lamelas, que formam arcos paralelos entrelaçados compondo uma malha com padrão de diamante, onde cada nó da estrutura reúne o meio de uma lamela e as extremidades de duas outras lamelas (Makowski, 2006).

As estruturas lamelares de madeira consistem em um marco no desenvolvimento das estruturas espaciais. Surgida por volta de 1904, a estrutura lamelar foi a primeira cobertura tridimensional composta por barras a ser construída, precursora das atuais coberturas reticuladas tridimensionais (Toussaint, 2007).

Sua primeira patente foi registrada em 1906 na Alemanha por Friedrich Zollinger (1880-1945) (Allen, 1999). Introduzida nos EUA em 1925 e no Brasil em 1922 pela empresa Hauff, e posteriormente adotado por outras empresas nacionais, sendo empregado para cobrir grandes áreas como galpões, depósitos, igrejas, quadras esportivas, auditórios e estacionamentos (Calil Jr., 2012).

As estruturas de madeira mostram seu potencial de resistência, economia e beleza arquitetônica. Quando bem dimensionadas e construídas com tecnologias, é possível minimizar a quantidade de conexões e aumentar sua rigidez. É necessário que haja amplo conhecimento de seu comportamento estrutural de maneira a limitar adequadamente os seus deslocamentos (Ferreira, 2012).

O sistema estrutural lamelar de madeira possibilita construções tridimensionais leves e visualmente agradáveis, com a vantagem de uma composição harmônica de distribuição de elementos com dimensões comerciais. Outra vantagem que deve ser considerada é a industrialização da construção, já que as peças são padronizadas, podem ser fabricadas em ambiente controlado e transportadas ao canteiro de obras, onde são parcialmente montadas utilizando mão de obra de fácil qualificação (Ferreira & Calil Jr., 2002). A figura 1 apresenta estruturas com o sistema estrutural de interesse.



Figura 1: Hangar do Aeroclube de Poços de Caldas (a) e detalhe da cobertura de madeira lamelar semicilíndrica. Fonte: Brito e Calil Jr. (2017).

Nas estruturas lamelares podem ser utilizadas madeiras de comprimento reduzido, independentemente das dimensões totais da estrutura, adaptável para madeiras de reflorestamento, como é o caso das madeiras do gênero *Pinus*, utilizada na presente pesquisa. Como outro exemplo de aplicação no Brasil pode-se citar a estrutura de cobertura lamelar utilizada no ginásio Jones Minosso, localizado na cidade de Lages - Santa Catarina, construído com os recursos tecnológicos disponíveis da época (Ferreira, 2012).

O maior conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é imprescindível para que se possa racionalizar a utilização dessa matéria-prima. Os estudos acerca das propriedades físico-mecânicas da madeira são complexos devido à heterogeneidade das propriedades da madeira, variando de uma espécie para outra, de uma árvore para outra da mesma espécie e até de uma mesma árvore. Além disso, a madeira é um material poroso e higroscópico, ou seja, suas propriedades mecânicas se alteram com as mudanças do teor de umidade do ambiente em que se encontra (Lahr et al., 2016).

Quando se pretende projetar e construir uma estrutura espacial de madeira, há diversos fatores que fazem o comportamento da estrutura divergir entre o modelo teórico e a estrutura real. Estes fatores podem ser, além da heterogeneidade da madeira, erros construtivos e a falta de conhecimento do comportamento preciso das ligações, muitas vezes são consideradas ligações totalmente rígidas quando na verdade não transmitem toda a rigidez (Christoforo et al, 2011).

Com o objetivo de contribuir para com o maior entendimento sobre o desempenho mecânico de estruturas lamelares, esta pesquisa investigou, com base em uma abordagem experimental e numérica (simulação via o método dos elementos finitos), o tipo de vinculação ideal (liberação ou não dos esforços de torção) na modelagem responsável por produzir valores dos deslocamentos nodais mais próximos dos valores obtidos experimentalmente, possibilitando assim contribuir na definição de um modelo de cálculo mais adequado ao projeto estrutural.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na determinação dos deslocamentos verticais obtidos de uma grelha lamelar plana quadrada com 4 metros de lado, fabricada com madeira de *Pinus* spp. e ligações concebidas por chapas metálicas e parafusos auto-atarraxantes.

Após obtenção dos deslocamentos experimentais, a estrutura foi reproduzida fielmente em um modelo de grelha, via o método dos elementos finitos, com o auxílio do software SAP2000, variando-se a forma de vinculação nas extremidades das lamelas, que podem ou não transmitir momento torçor. Para tanto, foram comparados os valores dos deslocamentos nodais quando aplicadas cargas verticais em ambas as estruturas: a do modelo teórico e a do experimental.

O sistema lamelar de madeira em sua história tem sido utilizado em coberturas curvas, superfícies cilíndricas, superfícies parabólicas e abóbadas (Ferreira & Calil Jr., 2002). Porém, neste trabalho, decidiu-se construir e analisar uma estrutura lamelar plana.

Sabe-se que coberturas em arco lamelar possuem algumas vantagens em relação às coberturas planas, dentre elas, melhor distribuição dos esforços e possibilidade de maiores vãos (Ferreira, 2012), porém, nessa pesquisa optou-se por confeccionar uma estrutura plana em razão da facilidade de execução e assim acrescer o conhecimento na execução de estruturas lamelares para posteriormente projetar e executar estruturas curvas.

A madeira para uso estrutural deve ter rigidez e boa resistência mecânica. A qualidade da madeira a ser utilizada na estrutura pode ser garantida através da classificação visual (Fioreli, Dias & Coiado, 2009). Com base na classificação visual, foi feita a seleção de peças de madeira componentes da grelha lamelar plana para o protótipo deste estudo, cabendo destacar que nesse trabalho foi utilizada a madeira *Pinus* spp., por ser uma espécie de emprego usual nas construções civis e abundante no Brasil (Morales et al., 2014).

A rigidez da madeira a ser considerada nas simulações foi determinada pelo valor médio do módulo de elasticidade proveniente do ensaio de flexão estática a três pontos, assim como preconiza a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997).

Do lote de madeiras que foi previamente classificado e devidamente estocado em ambiente fechado, o que resultou em teor de umidade próximos de 12% (umidade de equilíbrio estabelecida pela norma brasileira), foram selecionadas peças aleatórias de onde foram extraídos os corpos de prova (5×5×115 cm) para a obtenção do módulo de elasticidade (E_M). Para tanto, foram utilizados 12 corpos de prova, resultando em um valor médio do módulo de elasticidade na flexão estática de $E_M = 7347$ MPa, com um coeficiente de variação de 18,24%.

Cabe destacar que por não ser o foco dessa pesquisa o dimensionamento, as evidências experimentais não abordam o colapso estrutural. Para isso, com base nas dimensões das seções transversais (10×2 cm) dos elementos de barra componentes da estrutura lamelar, foram aplicadas cargas progressivamente de maneira a solicitar a estrutura de forma linear e elástica. Nessas condições, os deslocamentos experimentais para os vários níveis de força são comparados a deslocamentos dos modelos numéricos considerando as duas formas de vinculação (engaste e rótula) entre os elementos de barra.

Como comentado, a grelha construída possui dimensões em planta de quatro metros por quatro metros, e fixada nas laterais em um quadro de vigas de madeira. A Figura 2 ilustra a geometria dessa estrutura e também indica os pontos nodais (1, 2, 3 e 4) nos quais as cargas foram aplicadas e os pontos (1, 2, 3, 4 e 5) em que os deslocamentos foram medidos.

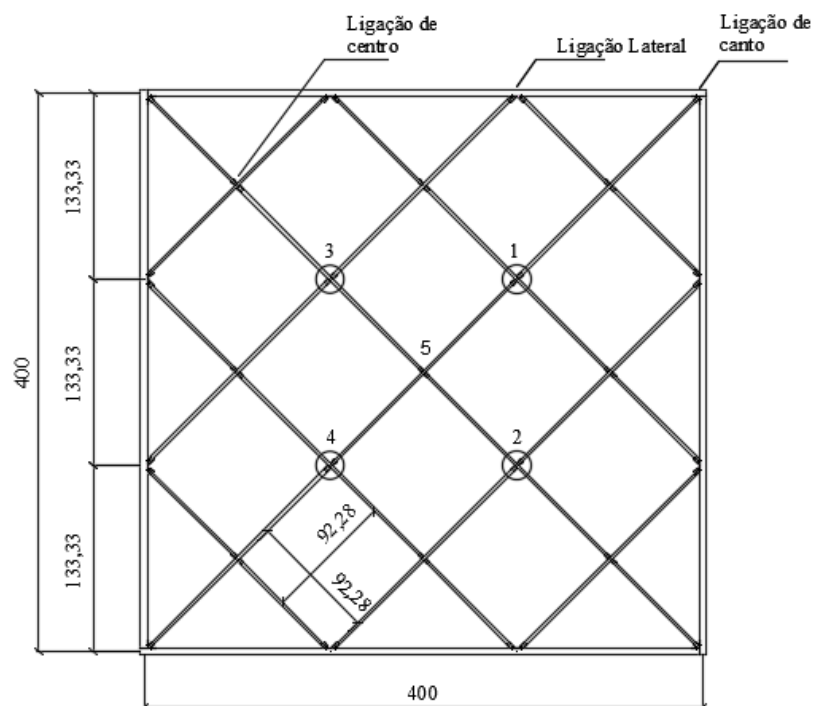


Figura 2: Geometria da grelha lamelar e pontos de aplicação de forças.

Para execução do modelo experimental, são necessárias ligações centrais (entre as lamelas), laterais (entre as lamelas e as vigas laterais) e de canto (entre uma lamela e duas vigas laterais convergentes). As ligações foram feitas com chapas metálicas de 2mm de espessura, dobradas e pré-furadas com as dimensões definidas e fixadas por parafusos auto atarraxantes (3,5x32 mm). Portanto, para cada tipo de nó apresenta-se um conjunto de chapas e parafusos diferentes. Na sequência, a Figura 3 ilustra a estrutura total (3a), a ligação central (3b), a ligação lateral (3c) e a ligação de canto (3d).

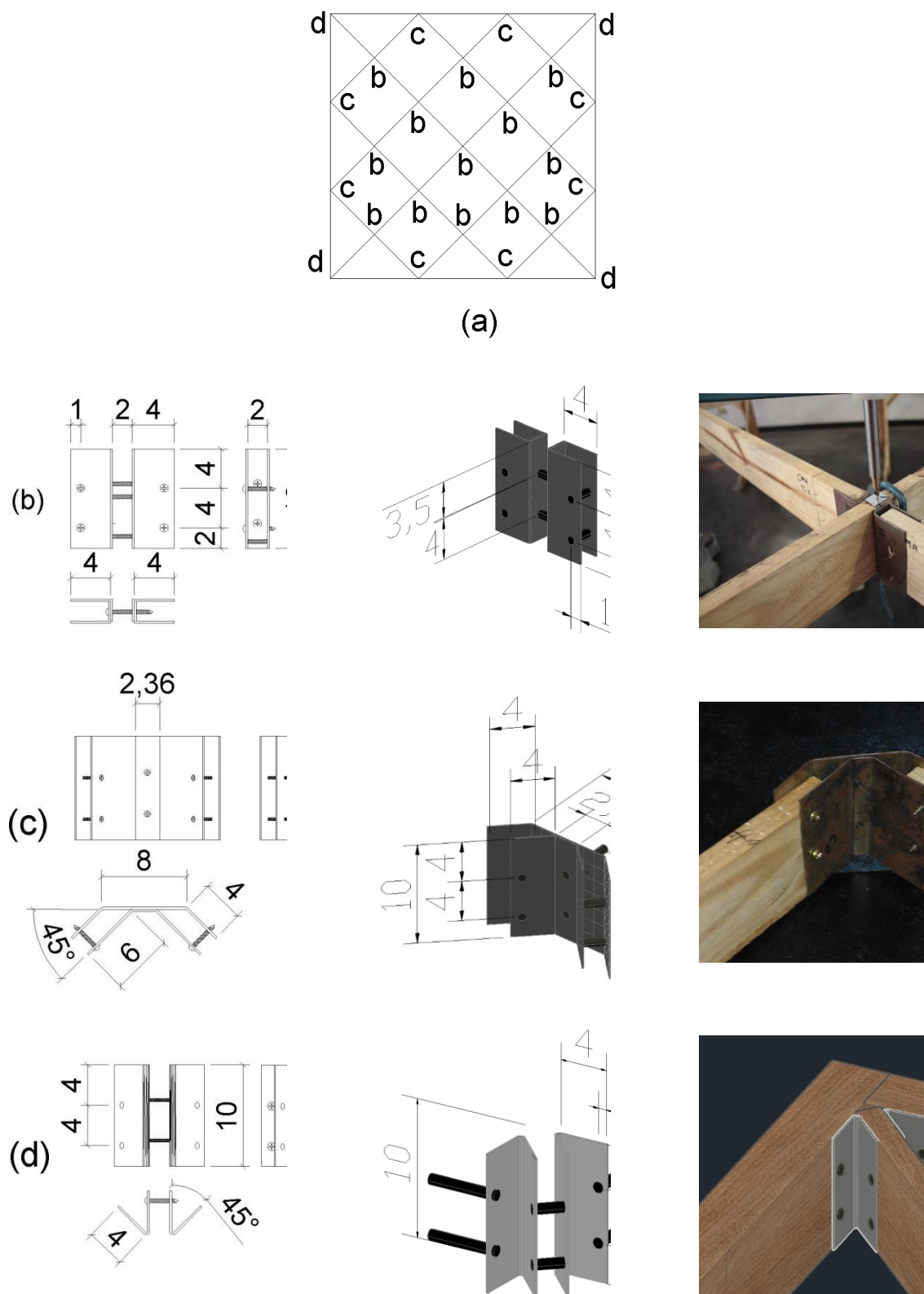


Figura 3: Ligações presentes na grelha (a): centro (b), lateral (c) e canto (d): medidas em mm.

Neste trabalho a estrutura construída foi devidamente fixada sobre vigas laterais, as quais foram apoiadas em suportes de madeira (colunas curtas) em cada nó lateral (Figura 4), cabendo destacar que as vigas laterais simulam uma estrutura rígida que não apresenta nenhum



deslocamento vertical, que poderia influenciar nos resultados da estrutura lamelar. Dessa forma, como condições de contorno nas simulações, considerou-se deslocamento vertical nulo nos pontos de contato entre as vigas laterais e as colunas.



Figura 4 - Transdutores para análise dos deslocamentos nos pontos de interesse.

Através da aplicação de cargas concentradas em quatro pontos simétricos da estrutura (pontos 1, 2, 3 e 4) e no ponto central (ponto 5), assim como indicado anteriormente na Figura 2 e ilustrado na Figura 5, foram medidos os deslocamentos verticais por meio de transdutores elétricos posicionados acima da grelha em pórticos independentes da estrutura lamelar (Figura 4).



Figura 5 - Detalhe das forças aplicadas em alguns dos nós da estrutura lamelar plana.

Para estimar a carga aplicada aos nós, a estrutura foi simulada considerando o módulo de elasticidade médio (7347 MPa) como sendo o de todas as barras e rótula entre as ligações dos elementos de barra. Forças igualmente aplicadas nos nós de 1 a 5 (Figura 2) foram progressivamente consideradas, de maneira a se estipular uma carga responsável por provocar deslocamento inferior a $L/200$, que consiste em uma medida de pequenos deslocamentos (linearidade física e geométrica) definida pela norma brasileira na verificação do estado limite de utilização. Tal valor de força arbitrado consistiu em 33 Kgf ($\approx 323,7$ N), associado a um deslocamento vertical máximo (medido no nó 5, Figura 2) de 34,55 mm. Cabe destacar, assim como ilustrado na Figura 5, que as cargas foram aplicadas considerando os pesos dos blocos hexagonais de concreto assim como de anilhas de aço.

Definida a intensidade da carga aplicada aos nós, na estrutura real o carregamento foi aplicado em dois ciclos carregamento-descarregamento até a 50% ($\approx 161,9$ Kgf) da carga estimada e o terceiro atingindo os 33 Kgf (100%), cabendo destacar que a norma brasileira NBR 7190 (ABNT,

1997) estabelece o uso de ciclos de carga nos ensaios para a obtenção das propriedades mecânicas da madeira devido ao acomodamento das fibras quando solicitadas.

Como comentado, a estrutura foi modelada com a consideração do módulo de elasticidade de todas as barras como sendo o valor médio obtido da caracterização da madeira, assim como ocorre no dimensionamento estrutural. Foram aplicadas no modelo numérico cargas iguais as aplicadas no ensaio da grelha experimental, variando-se a configuração de rigidez das ligações em dois casos diferentes, ligações consideradas ora como rótulas ora como engastes. Através de análises lineares foram obtidos os valores dos deslocamentos, os quais foram comparados com os valores obtidos no ensaio experimental da grelha, apresentados no próximo item.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 ilustra os resultados experimentais dos deslocamentos verticais medidos pelos transdutores de deslocamentos (LVDT) nos nós de 1 a 5, considerando-se os dois ciclos de carregamento.

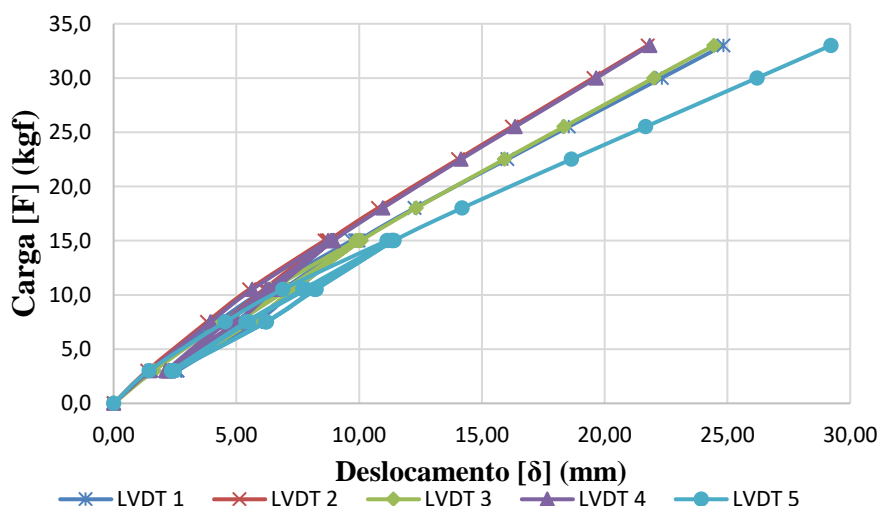


Figura 6: Deslocamentos do ensaio experimental obtidos considerando os dois ciclos de carregamento e descarregamento e carregamento final.

Da Figura 6, nota-se semelhança das curvas dos deslocamentos medidos entre os nós 1 e 3 e entre os nós 2 e 4, mesmo sendo simétrica a disposição desses quatro nós na malha da grelha (Figura 2), resultado esse justificado pela não homogeneidade da madeira aliado a possíveis imperfeições na confecção da estrutura.

Aplicando as mesmas cargas do modelo experimental no modelo numérico e considerando as duas situações de ligações (modelos ideais: rótula e engaste), os resultados da simulação assim como os valores dos deslocamentos obtidos da experimentação são apresentados na Figura 7. A conformação deslocada do modelo numérico com deslocamentos ampliados consta na Figura 8.

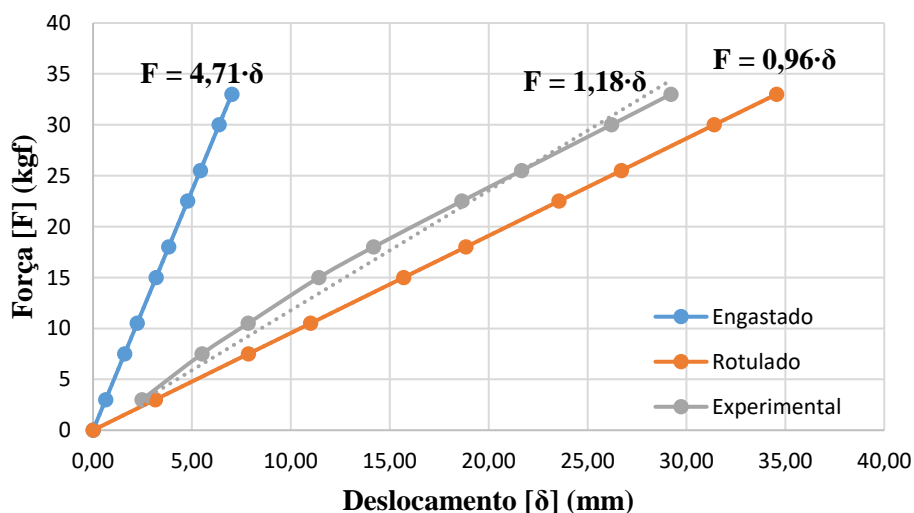


Figura 7: Deslocamentos resultantes dos modelos numéricos e ensaio experimental do nó 5.

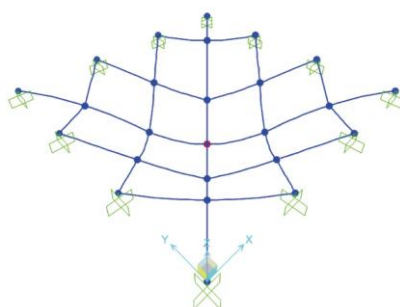


Figura 8 – Grelha deformada da análise numérica.

Da Figura 7, assim como esperado, o real comportamento da ligação da estrutura é semirrígido (Christoforo et al, 2011), variando entre os modelos ideais rotulados e engastados. Nota-se ainda que os valores dos deslocamentos experimentais são mais próximos dos deslocamentos provenientes do modelo simulado considerando ligações rotuladas entre os elementos de barra da grelha. Isto se deve a deformação das barras da estrutura e a pequena rigidez das ligações ao momento, permitindo o giro relativo das barras.

A rigidez (k) associada ao ponto nodal de maior valor de deslocamento determinado experimentalmente foi $k = 1,18 \text{ Kgf/mm}$, sendo de $k = 0,96 \text{ Kgf/mm}$ e $k = 4,71 \text{ Kgf/mm}$ as rigidezes obtidas numericamente considerando as ligações rotuladas e engastados, respectivamente. O erro relativo obtido entre o deslocamento nodal do ponto 5 obtido experimentalmente e calculado com o uso do modelo numérico (ligação rotulada) para a carga de 33 Kgf foi de 18,28%. Cabe destacar que esse erro poderia ser reduzido se a estrutura fosse simulada considerando os valores reais dos módulos de elasticidade de cada barra, entretanto, foi-se utilizado o valor médio por se tratar de uma prática de projeto, consequências das diretrizes estabelecidas pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997).

Considerando que os pontos nodais de 1 a 4 são geometricamente simétricos na grelha (Figura 2), é possível traçar o diagrama carga \times deslocamento dos resultados experimentais através

da média dos deslocamentos dos quatro pontos para os respectivos níveis de força aplicados. A Figura 9 ilustra os resultados da média dos deslocamentos nodais obtidos experimentalmente assim como dos deslocamentos obtidos dos modelos numéricos de um desses quatro nós com os respectivos níveis de carga.

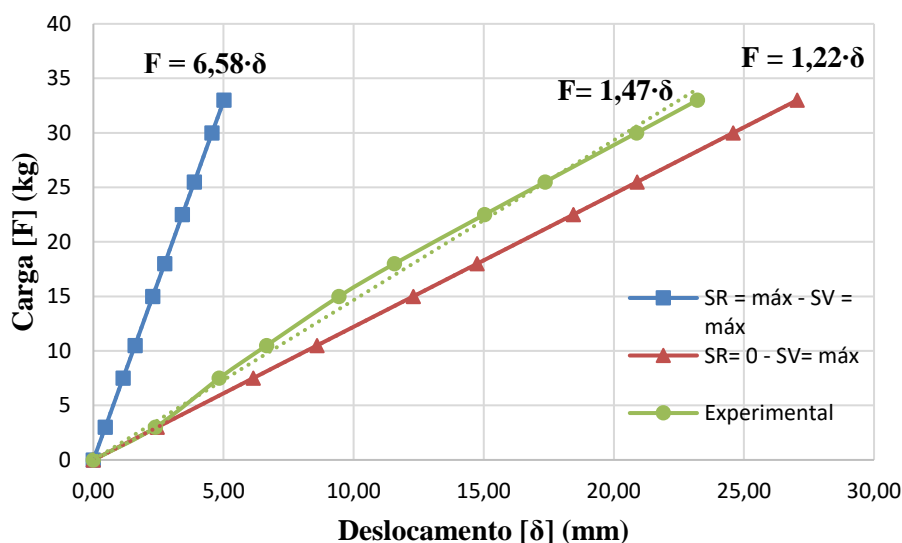


Figura 9: Deslocamentos resultantes dos modelos numéricos e do ensaio experimental para a média dos pontos nodais 1, 2, 3 e 4.

Por serem os deslocamentos dos nós de 1 a 4 menores do que os deslocamentos do nó 5 para os mesmos níveis de carga, as rigidezes desses quatro nós são superiores as rigidezes do nó 5. A rigidez obtida experimentalmente pela média dos valores dos deslocamentos dos nós de 1 a 4 é 1,20 vezes superior ao valor da rigidez obtida pelo modelo numérico considerando ligações rotuladas entre as barras, e um erro relativo de 16,50% em relação ao deslocamento para o nível de carga de 33 Kgf.

Novamente, os erros dos deslocamentos, e consequentemente dos esforços poderiam ser reduzidos se conhecidos os valores dos módulos de elasticidade à flexão de cada barra, abordagem não considerada na prática. Uma alternativa a ser utilizada na determinação do módulo de elasticidade de cada barra na concepção da estrutura, até por uma questão racional (locação das barras de maior módulo de elasticidade nas regiões de maior sollicitação mecânica), consiste em ensaios não destrutivos, como é o caso do ultrassom (Candian & Sales, 2009) da vibração transversal (Carreira, Dias & Segundinho, 2017), e que poderá ser o foco de pesquisas futuras.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o ensaio experimental de uma grelha lamelar de madeira e análise de seu modelo teórico variando as condições de ligações (rótula e engaste).

Ao final da análise, através da comparação dos resultados, constatou-se que o protótipo ensaiado, devido ao padrão de suas ligações, apresentou comportamento mais semelhante ao modelo teórico rotulado do que ao modelo teórico engastado. Isso implica que independente do porte da estrutura, considerando a mesma espécie de madeira e as mesmas características da ligação aqui consideradas, o projeto a análise dos deslocamentos e dos esforços pode ser feita por

simulação numérica considerando o modelo ideal de rótula na ligação entre os elementos, fazendo com que o desempenho mecânico da estrutura a ser projetada seja mais próximo da realidade.

Para pesquisas futuras, propõe-se construir tais ligações e realizar as devidas análises experimentais com o intuito da obtenção da rigidez das mesmas, de maneira que estas sejam aplicadas a um modelo de grelha em busca de resultados ainda melhores.

5 REFERÊNCIAS

- Allen, J. S. (1999). A short history of 'Lamella' roof construction. *Transactions of the Newcomen Society*, 71(1), 1–29. doi: 10.1179/tns.1999.001
- Almeida, T. H., Souza, A. M., Martins, A. S. M., Christoforo, A. L., Almeida, D. H., & Lahr, F. A. R. (2018). Effect of service temperature on shear strength of *Pinus* wood for roof structures. *Acta Scientiarum. Technology*, 40, 1-6. doi: 10.4025/actascitechnol.v40i1.30913
- Araujo, V. A. D., Vasconcelos, J. S., Morales, E. A. M., Savi, A. F., Hindman, D. P., O'Brien, M. J., ... Garcia, J. N. (2018). Difficulties of wooden housing production sector in Brazil. *Wood Material Science & Engineering*, 0(0), 1–10. doi: 10.1080/17480272.2018.1484513
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1997). *NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira*. Rio de Janeiro.
- Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., & Smith, P. P. (2017). GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(5), 454–489. doi: 10.1080/10549811.2017.1310049
- Brito, L. D., & Calil Jr, C. (2017). Avaliação de estruturas de madeira da Hauff e sucessoras consolidadas em São Paulo e Minas Gerais, Brasil. In *Anais do II Congresso Latinoamericano de Estruturas de Madera* (12). Buenos Aires, Argentina.
- Calil Jr, C. (2012). Health assessment of Hauff timber structures in Brazil. In: *Word Conference on Timber Engineering*, Auckland, Nova Zelândia.
- Candian, M., & Sales, A. (2009). Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. *Ambiente Construído*, 9(4), 83–97.
- Carreira, M. R., Dias, A. A., & Segundinho, P. G. A. (2017). Nondestructive Evaluation of *Corymbia citriodora* Logs by Means of the Free Transverse Vibration Test. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 36(2). doi: 10.1007/s10921-017-0401-0
- Christoforo, A. L., Romanholo, G. A., Panzera, T. H., Borges, P. H. R., & Lahr, F. A. R. (2011). Influence of stiffness in bolted connections in wooden plane structure of truss type. *Engenharia Agrícola*, 31(5), 998–1006. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000500017>
- Ferreira, N. S. S. (2012). *Sistemas estruturais em formato de abóbada reticulada* (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.



- Ferreira, N. S. S., & Calil Jr., C. (2002). Estruturas lamelares de madeira para coberturas. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, 18, 109-138.
- Fiorelli, J., Dias, A. A., & Coiado, B. (2009). Propriedades mecânicas de peças com dimensões estruturais de Pinus spp: Correlação entre resistência à tração e classificação visual. *Revista Árvore*, 33(4), 741-750. doi: 10.1590/S0100-67622009000400017
- Lahr, F. A. R., Arroyo, F. N., Almeida, T. H. de, Filho, F. M. de A., Mendes, I. S., & Christoforo, A. L. (2016). Full Characterization of *Erismia uncinatum* Warm Wood Specie. *International Journal of Materials Engineering*, 6(5), 147-150.
- Makowski, Z. S. (2006). History of development of various types of braces barrel vaults and review of recent achievements all over the world, In: Makowski, Z.S. (Ed), *Analysis, design and construction of braced barrel vaults* (pp. 1-35). New York, USA: Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
- Morales, E. A. M., Kondo, H. K., Barbosa, J. C., Campos, C. I., Lahr, F. A. R., & Christoforo, A. L. (2014). Evaluating a Test Parameter in Static Bending for Pinus sp. Wood. *Advanced Materials Research*, 1025, 196-199. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.196
- Toussaint, M. H. (2007). *A design tool for gridshells: the development of a grid generation tool* (Master's thesis). Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Holanda, 2007.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

TIENI, L. A., PIGOZZO, J. C., WUTZOW, W. W., SILVA, L. M., CHRISTOFORO, A. L. (2020). Análise experimental e numérica de uma grelha lamelar plana de madeira. *Holos*. 36(7), 1-13.

SOBRE OS AUTORES

L. A. TIENI

Mestre pela Universidade Estadual de Maringá em Engenharia Civil. E-mail: lucastieni@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4811-941X>

J. C. PIGOZZO

Docente na Universidade Estadual de Maringá no Departamento de Engenharia Civil. E-mail: jcpigozzo@uem.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-0678>

W. W. WUTZOW

Docente na Universidade Estadual de Maringá no Departamento de Engenharia Civil. E-mail: wwwutzow@uem.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9103-3769>

L. M. SILVA

Doutor pela Universidade Federal de São Carlos em Estruturas e Geotecnia. E-mail:



leonardomartinsesilva@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5591-7620>

A. L. CHRISTOFOROS

Docente na Universidade Federal de São Carlos no Departamento de Engenharia Civil. E-mail: christofoal@yahoo.com.br

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4066-080X>

Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Pareceristas *Ad Hoc*: G MÔNICA REGINA GARCEZ E FÁBIO AUGUSTO PROCÓPIO PAIVA

