

ESTUDO COMPARATIVO DE CLASSE DE RESISTÊNCIA DE VIGAS DE MADEIRA LAMELADA COLADA

Rodrigo de Souza Nogueira¹ (rodrigossouzan@usp.br); **Fabiana Yukiko Moritani²** (fabianamoritani@usp.br); **Felipe Hideyoshi Icimoto³** (icimoto@usp.br); **Carlito Calil Junior⁴** (calil@sc.usp.br)

^{1,2,3,4} Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil;

Resumo

Os projetistas na realização do dimensionamento de estruturas de madeira necessitam ter o conhecimento da classe de resistência da madeira para assegurar a segurança dos elementos estruturais nas edificações. Em vista disso, essa pesquisa teve como finalidade comparar as classes de resistência obtidas por meio da resistência a compressão paralela às fibras e da resistência à flexão estática para classificar dois grupos de vigas de madeira lamelada colada de dimensões estruturais. Para isso, cada grupo com dez vigas de madeira lamelada colada tiveram suas classes de resistência definida pelo o ensaio de flexão estática em quatro pontos conforme os procedimentos descritos na norma internacional ABNT NBR ISO PN 02:126.10-001-3 e por meio do ensaio de compressão paralela às fibras da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997. O grupo formado por vigas de madeira lamelada colada de *Pinus* sp. tiveram resistência à compressão característica igual a 34 MPa, classe C30, enquanto que a resistência a flexão característica foi de 22,5 MPa, classe C22. O outro grupo estudado composto por vigas de madeira lamelada colada de *Tectona grandis* tiveram resistência à compressão característica igual a 59,5 MPa, classe D50, enquanto que a resistência a flexão característica foi de 43,1 MPa, classe D40. Dessa maneira, percebe-se uma redução da classe da resistência das vigas de madeira lamelada colada devido ao tipo de classificação aplicado. Todavia, essa diferença pode ter sido causada pelas emendas dentadas nas vigas que reduz a resistência a tração desses elementos estruturais.

Palavras-chave: Madeira lamelada colada. Classe de resistência. Compressão paralela às fibras. Flexão estática em quatro pontos.

Abstract

The designers in realization of timber structures sizing need to have knowledge of timber strength class to secure safety of structural elements in the buildings. Therefore, this research had as aim to compare strength class obtained by means of compressive strength parallel to the grain and bending strength for classify two groups of full-scale glulam beams. For this, each group with ten glulam beams had your strength class define by four-point bending test of according with ABNT NBR ISO PN 02:126.10-001-3 and by means of compressive strength parallel to the grain of according with ABNT NBR 7190:1997. The group compound by glulam beams of *Pinus* sp. had characteristic compressive strength parallel to the grain equal 34 MPa, class C22 while the characteristic bending strength was 22,5 MPa, class C22. The other group studied compound by glulam beams

of *Tectona grandis* had characteristic compressive strength parallel to the grain equal 59,5 MPa, class D50 while the characteristic bending strength was 43,1 MPa, class D40. Therefore, it's clear that a reduction of strength class of glulam beams due type of classification applied. But, this difference may have been caused by finger joints in the beams which reduce the tensile strength of structural elements.

Keywords: Glulam. Strength class. Compressive strength parallel to the grain. Four-point bending.

1 Introdução

Segundo Yang et al. (2008), em países desenvolvidos, como Estados Unidos e Canadá, e em alguns países da Europa, o produto engenheirado de madeira conhecido como madeira lamelada colada (MLC) já é utilizado por várias décadas nas edificações. Por outro lado, no Brasil, ainda poucas obras são construídas utilizando esse tipo de tecnologia. Consoante Leite, Santos e Valle (2017), o Brasil possui, no momento do levantamento feito pelos autores, apenas 7 empresas que conseguem fabricar esse tipo de produto engenheirado de madeira.

Na elaboração de projetos estruturais em madeira, os engenheiros necessitam de dados das propriedades das espécies de madeira para fazer o dimensionamento dos elementos estruturais. Dessa maneira, a norma brasileira de estruturas de madeira ABNT NBR 7190:1997 prevê o enquadramento de espécie de madeira em classe de resistência para as dicotiledôneas e para as coníferas, o Quadro 1 apresenta somente a classificação para a espécie de dicotiledôneas. Todavia, o principal parâmetro para classificação dentro de uma classe de resistência é a resistência característica a compressão paralela às fibras. Essa classificação é utilizada, principalmente, para espécies de madeira nativas brasileiras que, em sua grande maioria, são isentas de defeitos.

Quadro 1 – Classes de resistência para madeira de Dicotiledôneas

Dicotiledôneas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190:1997

Por outro lado, a revisão da norma brasileira de estruturas de madeira 7190, ABNT/CB-02 2º PN REVISÃO ABNT NBR 7190, engloba também a classificação para as espécies de madeira oriundas das florestas plantadas. Porém, o principal parâmetro, para

classificação dentro de uma classe de resistência, é a flexão estática. Ainda, os outros parâmetros inseridos dentro de um classe de resistência, compressão e tração, devem ser obtidos de corpos de prova de dimensões estruturais. Ademais, a classificação antiga ainda está contida no projeto de norma.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como propósito um estudo comparativo entre as classes de resistência de vigas de madeira lamelada colada de *Tectona grandis* e *Pinus* sp. utilizando os dois critérios proposto pelo o projeto de norma brasileiro. Para isso, primeiro foi realizado o ensaio de flexão estática em quatro pontos para determinar o módulo de ruptura de cada viga e, em seguida, com as amostras retiradas dos elementos estruturais foram feitos ensaio de compressão paralela às fibras.

2 Materiais e métodos

O estudo experimental foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), pertencente ao departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo. Os procedimentos de ensaios foram realizados em temperatura e umidade ambiente.

2.1 Elementos estruturais de Madeira Lamelada Colada

Na produção das vigas de madeira lamelada colada com dimensões estruturais para a realização do estudo comparativo de classe de resistência foi escolhida duas espécies de madeira oriundas de florestas plantadas: *Pinus* sp. e *Tectona grandis*. Esses elementos estruturais em escala real foram produzidos por uma empresa atuante no mercado nacional e seguiu os parâmetros de produção dessa empresa. As vigas de *Tectona grandis* foram produzidas com tábuas de madeira serrada de 22 mm de espessura. Além disso, o adesivo estrutural utilizado para a fabricação destas vigas foi um poliuretano. No final da produção, as vigas de *Tectona grandis* tinham seção transversal de 90 mm x 176 mm e comprimento de 352 mm. Além disso, no total, 10 vigas foram fabricadas com uma média de densidade aparente de 572,75 kg/m³. Por outro lado, as vigas de *Pinus* sp. foram fabricadas com tábuas de madeira serrada de 36 mm de espessura. Ademais, o adesivo estrutural utilizado para a fabricação destas vigas, também, foi um poliuretano. No final da produção, as vigas de *Pinus* sp. tinham seção transversal de 85 mm x 180 mm e comprimento de 360 mm. No total, 10 vigas foram fabricadas com uma média de densidade aparente de 483,68 kg/m³. Ainda, vale destacar que todas as vigas tinham emendas dentadas para atingir o comprimento necessário de cada lamela.

2.2 Ensaio de flexão estática em quatro pontos

O ensaio de flexão em quatro pontos foi realizado com objetivo de determinar o módulo de ruptura dos elementos estruturais de MLC das espécies analisadas. O procedimento dos ensaios seguiu o documento normativo ABNT NBR ISO PN 02:126.10-001-3. A montagem do ensaio consistiu da utilização de contraventamentos laterais para impedir problemas provenientes da estabilidade lateral dos elementos estruturais e foi utilizado um perfil metálico apoiado na viga por dois apoios para distribuir a carga do atuador, Figura 1. Além disso, a posição das emendas dentadas eram, na medida do possível,

colocadas na região de maior solicitação à tração.

Figura 1 – Configuração do ensaio de flexão estática em quatro pontos



Fonte: Nogueira et al. (2020)

Após a montagem do ensaio, o carregamento foi aplicado a uma taxa de 10 MPa/min até a ruptura das vigas, Figura 2. Dessa maneira, o módulo de ruptura foi obtido por meio da Equação 1.

Figura 2 – Ruptura de uma viga de *Tectona grandis*



Fonte: Nogueira et al. (2020)

$$MOR = \frac{F_{ult} \cdot L}{d \cdot b^2} \quad (1)$$

Sendo: MOR o módulo de ruptura, em MPa; F_{ult} a força de ruptura, em N; L o comprimento do vão livre da viga, em m; d a base da seção transversal, em m; b a altura da seção transversal, em m.

2.3 Ensaio de compressão paralela às fibras

A resistência a compressão paralela às fibras das vigas de MLC foi determinada por meio do procedimento descrito na norma brasileira ABNT NBR 7190:1997, todavia modificações no ensaio de compressão foram feitas, uma vez que os corpos de prova foram retirados de peças estruturais. A quantidade de amostra variou devido à disponibilidade de material para cada espécie de madeira, sendo 20 amostras de *Pinus* sp. e 10 amostras de *Tectona grandis*. As amostras utilizadas foram extraídas das vigas após a realização do ensaio de flexão estática em quatro pontos com um comprimento de 20 cm, sendo duas amostras por viga de *Pinus* sp. e uma amostra de cada viga de *Tectona grandis*. Ademais, a seção transversal das amostras tinha as mesmas medidas das seções transversais das vigas. Dessa maneira, as dimensões das amostras de *Tectona grandis* eram 90 mm x 176 mm x 200 mm e das amostras de *Pinus* sp. eram 85 mm x 180 mm x 200 mm. Os ensaios foram realizados na máquina de ensaio ELE-AUTOTEST 2000, com capacidade de carga de 2000 kN. O carregamento foi aplicado na seção transversal a uma taxa de 10 MPa/min até a ruptura de cada corpo de prova. A resistência a compressão paralela às fibras de cada amostra foi determinada por meio da Equação 2.

$$f_{c,0} = \frac{F_{c,0máx}}{A} \quad (2)$$

Sendo: $f_{c,0}$ a resistência a compressão paralela às fibras, MPa; $F_{c,0máx}$ a força máxima aplicada na seção transversal do corpo de prova, N; A a área transversal do corpo de prova, m².

2.4 Determinação da resistência característica

Os valores das resistências características da compressão paralela às fibras e, também, do módulo de ruptura foram determinados por meio da Equação 3 fornecida pela norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 para pequenas amostras.

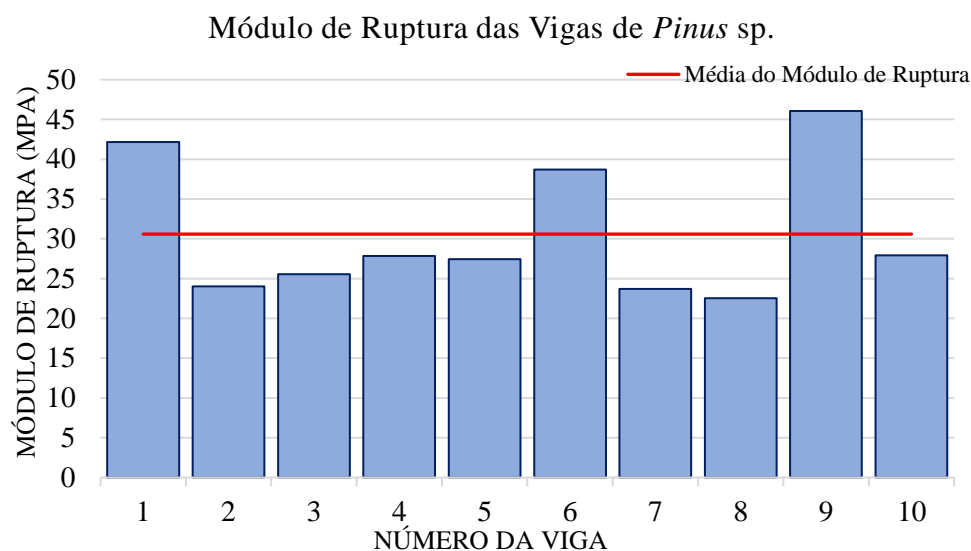
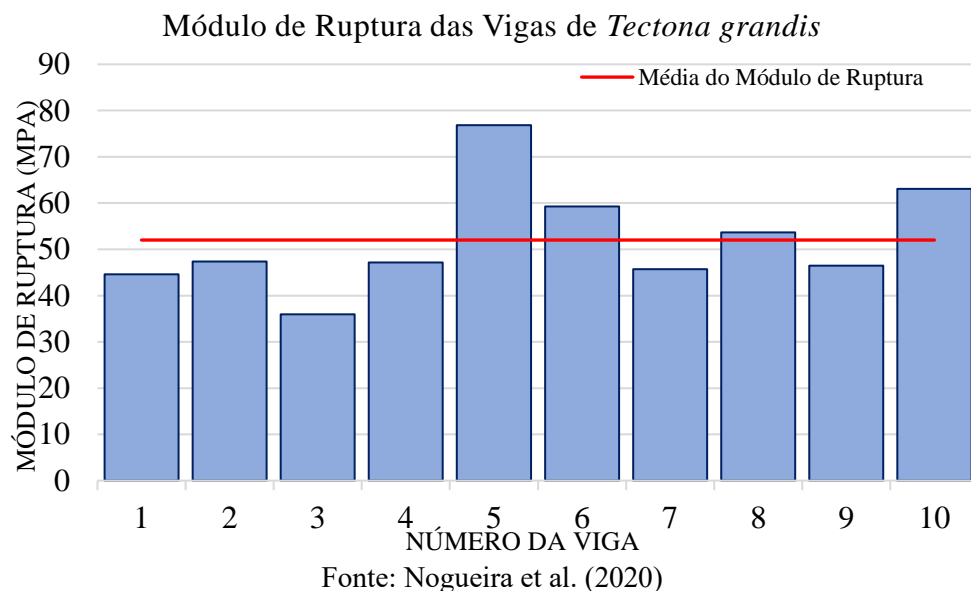
$$f_k = 1,1 \cdot \left(2 \cdot \frac{(f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1})}{\frac{n}{2}-1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \quad (3)$$

Sendo: f_k a resistência característica, MPa; n o número de amostras. Para determinar a resistência características pela Equação 3, primeiramente, coloca-se em valor crescente os valores das resistências obtidas no ensaio $f_1 > f_2 \dots > f_{\frac{n}{2}-1}$. O resultado da resistência característica será o maior entre o obtido pela Equação 3, 0,7 da resistência média das amostras e a resistência f_1 .

3 Resultados

3.1 Ensaio de flexão estática em quatro pontos

O valor do módulo de ruptura de cada viga está apresentado no Gráfico 1 (*Pinus* sp.) e no Gráfico 2 (*Tectona grandis*). Além disso, esses gráficos apresentam o valor médio do módulo de ruptura de cada espécie estudada.

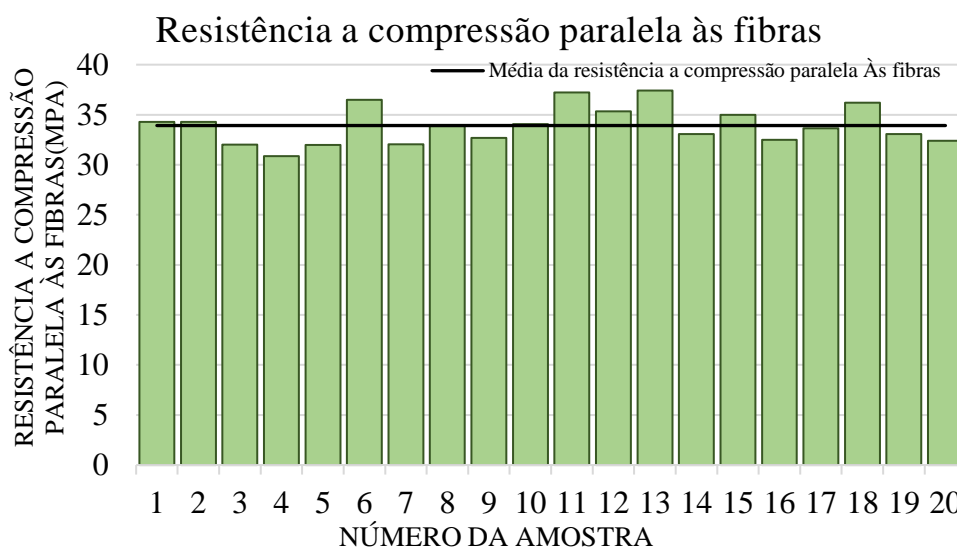
Gráfico 1 – Módulo de ruptura das vigas de madeira lamelada colada de *Pinus sp.*Gráfico 2 – Módulo de ruptura das vigas de madeira lamelada colada de *Tectona grandis*

Percebe-se, por meio do Gráfico 1, que a média do módulo de ruptura para espécie de *Pinus sp.* foi de 30,58 MPa, enquanto que para a espécie *Tectona grandis* a média foi de 52,01 MPa, Gráfico 2. Além disso, com os ensaios realizados, também foi possível estimar o módulo de ruptura característico de cada lote. Portanto, o lote composto por elementos estruturais de MLC de *Pinus sp.* alcançou um módulo de ruptura característico de 22,5 MPa. Isso representa a classe de resistência C22 para a classificação considerando a resistência a flexão da peça estrutural. Ainda, o outro lote atingiu um módulo de ruptura característico de 43,1 MPa que equivale a uma classe de resistência D40.

3.1 Ensaio de compressão paralelo às fibras

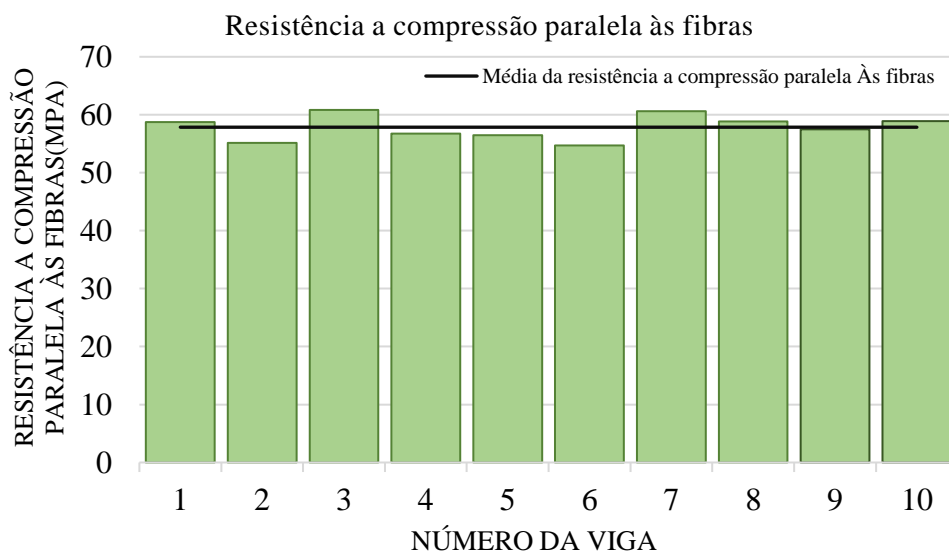
O valor da resistência a compressão paralela às fibras de cada viga está apresentado no Gráfico 3 (*Pinus sp.*) e no Gráfico 4 (*Tectona grandis*). Além disso, esses gráficos apresentam o valor médio da resistência a compressão paralela às fibras de cada espécie estudada.

Gráfico 3 – Resistência a compressão paralela às fibras das vigas de madeira lamelada colada de *Pinus sp.*



Fonte: Nogueira et al. (2020)

Gráfico 4 – Resistência a compressão paralela às fibras das vigas de madeira lamelada colada de *Tectona grandis*



Fonte: Nogueira et al. (2020)

Percebe-se, por meio do Gráfico 3, que a média resistência a compressão paralela às fibras para espécie de *Pinus sp.* foi de 33,9 MPa, enquanto que para a espécie *Tectona grandis*

a média foi de 57,9 MPa, Gráfico 4. Além disso, com os ensaios realizados, também foi possível estimar o resistência característica a compressão paralela às fibras de cada lote. Portanto, o lote composto por elementos estruturais de MLC de *Pinus* sp. alcançou uma resistência característica a compressão paralela às fibras de 34 MPa. Isso representa a classe de resistência C30 para a classificação considerando a resistência a compressão paralela às fibras da peça estrutural. Ainda, o outro lote atingiu uma resistência característica de 59,5 MPa que equivale a uma classe de resistência D50. No caso de utilizar-se a classificação de classe de resistência baseada na flexão levando em consideração a resistência característica a compressão paralela às fibras, o lote de *Pinus* sp. teria uma classe C50, enquanto que o outro lote teria uma classe D70.

3.3 Discussão do resultados

Percebe-se a partir dos resultados que existe uma grande diferença dependendo qual o tipo de parâmetro para classificação em classe do lote estudado. A classificação levando em consideração a flexão, nessa pesquisa, apresentou ser mais rigorosa, uma vez que as classes de resistência foram menores do que as classes de resistência quando leva em consideração a compressão paralela às fibras. Isso pode ter ocorrido devido aos elementos estruturais de MLC apresentarem emendas dentadas na região mais solicitada de tração. Pois, essas descontinuidades são pontos críticos de vigas de MLC e faz com que o módulo de ruptura do produto seja reduzido (Tran et al., 2016; Nogueira, 2017). Além disso, cabe destacar que essas classificações não são destinadas a elementos estruturais de MLC.

4 Conclusão

Para os dois lotes de vigas de MLC estudados, a classe de resistência utilizando a norma vigente da ABNT NBR 7190:1997 apresentou uma classe maior quando comparado com a classe de resistência que leva em consideração a flexão das peças estruturais de madeira. Um fator que pode ter contribuído para essa diminuição foi a utilização de emendas dentadas na região de maior solicitação à tração. Além disso, as duas proposta de classificação engloba amostragem diferentes. A classe de resistência da norma vigente da ABNT NBR 7190:1997 é usada para amostras isentas de defeitos, enquanto a outra classificação é usada para amostras estruturais que leva em consideração os defeitos que possa existir ao longo da peça. Em vista disso, o melhor método para classificação das vigas estruturais de grandes dimensões de madeira lamelada colada com emendas dentadas foi a resistência a flexão, pois engloba o ponto crítico desses elementos que foram as descontinuidades das vigas devido às emendas dentadas. Ainda, ensaio de compressão paralelo às fibras elevou bastante a classe de resistência das vigas e, portanto, não representou a realidade do produto.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a ITA construtora LTDA. pela doação dos elementos estruturais. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



Encontro Brasileiro
em Madeiras e em
Estruturas de Madeira

8 A 10 DE MARÇO DE 2021 | FLORIANÓPOLIS - SANTA CATARINA

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-02 2º PN revisão ABNT NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira, 2013.

_____. **CEE-126 PN 02:126.10-0001-3**: Madeiras – Ensaio de caracterização de peças estruturais de madeira, 2016.

_____. **NBR 7190N**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

LEITE, T. M.; SANTOS, P. A. F. M.; DO VALLE, I. M. R. O uso da madeira laminada colada no Brasil: panorama e desafios. **In**: II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera e II Congresso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción, 2017, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires, 2017.

NOGUEIRA, R. S. **Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL**. 2017. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

TRAN, V.; OUDJENE, M.; MÉAUSOONE, P. Experimental investigation on full-scale glued oak solid timber beams for structural bearing capacity. **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 365-371, 2016.

YANG, T.; WANG, S.; LIN, C.; TSAI, M. Evaluation of the mechanical properties of Douglas-fir and Japanese cedar lumber and its structural glulam by non-destructive techniques. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 4-12, p. 487-493, 2008.