

Análise comparativa entre vigas maciças e vigas laminada colada utilizando à flexão

Gabriela Terci¹
Carla Laís Manentti²
Junior Stanki³
Fabiano Nienov⁴

Resumo

A madeira é um dos materiais mais antigo utilizados na construção civil, dada a sua importância e a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas construtivas, desenvolveu-se o método de madeira laminada colada (MLC). Visando aprimorar o conhecimento da melhor forma de aplicar esse método construtivo, pesquisas vêm sendo realizadas utilizando lâminas de madeira em peças estruturais. Neste cenário, buscou-se avaliar vigas de madeira maciça (VM) e vigas de laminada colada (VC) quanto a sua resistência a flexão. Utilizando a espécie de madeira Pinheiro Araucária. Foram confeccionadas 9 vigas ao todo (170 x 7,5 x 16 cm), sendo elas, 3 vigas maciças (VM), 3 vigas de laminada colada (VCI) com espessura das lâminas de 2 cm e 3 vigas de laminada colada (VCII) com espessura das lâminas de 4 cm. Após montagem das vigas, submeteu-se ao ensaio de flexão a três pontos, sendo observado a resistência quanto a força aplicada. Os resultados obtidos demonstram que as vigas de laminada colada (VCI) atingiram uma média de 55,872 KN, pois, com a espessura menor da lâmina, observou-se que a viga é mais flexível / maleável e ocorre uma boa tratabilidade entre as lâminas. Sendo que em comparação a viga maciça (rígida) observou-se um aumento de 24,073 KN.

Palavras-chave: Vigas de madeira. Estruturas de madeira. Laminada colada.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais antigos usados na construção civil sendo empregada em diversas finalidades, de forma permanente como em telhados, revestimentos e em alguns casos o imóvel todo e de forma secundária na execução da obra utilizado assim em escoramentos, andaimes e outros.

Por ser obtida de um recurso natural e de fonte renovável é considerado um material ecologicamente correto, que demanda baixo consumo de energia em sua produção e utilização, consistindo em um material vantajoso comparado aos demais. Além de suas

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Unoesc Campus de Joaçaba, e-mail: gabi_terci@hotmail.com.

² Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Unoesc Campus de Joaçaba, e-mail: carlalmanentti@gmail.com.

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Unoesc Campus de Joaçaba, e-mail: jnr.stanki@gmail.com

⁴ Professor Doutor, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: Fabiano.nienov@unoesc.edu.br.

vantagens ecológicas, a madeira possui uma série de características próprias que a tornam uma excelente ferramenta quanto elemento construtivo, incluindo boas condições naturais de isolamento térmico, durabilidade, versatilidade e ótimas propriedades físico-mecânicas (DARIF; PLETZ, 2021).

Ao decorrer dos anos notou-se que a madeira maciça tem suas desvantagens quanto a limitação de suas dimensões e da escassez de algumas espécies de árvores. Sendo assim, houve a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas para construção e utilização da madeira.

Desta forma surgiu o método construtivo denominada madeira laminada colada (MLC), segundo Carlito Calil Neto (2011) o material produzido a partir de lamelas (tábuas) de dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões da peça final assim constituída. Essas lamelas, unidas por colagem, ficam em uma disposição de tal maneira que as suas fibras estejam paralelas entre si. Sendo assim apresentando uma capacidade de maior versatilidade nas formas geométricas e nas dimensões das peças estruturais, na fabricação de maiores vãos, além de um aumento da resistência mecânica devido ao seu peso próprio relativamente baixo.

Após uma análise sobre o tema de vigas de madeira laminada colada e sua importância no meio da construção em madeira, decidiu-se fazer uma pesquisa sobre o assunto, sendo assim, analisando e comparando a resistência a flexão entre as vigas de madeira maciça e vigas de madeira laminado colada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A utilização da madeira tem apresentado ao longo do tempo um importante papel, por ser um material de característica única, de grande abundância, alta capacidade estrutural, valor estético, propriedades termo-acústico, ótima relação resistência/peso, baixo consumo energético para a sua produção, um material facilmente obtido e de fonte renovável (CARLITO CALIL NETO; 201).

Nos dias atuais a madeira é um ótimo material tanto para concepção e construção de estruturas inovadoras e tecnológicas. Devido à grande preocupação com o impacto ambiental, sustentabilidade e necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade, juntamente com o avanço na tecnologia dos adesivos, ocorreram grandes evoluções nos produtos derivados da madeira (CARLITO CALIL NETO; 2001), sendo uma delas a madeira laminada colada.

A técnica de laminação é recente e a sua aplicação concreta teve início no século XIX, tendo como exemplo marcante dessa época, arcos compostos por lâminas encurvadas e sobrepostas, mantidas unidas por ligações mecânicas. Essa técnica foi introduzida pelo coronel Emy no final do século passado (SZÜCS; 1992).

Foi, portanto, em 1906, com o aparecimento da cola de caseína (derivada do leite) que o mestre carpinteiro suíço Otto Hetzer teve a ideia de substituir por cola, as ligações

metálicas de abraçadeiras e parafusos, utilizadas pelo coronel Emy, obtendo assim uma seção mais homogênea sem os riscos de deslizamento entre as lâminas (HUMBERTO ARRUDA, 1995).

As primeiras vigas de MLC foram utilizadas na construção de um auditório em Basel, Suíça, em 1893. O produto foi patenteado como "Hertzer System" ou "Sistema de Hertzer" e esse sistema utilizava um adesivo que era limitado ao uso em lugares secos (FONTANA, 2019).

Segundo Carlito Calil Neto (2001) a fabricação da madeira laminada colada reúne duas técnicas bastante antigas. Como o próprio nome indica, a MLC foi concebida a partir da técnica da colagem aliada à técnica da lamelagem, ou seja, da reconstituição da madeira a partir de lamelas (neste caso entendidas como tábuas).

A madeira laminada colada é um produto estrutural, formado por associação de lâminas de madeira selecionada, coladas com adesivos. As fibras das lâminas têm direções paralelas a espessura das lâminas (Pfeil, 1994), mostrado na Figura 1. Segundo Matsunaga (1995) as emendas coladas nas extremidades, permitem formar peças com dimensões ilimitadas que funcionam como uma só unidade estrutural.

Figura 1 –Esquema de uma viga de MLC



Fonte: Zangiácomo (2003).

Considerando-se a flexibilidade, em termos de qualidade da matéria prima requerida na produção de vigas laminadas, quando comparadas às vigas de madeira sólida, torna-se altamente justificável o estudo de sua tecnologia e análise da influência no comportamento da espécie ou da mistura de espécies de madeira nas propriedades de resistência da viga (MATSUNAGA, 1995).

Segundo Pfeil (1994) os produtos estruturais, industrializados, de madeira laminada colada são fabricados sob rígidos padrões de controle de qualidade, que lhes garantem as características de resistência e durabilidade. A madeira laminada colada apresenta, em relação à madeira maciça, as seguintes vantagens:

- a) Permite confecção de peças de grandes dimensões (as dimensões comerciais de madeira serrada são muito limitas);
- b) Permite melhor controle de umidade das lâminas, reduzindo defeitos provenientes de secagem irregular;
- c) Permite a seleção da qualidade das lâminas situadas nas posições de maiores tensões;
- d) Permite a construção de peças de eixo curvo, muito convenientes para arcos, tribunais, cascas etc.;

Segundo Freas e Selbo (1954), a madeira utilizada na fabricação de uma peça laminada deve ser devidamente selecionada e adequadamente preparada para a colagem. Além disso, é essencial o conhecimento da intenção de uso final do produto laminado, resistência, durabilidade, propriedades de adesividade das espécies, teor de umidade e a qualidade da superfície preparada para a colagem. É necessário considerar defeitos que possam prejudicar a qualidade da colagem e que podem reduzir a trabalhabilidade do produto acabado. Algumas vezes é necessário ainda, considerar a aparência da peça acabada, quando da seleção e posicionamento das camadas de madeira.

Ainda segundo a norma Brasileira Regulamentadora 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022) entende-se por madeira lamelada colada (MLC) para fins estruturais, peças de madeira engenheirada em processo industrializado de fabricação, composta de lamelas coladas umas às outras e dispostas com as fibras paralelas ao eixo longitudinal da peça final.

Na produção das lamelas, as tábuas são unidas longitudinalmente por ligação de extremidade com extremidade (emendas denteadas), até atingirem o comprimento necessário. Na produção das peças de MLC, as lamelas são sobrepostas e coladas até atingirem a seção transversal determinada no dimensionamento da peça estrutural, cujo eixo pode ser reto ou curvo (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2022).

Ainda de acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022) a qualidade do produto depende de várias etapas do processo de fabricação, devendo as características de resistência e rigidez dos elementos de MLC. Com isso as seguintes propriedades devem ser analisadas individualmente na fabricação das vigas de laminada colada:

- Espécies de madeira.
- Densidade da madeira.
- Tratamento preservativo.
- Teor de umidade das lamelas (tábuas).

A norma ainda traz consigo quanto a classificação da madeira escolhida para projeto, sendo assim o lote será avaliado nas seguintes condições:

- Classificação visual.
- Classificação pelo módulo de elasticidade.
- União longitudinal das tábuas e composição das lamelas.
- Espessura das lamelas – Em nenhuma hipótese a espessura final de cada lamela deve exceder 50 mm e a sua espessura final deve ser maior ou igual a 6 mm e menor ou igual a 60 mm.
- Configuração incluindo a orientação da camada – Cada configuração deve possuir ao menos três camadas.
- Adesivos para MLC e processo de colagem – Verificar de acordo com o projeto o melhor adesivo que se adequa ao caso.
- Pressão de colagem nas juntas da cola (Face de colagem)
- Prensagem

Sendo assim alguns ensaios são necessários após as confecções das vigas de laminada colada para analisar as resistências obtidas através dos ensaios estão sendo atendidas segundo a norma, sendo elas:

- Ensaio de teor de umidade – Para classificação da madeira.
- Ensaio de flexão a quatro pontos – Módulo de ruptura do elemento.

A fabricação de elementos estruturais de madeira lamelada colada deve ser conduzida em condições de controle industrial. Os adesivos para fins estruturais devem produzir ligações de resistência e durabilidade que a integridade da ligação colada seja mantida por toda a vida esperada da estrutura, na classe de serviço correspondente (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

As recomendações dos fabricantes de adesivos em relação à mistura, condições ambientais para aplicação e cura, teor de umidade dos elementos e outros fatores relevantes para o uso adequado do adesivo devem ser atendidos. Nas peças fabricadas com adesivos que necessitem de um período de condicionamento após o período de pega, até que atinjam a resistência completa, deve ser evitada qualquer solicitação pelo tempo necessário (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

Atualmente no Brasil estruturas de madeira laminada colada vem ganhando espaço no meio da construção civil, por serem obras sustentáveis e inovadoras, a norma que engloba a parte de estruturas de madeira é a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022) que será utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

Logo pode-se observar que a convecção e utilização de vigas de laminada colada está sendo um grande aliado em obras de estruturas de madeiras, devido aos estudos sendo realizados para se obter uma maior resistência, durabilidade e qualidade das vigas.

Segundo a pesquisa realizada Fontana (2019) referente a análise da resistência à flexão das vigas de madeira laminada colada (MLC) com variação das espessuras das lâminas, o resultado foi apresentado, que as vigas de referência, as maciças, obtiveram maior carga de ruptura que as vigas laminadas, ao contrário do que foi observado em outras pesquisas, mas mesmo assim, não houve diferença estatisticamente entre os grupos quanto às cargas máximas, cargas no deslocamento máximo permitido por norma e nos módulos de elasticidade.

De acordo com a pesquisa realizada por Nogueira (2017), sobre o comparativo de classe de resistência de vigas de madeira lamelada colada, 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 (NOGUEIRA, 2017). Além disso, cabe destacar que essas classificações não são destinadas a elementos estruturais de MLC.

Tendo em vista a importância da aplicação da madeira laminada colada (MLC), segundo a pesquisa aplicada de Arthur Bueno Luz, et. em madeira laminada colada como vigas de pontes observou-se que as vantagens inerentes ao uso da MLC estão associadas a possibilidade do material em resistir muito bem à flexão, com capacidade de vencer grandes vãos, além da versatilidade de formas e aplicações, conservando o aspecto da Sustentabilidade devido à origem da madeira de reflorestamento. Deve ser destacada a capacidade de carga da viga em estudo, semelhante a de uma viga de concreto equivalente, com deslocamentos enquadrados em limites normativos e, ainda, a possibilidade do aumento da vida útil da longarina de MLC com sua união ao tabuleiro de concreto, enrijecendo ainda mais o conjunto e protegendo a viga da ação de umidade.

Após um estudo e análise teórico sobre estruturas de madeira, neste caso, as vigas de madeira laminada colada, obteve-se a ideia de realizar o estudo comparando as vigas maciças com as vigas laminadas coladas quanto à sua resistência a flexão, sendo assim obtendo resultados e aferindo quanto a sua resistência.

De acordo com a pesquisa de Stangerlin, et al (2010) as propriedades de flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura) apresentam tendência de redução com o acréscimo de umidade.

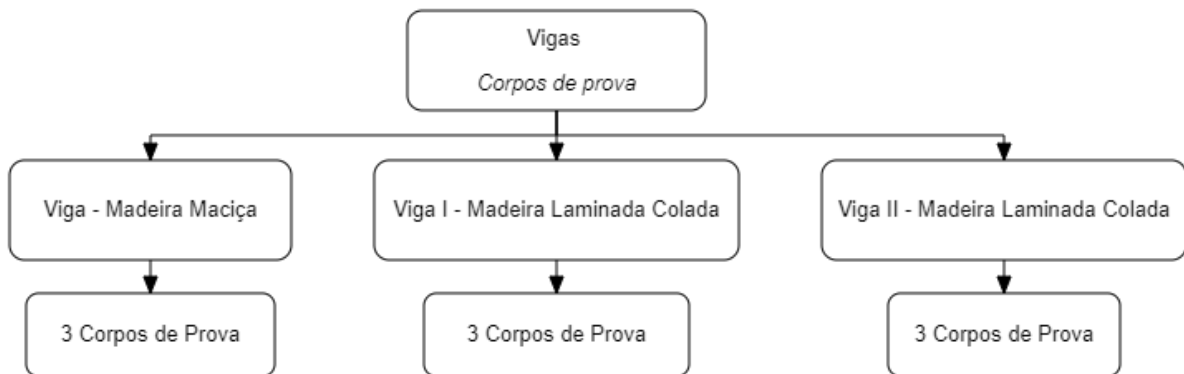
Para a realização do ensaio quanto a resistência a flexão, primeiramente deve-se classificar a madeira quanto a sua umidade, utilizando o ensaio de teor de umidade, segundo

a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022). Seguidamente deve-se realizar o ensaio a flexão de 4 pontas, sendo assim determinando a tensão de ruptura e o deslocamento, visto que a viga sofrerá vários esforços durante o ensaio, sendo eles, compressão na parte superior e tração na parte inferior até sua ruptura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

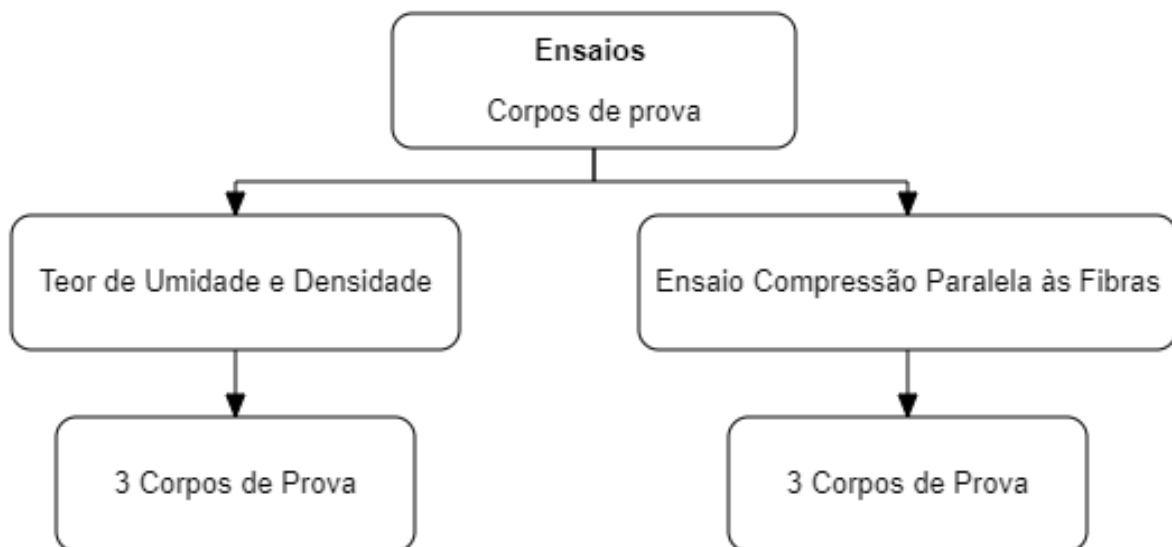
Para a confecção das vigas de madeira maciça, vigas de madeira laminada colada e ensaios, foi utilizado os seguintes corpos de prova, demonstrado a seguir na Figura 2 e na Figura 3, as dimensões adotadas seguiu-se as recomendações da norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

Figura 2 – Confecção das Vigas



Fonte: os autores.

Figura 3 – Confecção dos Corpos de prova para ensaios



Fonte: os autores.

3.1 ESPÉCIE DA MADEIRA

Deve ser evitada a composição de um mesmo elemento de MLC e MLCC com espécies diferentes, ou que apresentem diferentes coeficientes de retração (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

Segundo o Marceneiro Stefan Zieher, para a fabricação de vigas de madeira laminada colada, deve-se escolher uma madeira mais porosa, pois o material poroso absorve mais a cola aplicada entre as lamelas, consecutivamente se torna mais resistente.

Para a pesquisa foi adotada a espécie de madeira Pinheiro Araucária (grupo das coníferas), encontrada em várias regiões do Brasil. Trata-se de um material com uma boa trabalhabilidade e durabilidade quando tratado da maneira correta contra-ataques de agentes biológicos.

Após feita a escolha da madeira realizou-se o estudo de como será confeccionado as vigas maciças e vigas laminadas coladas e quais os ensaios necessários para obtermos os resultados necessários elencados na pesquisa.

3.2 TEOR DE UMIDADE E DENSIDADE

Para a determinação do teor de umidade das vigas, foi seguido a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), onde o teor de umidade da madeira corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca. A amostra seca foi determinada através da colocação da amostra inicial na estufa, durante a secagem, a massa do corpo de prova deve ser medida a cada 6 h, até que ocorra uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5 % da última massa medida (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), assim considera-se essa massa seca. Para a realização do ensaio utilizou-se três corpos de provas seguindo as dimensões da norma, uma balança para determinar a massa inicial e a massa seca do corpo de prova com precisão de 0,01g e a estufa com temperatura máxima de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

A densidade aparente foi determinada através da massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos de prova com teor de umidade de 12 % (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

3.3 COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

A fim de determinar o módulo de elasticidade da madeira utilizada no projeto, foi realizado o ensaio de compressão paralela às fibras, que segundo a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022) este método de ensaio consiste na determinação da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

Sendo assim o ensaio foi realizado da seguinte forma, produziu-se três corpos de prova seguindo as dimensões previstas na norma, após a confecção foi colocado o corpo de prova no equipamento prensa para a realização do ensaio, onde deve-se aplicar um carregamento monotônico crescente com uma taxa em torno de 10 MPa/min.

O módulo de elasticidade foi calculado utilizando o seguinte método onde a rigidez da madeira na direção paralela às fibras deve ser determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama de tensão versus deformação específica. Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva de tensão versus deformação, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}$; $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$; $\epsilon_{50\%}$), correspondentes respectivamente a 10 % e 50 % da resistência à compressão paralela às fibras, medida no ensaio, calculado conforme a seguinte Equação 2 (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022):

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (2)$$

Onde:

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ – são as tensões de compressão correspondentes a 10 % e 50 % da resistência f_{c0} , representadas pelos pontos 31 e 45 do diagrama de carregamento.

$\epsilon_{10\%}$ e $\epsilon_{50\%}$ – são as deformações específicas medidas no corpo de prova, correspondentes às tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$.

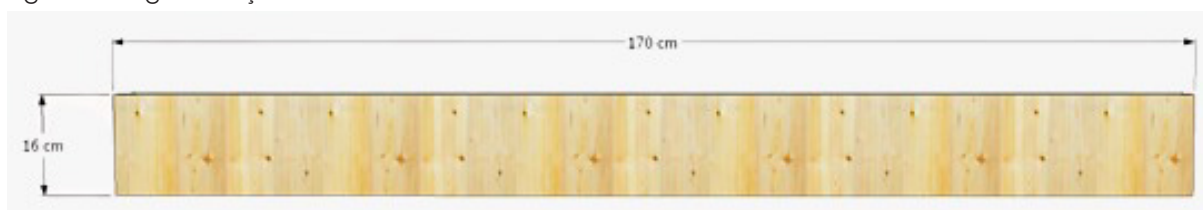
3.4 DIMENSÕES DAS VIGAS

Para realização do estudo adotou-se as seguintes dimensões para as vigas seguindo as diretrizes da norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

As vigas de madeira maciça (VM) foram produzidos três corpos de prova com as seguintes dimensões apresentadas a seguir (Figura 4 e Figura 5).

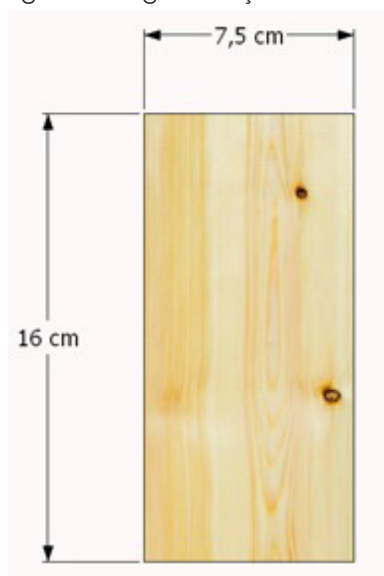
- Dimensões da Viga: 170 x 7x5 x 16 cm

Figura 4 – Viga maciça – VM



Fonte: os autores.

Figura 5 – Viga maciça – VM

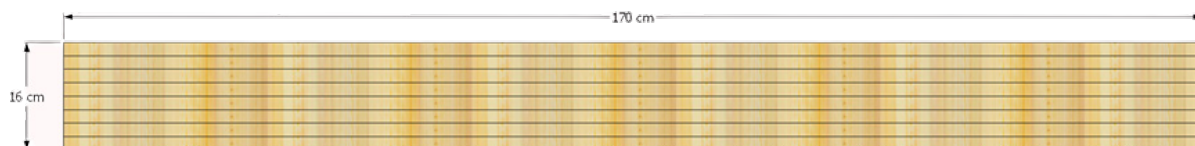


Fonte: os autores.

As vigas de madeira laminada colada (VCI) foram produzidos três corpos de prova com as seguintes dimensões apresentadas a seguir (Figura 6 e Figura 7).

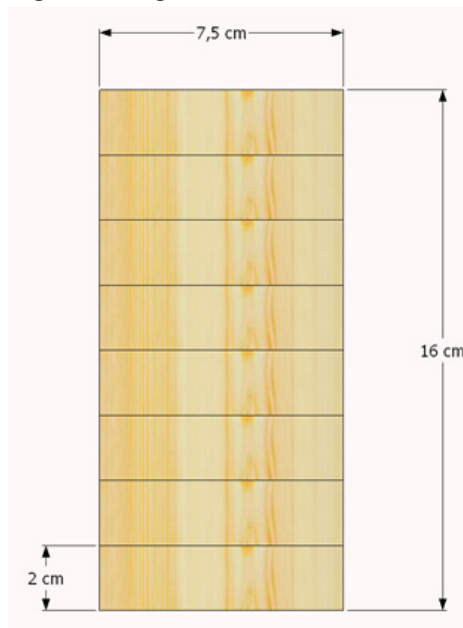
- Dimensões da Viga: 170 x 7,5 x 16 cm
- As lâminas foram produzidas com as dimensões: 170 x 7x5 x 2 cm.

Figura 6 – Viga laminada colada – VCI



Fonte: os autores.

Figura 7 – Viga laminada colada – VCI

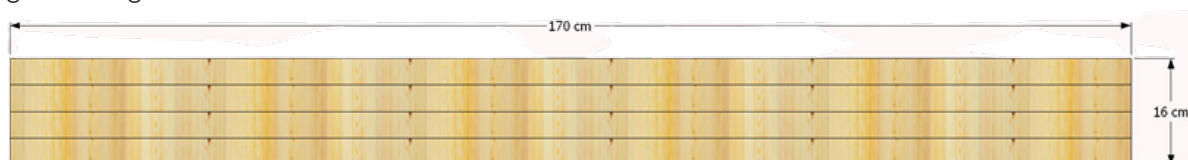


Fonte: os autores.

As vigas de madeira laminada colada (VCII) foram produzidos três corpos de prova com as seguintes dimensões apresentadas a seguir (Figura 8 e Figura 9).

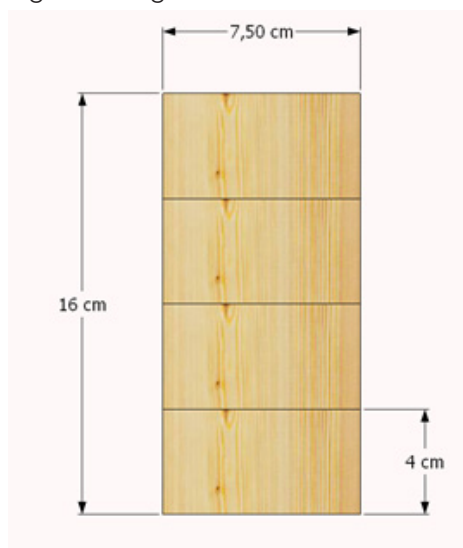
- Dimensões da Viga: 170 x 7,5 x 16 cm
- As lâminas foram produzidas com as dimensões: 170 x 7x5 x 4 cm.

Figura 8 – Viga laminada colada – VCII



Fonte: os autores.

Figura 9 – Viga laminada colada – VCII



Fonte: os autores.

3.5 PROCESSO DE PRODUÇÃO E COLAGEM DAS VIGAS

Segundo a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022) os adesivos empregados nas emendas de continuidade, seja na fabricação das peças estruturais de MLC ou de MLCC, devem ser estruturais e apresentar propriedades compatíveis às condições ambientais a que os elementos estruturais são submetidos durante toda a sua vida útil, conforme as EN 301, EN 15425 e EN 16254, a depender do tipo de adesivo utilizado. A quantidade de adesivo e os demais parâmetros de colagem devem atender às especificações dos fabricantes do adesivo.

Para a prensagem devem ser seguidas as recomendações do fabricante do adesivo relativas a tempo, temperatura, pressão e umidade da madeira e relativa do ambiente (NBR 7190; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

As vigas foram produzidas de acordo com as dimensões apresentada acima, visto que o processo de montagem sofre distinções entre viga maciça (VM) e viga laminada colada (VCI e VCII).

A madeira utilizada na produção das vigas (VM, VCI e VCII) e nos corpos de provas (para ensaios) foi a espécie de madeira pinheiro araucária, sendo uma madeira de boa trabalhabilidade, macia ao corte e fácil de ser trabalhada, sendo que aceita bem a cola/adesivos e acabamentos superficiais, quanto a sua durabilidade tem alta resistência quando tratada de forma correta contra fungo e cupins.

Para todas as vigas de madeira inicialmente o processo de fabricação foram os mesmos. A madeira bruta passou por um processo de beneficiamento que consiste em um processo de alisamento da peça de madeira, acabando assim com suas imperfeições. Após o beneficiamento realizou-se o processo de lixamento das peças para abertura de poros, consecutivamente a madeira absorve mais a cola.

A produção das vigas maciças sucedeu-se no processo descrito acima, onde realizou-se o corte das peças de madeira nas dimensões desejadas, em seguida o beneficiamento e lixamento das vigas.

Na confecção das seis vigas de laminada colada (VCI e VCII) seguiu-se o processo de corte das lâminas nas dimensões desejadas, após isso realizou-se o beneficiamento e lixamento da peça. Após as confecções das lâminas começou-se o processo de colagem e montagem, realizando-se da seguinte forma, para a colagem utilizou-se a cola Pur da Wurth que foi empregada entre as lâminas e pregos foram aplicados entre as lâminas para o travamento da viga (porém não foi emprego na última lâmina para não deixar os pregos amostra). Após a montagem e colagem foi realizado o prensamento das vigas, utilizando a pressão para finalizar o processo de colagem das vigas como na Fotografia 1. Em seguida realizou-se o acabamento das vigas.

Fotografia 1 – Prensamento das vigas



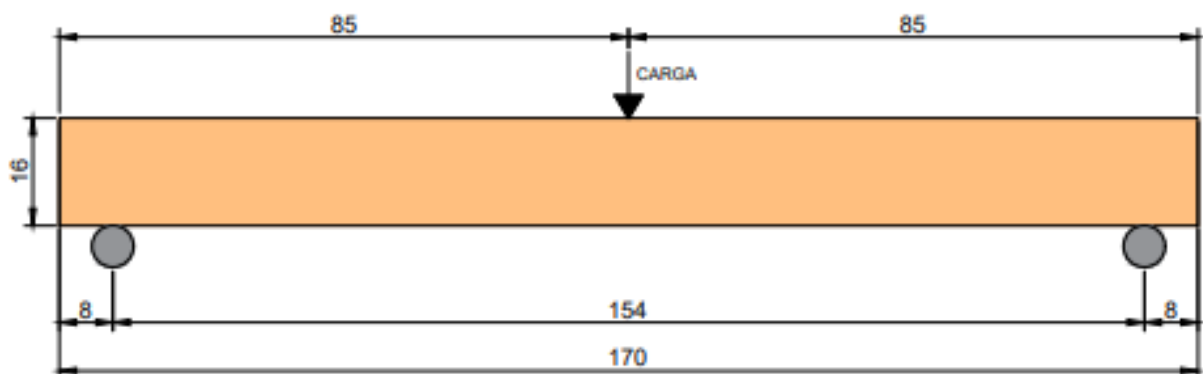
Fonte: os autores.

Os corpos de prova para o ensaio de umidade (três corpos de provas) e o ensaio de compressão paralelas as fibras (três corpos de prova), foram confeccionadas de madeira maciça de acordo com as dimensões da norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

3.5 ENSAIO A FLEXÃO EM TRÊS PONTOS

Após a produção das vigas realizou-se o ensaio a flexão em três pontos, onde terminou-se a resistência máxima das vigas, o ensaio seguiu as normas previstas na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022). As vigas foram colocadas no equipamento prensa, deve-se posicionar a viga sobre dois apoios externos a 8 cm da borda da viga, como na Figura 10 e Fotografia 2 a seguir. Após o posicionamento correto para o ensaio deve-se aplicar uma carga 1000 kgf/min até o rompimento da viga. Posteriormente realizou-se a média aritmética de cada viga, sendo separadas em viga maciça (VM), viga laminada colada (VCI) e viga laminada colada (VCII) e foi feito a comparação da resistência máxima.

Figura 10 – Ensaio a flexão em três pontos – Dimensões (cm)



Fonte: os autores.

Fotografia 2 – Ensaio a flexão em três pontos



Fonte: os autores.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADO

A análise entre a viga de madeira maciça (VM) e as vigas de madeira laminada colada (VCI e VCII) foi dada observando o comportamento da resistência máxima à flexão, teor de umidade da madeira, densidade e o módulo de elasticidade dela.

4.1 TEOR DE UMIDADE

O ensaio do teor de umidade foi realizado a fim de analisar a umidade da madeira utilizada no projeto e classificá-la, o ensaio seguiu as normas previstas na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022). Os dados obtidos durante o processo e cálculo do teor umidade, segundo a Equação 3, estão presentes na Tabela 1 a seguir.

$$U (\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_i – é a massa inicial do corpo de prova, expressa em gramas (g)

M_s – é a massa da madeira do corpo de prova, expressa em gramas (g).

Tabela 1 – Teor de Umidade

Amostra	Massa Úmida – g	Massa seca (6h) – g	Massa seca (12h) – g	Massa seca (18h) – g	Média da massa seca – g	Teor de umidade – %
1	17,409	15,492	15,487	15,474	15,484	12,43
2	16,196	14,439	14,432	14,222	14,364	12,75
3	17,169	15,293	15,279	15,274	15,282	12,35
Média do Teor de Umidade %						12,51

Fonte: os autores.

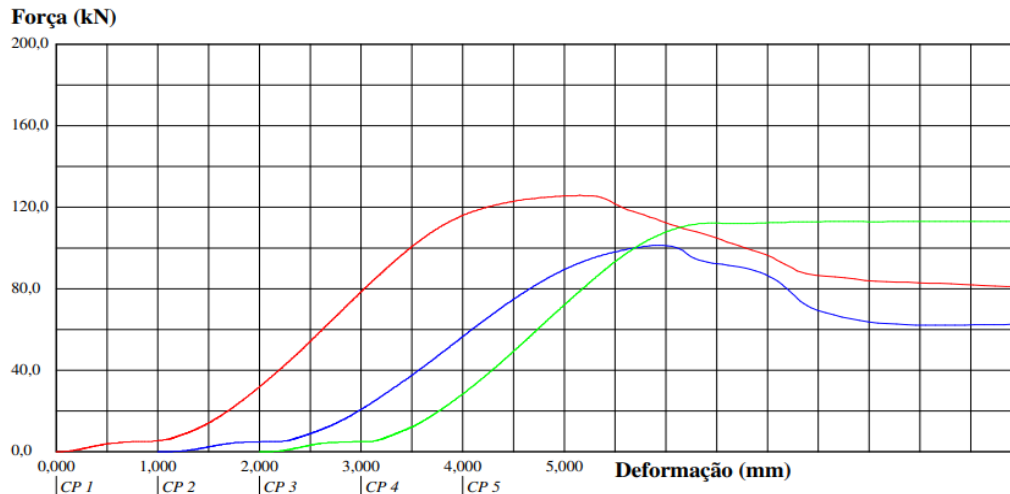
A umidade encontrada durante o período de avaliação dos corpos de prova foi de 12,51% com temperatura ambiente de 27°C e umidade do ar a 40%. Tendo em vista que as condições do ambiente não estavam de acordo com a norma, houve uma variação de 0,51% entre o resultado e o valor considerado ideal por norma de 12%. Analisando os resultados obtidos pode-se concluir que as condições do ambiente e a umidade relativa do ar são responsáveis pela variação dos resultados.

4.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Através do ensaio de compressão paralela as fibras, obteve-se o módulo de elasticidade da madeira utilizada no projeto. O ensaio foi executado de acordo com a norma NBR 7190

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022). Após a conclusão e análise dos dados obtidos durante o ensaio, pode-se calcular o módulo de elasticidade da madeira. Os dados estão apresentados na Tabela 2 e Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 – Resultados – Ensaio de compressão paralelas as fibras



Fonte: os autores.

Tabela 2 – Resultados – Ensaio de compressão paralelas as fibras

CP	$\sigma_{10\%} - N$	$\sigma_{50\%} - N$	$\epsilon_{10\%} - mm$	$\epsilon_{50\%} - mm$	Módulo de Elasticidade – MPa	Média – Módulo de Elasticidade MPa
1	6300	63000	1,02	2,6	35886,076	
2	5520	52500	2,4	3,8	33557,143	34449
3	5500	55000	3,06	4,52	33904,110	

Fonte: os autores.

A densidade da madeira foi calculada de acordo com a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), onde utilizou-se a Equação 4 descrita a seguir e os valores cálculos se encontram na Tabela 3.

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

(4)

Equação 4 – Cálculo da densidade

Onde:

Massa: média aritmética da Massa úmida (g)

Volume: Volume da viga (cm³)

Tabela 3 – Resultado da densidade da madeira

Amostra	Massa úmida (g)	Média da massa úmida (g)	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
1	17,409	16,925	30	0,564
2	16,196			
3	17,169			

Fonte: os autores.

A metodologia aplicada para o ensaio de compressão paralela reta proporcionou uma fácil obtenção de dados, bem como sua análise e utilização dos equipamentos. A deformação calculada será a específica e não a deformação total. O valor do módulo de elasticidade da madeira úmida é maior em relação a madeira seca, atribui-se isso ao fato de que a madeira úmida possui densidade maior. O módulo de elasticidade encontrado foi 34 GPa. encaixando se na classe D70.

4.3 ENSAIO À FLEXÃO EM TRÊS PONTOS

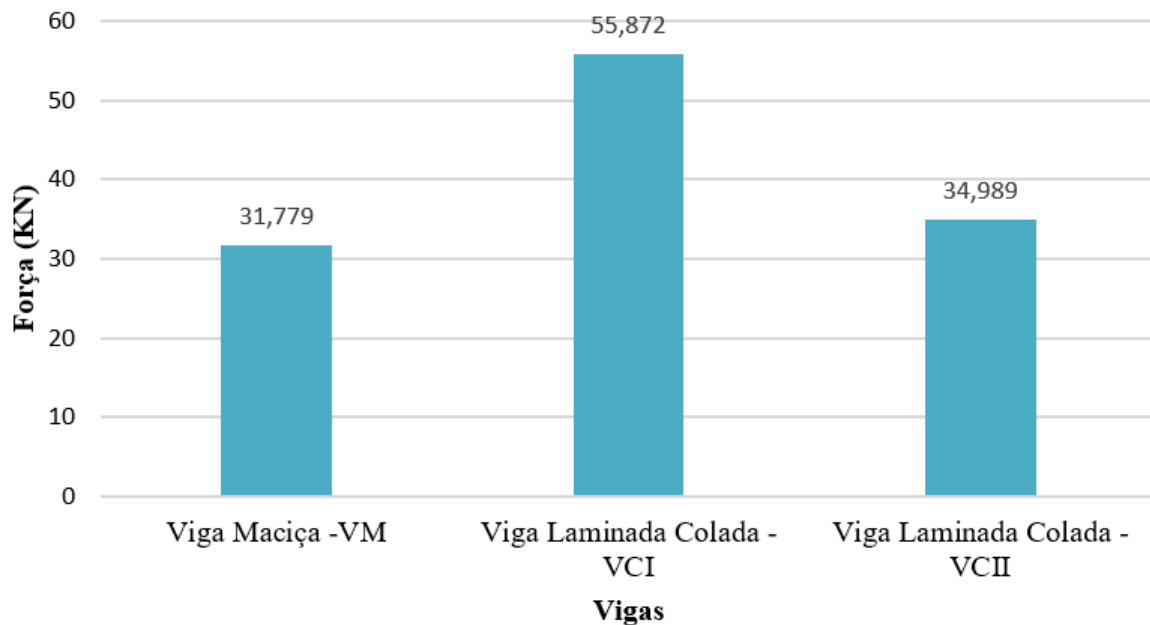
O ensaio de flexão em três pontos foi realizado a fim de analisar a resistência máxima de cada viga (maciça ou laminada colada), o ensaio seguiu as normas previstas na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022). Após a conclusão dos ensaios pode-se determinar a resistência máxima de cada viga (avalizando a média aritmética de cada viga, com suas respectivas amostras), os resultados estão apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 2.

Tabela 4 – Resultados da força aplicada em cada viga

Viga	Amostra	Força (KN)	Força (KN)
Viga Maciça -VM	1	34,288	31,799
	2	33,513	
	3	27,597	
Viga Laminada Colada – VCI	1	55,467	55,872
	2	56,533	
	3	55,617	
Viga Laminada Colada – VCII	1	37,236	34,989
	2	32,065	
	3	35,666	

Fonte: os autores.

Gráfico 2 – Resultados do ensaio a flexão



Fonte: os autores.

Analisando os resultados obtidos no ensaio a flexão, pode-se avaliar que a viga de madeira maciça (VM) foi a que menos suportou carga por ser uma viga rígida e não ter muita flexibilidade acabou sofrendo uma deformação de ruptura, ou seja, a ruptura da viga deu-se no momento que ela parou de resistir aos esforços de flexão (carregamento), ocasionando um quebramento na parte inferior da viga, após o rompimento não teve a tendência de voltar ao estado original por não ser flexível.

Os dados das vigas laminada colada (VCI) observou-se um aumento significativo na resistência da força aplicada, sendo que, a viga de laminada colada (VCI) suportou 24,073 KN à mais, quando comparando com a viga maciça. As vigas sofreram deformação elástica, ou seja, após a retirada da carga elas tenderam a voltar ao seu estado original e deformação de ruptura, porém essa deformação foi quase imperceptível, pois a lâmina que apresentou essa deformação ela só trincou (não chegando romper "fora a fora"). Visto que a viga (VCI) suportou mais carga e consecutivamente obtendo maior resistência, analisou-se que por conta de as lâminas serem de espessuras menores (2 cm), tem a tendência de ser mais flexível ou maleável, sendo assim, a viga se tornou mais resistente, pois, as lâminas obtiveram um aumento na trabalhabilidade entre si e são mais flexível evitando assim o rompimento da viga.

Ao analisarmos os dados das vigas laminada colada (VCII) em relação a viga maciça obteve-se um aumento na força aplicada de 3,21 KN. Apesar de ser uma viga de laminada colada as lâminas foram feitas com espessuras maiores (4cm), sendo assim, as lâminas contêm ainda uma certa rigidez e tem uma trabalhabilidade entre si (lâminas). Após o rompimento das amostras notou-se que ela sofre deformação de ruptura nas lâminas inferiores e deformação elástica ao longo da viga, pois, após retirar a carga aplicada nas lâminas, as que não sofreram rupturas tiveram a tendência de voltar ao seu estado normal/original.

5 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa pode-se observar que as vigas maciças (VM) obtiveram menor carga de ruptura que as vigas laminada colada, ou seja, obtiveram menor resistência a flexão. Constatou que as vigas maciças (VM) sofreram deformação de ruptura, isto é, quando a madeira é mais rígida.

A viga de laminada colada (VCI), que é composta por 8 lâminas de 2 cm, constatou-se ser a mais eficaz em questão de resistência, ou seja, suportou mais carga, pois, como suas peças estruturais (lâminas) são mais esbeltas e maleáveis, com isso, tendem a ter uma melhor trabalhabilidade entre si e serem mais flexíveis quando acontece a aplicação da carga, uma vez que as lâminas trabalham mutualmente (juntas) evitando a deformação de ruptura brusca e de acordo com a análise visuais do ensaio, pode-se notar também que após retirar a aplicação da carga sobre a viga, a mesma teve tendência a voltar ao seu estado original.

Após a análise dos dados das vigas laminada colada (VCII) comparou-se a com as vigas maciças, elas obtiveram uma melhora na sua resistência, porém, como a diferença da força aplicada não foi muito alta, conclui-se que apesar de ser laminada colada, ela apresenta uma certa rigidez, causando a deformação bruta por ruptura.

Sendo assim, conclui-se que a viga laminada colada (VCI) é a melhor opção para desenvolver peças estruturais, pois, demonstra uma maior resistência quando aplicado uma carga sobre a viga, por conta, da sua flexibilidade e boa trabalhabilidade entre as lâminas.

6 AGRADECIMENTOS

Dedicamos este trabalho primeiramente à Stefan Zieher, que nos auxiliou desde o princípio, explicando sobre o laminado colado, como é sua montagem e utilização e espécies de madeira e ao nosso orientador Fabiano por todo conhecimento adquirido na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 2022.

DARIF, Carolina Becker; PLETZ, Everaldo. **Caracterização de madeira laminada colada em diferentes combinações espécie-adesivo**. Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, Foz do Iguaçu.

FREAS, A.D.; SELBO, M.L. **Fabrication and design od glued laminated wood structural members**. Washington: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1954. 225 p. (Technical Bulletin, 1069).

FONTANA, Rafael Duminelli,. **Análise da resistência à flexão das vigas de madeira laminada colada (MLC) com variação das espessuras das lâminas.** Universidade do Extremo Sul Catarinense – Criciúma.

NETO Carlito Calil. **Madeira laminada colada (MLC): Controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo.** Universidade de São Paulo – São Carlos. 2011.

NOGUEIRA, Davi. **A versatilidade da madeira laminada colada.** Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte. 2017.

NOGUEIRA, Rodrigo de Souza, et al. **Estudo comparativo de classe de resistência de vigas de madeira lamelada colada.** Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos – São Carlos.

MATSUNAGA, Dirce Kinue. **Avaliação da utilização de madeira comercial de Pinus taeda I. e da adequabilidade da norma europeia unificada (CEN), à construção de vigas laminadas coladas.** 1995.f. Dissertação (Mestre em Ciências – M.Sc) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: LTC, 5ª edição, 1994.

SZUCS, C.A. **Madeira laminada colada reforçada com fibra de vidro na direção transversal as suas fibras.** In. Encontro Brasileiro de Madeira e de Estruturas de Madeira, são carlos,1992. Anais mehta, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. 671 p.

ZANGIÁCOMO, André; LAHR, Francisco Antonio Rocco. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada.** Universidade Federal de São Paulo, São Carlos. 2003.

