

AVALIAÇÃO DA MADEIRA LAMELADA E COLADA (MLC) DE *Eucalyptus urograndis* PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

EVALUATION OF LAMINATED AND GLUED WOOD (GLULAM) FROM *Eucalyptus urograndis* FOR USE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

OLINDO SAVI¹, JOÃO HENRIQUE FREITAS², ALAN RIZZATO ESPESSATO³, SIDNEI REINA COUTINHO⁴, MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE⁵, ALINE NAIARA ZITO^{6*}

1. Olindo Savi, mestre em Engenharia Urbana, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 2. João Henrique de Freitas, Mestre em engenharia civil, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 3. Alan Rizzato Espessato, Mestre em engenharia civil, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 4. Sidnei Reina Coutinho, Tecnólogo em construção civil, Técnico em laboratório da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 5. Mariana Natale Fiorelli Fabiche, Doutora em engenharia civil, professora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 6. Aline Naiara Zito, mestre em Engenharia Urbana, professora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama.

Avenida Dr. Ângelo Moreira da Fonseca, 1800, Parque Danielle, Umuarama, Paraná, Brasil. CEP: 87506-370. osavi@uem.br

Recebido em 07/11/2025. Aceito para publicação em 05/12/2025

RESUMO

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos e ainda amplamente utilizados na construção civil, sendo aplicada em fôrmas para concretagem, escoramentos, coberturas, revestimentos, forros e pisos. Com a crescente preocupação ambiental, têm-se buscado soluções mais sustentáveis, como a madeira engenheirada, que alia responsabilidade ecológica e inovação. A madeira engenheirada é um processo que melhora o desempenho da madeira por meio da eliminação de falhas e do alinhamento das fibras, resultando em produtos como a Madeira Laminada Colada (MLC), Madeira Microlaminada (LVL) e Madeira Laminada Cruzada (CLT)¹. Para reduzir a extração de florestas nativas, tem-se investido em florestas plantadas com espécies de rápido crescimento, como o Eucalipto *urograndis*, que é uma espécie adaptada ao clima do Paraná, especialmente à região Noroeste. Esse híbrido é utilizado na região para a produção de móveis e nesta pesquisa é estudado para avaliar seu uso como madeira estrutural. Trata-se de eucalipto cultivado em Altônia-PR para produção de MLC, e que é extraído com idade de 12 anos, e o resultado indicou ter densidade aparente de 685,06 kg/m³, resistência à compressão paralela de 47,75 MPa, módulo de elasticidade (MOE) de 18.619 MPa, resistência à flexão (MOR) de 68,43 MPa, tração de 47,73 MPa e cisalhamento de 7,03 MPa, que permitem o enquadramento da madeira na Classe de Resistência D50 pela NBR 7190-1², indicando potencial para uso estrutural na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira engenheirada; Madeira Lamelada Colada; Madeira de reflorestamento; Madeira de Eucalipto *Urograndis*.

ABSTRACT

The wood is one of the oldest building materials and is still widely used in civil construction, being applied in concrete forms, shoring, roofing, cladding, ceilings, and flooring. With

growing environmental concerns, more sustainable solutions have been sought, such as engineered wood, which combines ecological responsibility and innovation. Engineered wood is a process that improves the performance of wood by eliminating flaws and aligning fibers, resulting in products such as Glued Laminated Timber (GULAM), Laminated Veneer Lumber (LVL), and Cross-Laminated Timber (CLT)¹. To reduce the extraction of native forests, investments have been made in planted forests with fast-growing species, such as *Eucalyptus urograndis*, which is a species adapted to the climate of Paraná, especially the Northwest region. This hybrid is used in the region for furniture production and is being studied in this research to evaluate its use as structural wood. This eucalyptus is grown in Altônia-PR for GULAM production and is harvested at 12 years of age. The results indicated an apparent density of 685.06 kg/m³, parallel compression strength of 48.71 MPa, modulus of elasticity (MOE) of 18,619 MPa, flexural strength (MOR) of 68.43 MPa, tensile strength of 47.73 MPa, and shear strength of 7.03 MPa, which allow the wood to be classified as Resistance Class D50 by NBR 7190-1², indicating potential for structural use in civil construction.

KEYWORDS: Engineered wood; Glued laminated timber; Reforested wood; *Eucalyptus Urograndis* wood.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material de construção utilizado pelo homem desde épocas pré-históricas³ como indicam achados arqueológicos em sítios do Sudeste Europeu onde se observaram estruturas de telhados construídos entre 14.600 e 4.500 a.C.⁴.

A madeira também sempre foi utilizada no Brasil para diversas finalidades como construções de residências, pontes, contenção de taludes, construções rurais, na indústria moveleira, entre outras⁵ que além da proteção contra a segurança das edificações tem importante propriedade que é a isolamento térmica³.

Para reduzir a forte pressão sobre a natureza pela extração de árvores naturais tem sido cada vez mais criadas florestas plantadas e bem controladas que se constituem em um dos recursos mais sustentáveis para a área da Construção Civil com extrema importância na aplicação em elementos estruturais sujeitos a esforços de flexão⁶. O Brasil é um país com grande cobertura florestal constituídas por florestas naturais e plantadas correspondentes a 59% de seu território, sendo segundo país com maior área florestal⁷ e que em 2019 correspondia a 496,62 milhões de hectares⁸. A base florestal do Brasil experimenta uma expansão e com perspectivas de crescimento para os próximos anos com tecnologias e processos de inovação incorporados e com um estoque de 1,86 bilhões de toneladas dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) nas florestas produtivas e em florestas naturais de conservação de 3,06 bilhões de toneladas⁹, portanto com prática de uma economia de baixo carbono que ajuda a conservar a biodiversidade e a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e com um forte vetor de descarbonização. A capacidade das florestas plantadas capturarem e armazenarem o carbono da atmosfera, que é um importante indicador do benefício climático, é elevado, sendo que em 2022 as empresas associadas ao IBA⁹ estimam que em 2022 o estoque médio de carbono era de 182,59 toneladas de CO₂eq/hectare, o que demonstra a importância do reflorestamento na produção da madeira.

Entre as espécies de madeira recomendadas para o plantio no Estado do Paraná, destacam-se o *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus grandis*, cuja combinação por meio da hibridização, dá origem ao clone *Eucalyptus urograndis* (*E. urograndis*), considerado uma das melhores combinações híbridas e quando manejado de forma adequada apresenta excelente capacidade de produção de insumos para diversos usos¹⁰. O *E. grandis*, tanto em sua forma pura quanto em cruzamentos, é a espécie mais amplamente utilizada em regiões tropicais, destacando-se pelo crescimento rápido, elevado volume de madeira produzida, baixa quantidade de casca e alta proporção de cerne a parte mais resistente da árvore¹⁰.

As madeiras de reflorestamento como a de eucalipto permite o plantio de árvores com melhorias genéticas, que além do rápido crescimento podem apresentar características mecânicas desejáveis, e uma vez que são extraídas com idade inferior ao das florestas nativas e embora tenham tamanhos na extração compatíveis com aquelas elas apresentam grande proporção de lenho juvenil¹¹ e portanto merecem cuidado especial e a utilização de técnicas de madeira engenheirada poderá recuperar parte da perda das propriedades do lenho juvenil e que possa se comparar as de um lenho adulto.

Para melhorar as propriedades da madeira de reflorestamento o processo de madeira engenheirada é uma forma a ser utilizada, pois pode melhorar o seu potencial deixando-a mais resistente, pois permite a remoção das falhas como trincas, rachaduras e nós e fazer o alinhamento das fibras, e transformando as toras de madeira em tábuas, lâminas ou pequenas partículas que unidas por meio de pregos, cavilhas e colagem

formam um novo tipo de produto, como a Madeira Laminada Colada (MLC) ou em inglês, *Flue Laminated Timber* (*Glulam*) e a Madeira Microlaminada (LVL) ou *Laminated Veneer Lumber* e os painéis como a Madeira Laminada Colada Cruzada (CLT) ou *Cross Laminated Timber*¹.

A MLC é pouco conhecida no Brasil e, portanto, pouco procurada para aplicação na construção civil, não sendo usada em larga escala, embora tenha um conjunto de características e algumas vantagens sobre outros materiais construtivos¹².

A MLC tem potencial mecânico para ser utilizada em grandes vãos, o que a torna superior a madeira natural neste aspecto, além de permitir a produção de peças nos mais diversos formatos e dimensões melhora a resistência mecânica da madeira para esforços de tração, compressão e flexão, o que permite a utilização de peças mais esbeltas, podendo se transformar em um material de excelência e sobre o aspecto ambiental o Brasil tem um grande potencial por ser ter o país um clima apropriado para o plantio, produzindo material de fonte renovável, portanto um processo sustentável¹².

As construções de madeira se apresentam como soluções promissoras para o uso da MLC e tem forte apelo de sustentabilidade pois as árvores provêm de fontes renováveis, como florestas plantadas ou de nativas, que durante o seu crescimento armazena o carbono presente na atmosfera em sua massa, e liberando-o ao término de sua vida útil o que torna um material de baixa emissão de carbono¹³.

O mercado brasileiro de construções com madeira engenheirada ainda é incipiente, principalmente quando comparado ao cenário internacional, que apresenta um mercado destas estruturas em ascensão¹⁴. Apesar do potencial da madeira engenheirada, o Brasil apresenta um número muito baixo de edificações que utilizam essa tecnologia, no entanto, a expansão do uso da madeira engenheirada no país deve ocorrer de forma pensada, lógica e consistente, ajustada aos conceitos de sustentabilidade, que são inerentes a esse material, desenvolvendo estruturas otimizadas, coerentes e adequadas à tecnologia e metodologia construtivas¹⁴.

Apesar do baixo uso da MLC mesmo cidades novas como Umuarama-PR possuem estruturas de grandes vãos feitos em MLC desde a década de 1980, como a estrutura de cobertura da Catedral Divino Espírito Santo, Figura 1.

Em 2018 havia 41 empresas que atuavam no beneficiamento da madeira, na produção de MLC, OSB e Viga I¹⁵. A empresa Crosslam é uma destas empresas e executou a estrutura da Escola Municipal de Educação Infantil Cleide Rosa Auricchio de São Caetano (SP) em MLC apoiada em pilares de concreto armado¹⁴, Figura 2.

A madeira de *E. urophylla* que é uma das madeiras de base para a formação do clone *E. Urograndis* foi ensaiada para verificar sua potencialidade para uso em pisos e se mostrou com características e capacidades que a habilitam ao uso¹⁶.



Figura 1. Aspecto do forro e vigas de madeira lamelada e colada (MLC) da Catedral de Umuarama. **Fonte:** ¹⁷



Figura 2. Aspecto interno da EMEI Cleide Rosa Auricchio em São Caetano (SP). **Fonte:** ¹⁸

Para a utilização e fabricação de produtos pela indústria madeireira, é fundamental o conhecimento detalhado das propriedades físicas e mecânicas da madeira, a fim de aproveitar de forma eficiente essa valiosa matéria-prima na produção de diversos itens¹⁹. Entre essas propriedades, a densidade se destaca por sua importância, pois está diretamente relacionada a outras características, como a flexão estática, o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), apresentando correlação positiva com todas elas¹⁹. Estudos indicam que tanto o MOR quanto o MOE são influenciados pela idade da árvore. Comparações entre madeiras juvenis e tardias revelaram que o MOE pode aumentar até cinco vezes, enquanto o MOR pode triplicar ao longo do desenvolvimento da árvore²⁰.

Estudos realizados com pinheiros também demonstraram que a idade de extração das árvores influencia positivamente os valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) da madeira²¹. No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na densidade nem no módulo de elasticidade à compressão entre as diferentes idades. Resultados semelhantes foram encontrados em análises comparando pinheiros-bravos juvenis e adultos²², nas quais se verificaram fortes correlações entre densidade aparente, MOR e MOE, com coeficientes de determinação (r^2) de 0,84 e 0,90, respectivamente e também foi identificada uma forte correlação entre MOR e MOE, com r^2 de 0,90. Independentemente da idade das árvores ou da taxa de crescimento da madeira, essas relações mantiveram-se consistentes.

O estudo se propõe a avaliar a MLC de *E. urograndis* que é uma espécie plantada na região Noroeste do

Estado do Paraná para produção de biomassa e também utilizado em pequena escala para produção de madeira para fabricação de móveis. É uma espécie que tem crescimento rápido e grande rendimento volumétrico e por isso é importante verificar se apresenta potencial para ser utilizado na Construção Civil como madeira estrutural.

Para comparar as propriedades físicas e mecânicas da MLC serão utilizados os resultados obtidos com a madeira natural da mesma espécie, Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades da madeira natural do *E. urograndis*.

ρ_{ap} ¹ (kg/m ³)	f_{c0} ² (MPa)	E_{c0} ³ (MPa)	f_m ⁴ (MPa)	f_{t0} ⁵ (MPa)	f_v ⁶ (MPa)
635,54	30,06	12813	36,66	39,91	9,20

Nota: ¹ ρ_{ap} : densidade aparente; ² f_{c0} : resistência à compressão paralela às fibras; ³ E_{c0} : módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras; ⁴ f_m : módulo de ruptura (resistência à flexão); ⁵ f_{t0} : resistência à tração paralela às fibras e ⁶ f_v : resistência ao cisalhamento. **Fonte:** ²³.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada na pesquisa é da espécie de *E. urograndis* produzida e comercializada pela empresa Integração Florestal, localizada na Rodovia PR-487, km 5, no município de Altônia-PR, extraída de árvores com 12 anos de idade, cuja MLC foi resultado de colagem usando adesivo *Miltibound* X-080 do fabricante Franklin & Polimers, que é um acetado de polivinila *crosslinking* bicomponente e com prensagem em coladeira de bordas do fabricante Rocafer, que opera em alta frequência, cerca de 6000 Hz, com pressão entre 90 e 100 bars e com permanência sob pressão de 350 a 400 segundos.

As amostras para ensaio foram produzidas em dezembro de 2021, de acordo com as especificações da NBR 7190², 7190-2²⁴ e 7190-4²⁵. Todas as amostras foram devidamente identificadas e numeradas para posterior realização dos ensaios.

Os ensaios foram realizados para a obtenção de densidade aparente, resistência à compressão paralela às fibras, o MOE através dos ensaios de resistência à compressão, resistências à flexão estática, resistência a tração e ao cisalhamento, que foram feitos de acordo com a NBR 7190-1², 7190-2²⁴ e 7190-4²⁵, exceto no ensaio a flexão estática que foi feito de acordo com a NBR 7190¹⁹ uma vez que para esta propriedade houve alteração normativa nas dimensões das peças a ser ensaiadas com a atualização da norma.

Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Materiais de Construção da UEM Campus CTC de Umuarama/PR e de Materiais de Construção da UEM campus Sede, para a obtenção da rigidez.

Teor de umidade

O teor de umidade da madeira foi determinado a partir de testemunhos extraídos dos corpos de prova ensaiados em cada propriedade da madeira, com dimensões e metodologia especificada na NBR 7190-3²⁶. Os testemunhos foram imediatamente acondicionados em sacolas de plástico para a preservação da umidade até o momento de seu ensaio.

Para obtenção dos resultados foi utilizada balança eletrônica Mark 2200, com capacidade até 2,2 kg e com resolução de 10 mg, paquímetro metálico de 300 mm com resolução de 0,05 mm e estufa com temperatura de 103 °C.

Os teores de umidade obtidos de cada propriedade ensaiada foram utilizados para definir os valores para a umidade de equilíbrio de 12%.

Densidade aparente

A densidade aparente na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12% foi determinada de acordo com a NBR 7190-4²⁵ e obtida dos corpos de prova para ensaios de resistência e rigidez paralela às fibras da madeira, com uma amostra composta por 14 elementos, com aferição das massas por balança eletrônica Mark 2200 para até 2,2 kg e resolução de 10 mg e das dimensões por paquímetro metálico de 300 mm com resolução de 0,05 mm.

Resistência à Compressão e de rigidez paralela às fibras

A resistência à compressão para a umidade de ensaio e de equilíbrio de 12% foi obtida de acordo com a NBR 7190-1² e NBR 7190-3²⁶, a partir de ensaios de 14 corpos de prova em prensa EMIC 23-600 com célula de carga para 300 kN, com deformação medida por extensômetros com resolução de 0,0001 mm, Figura 3.



Figura 3. Prensa EMIC 23-600 utilizada nos ensaios de rigidez. **Fonte:** Dos autores.

Resistência à flexão estática



Figura 4. Prensa EMIC 300 com dispositivo para ensaio a flexão estática. **Fonte:** Dos autores.

A resistência à flexão na umidade de ensaio e na de

equilíbrio de 12% foi determinada de acordo com a NBR 7190¹⁹ e 7190-1², obtida pelo ensaio de 30 elementos, utilizando prensa EMIC 300 com célula de carga para 300 kN, adaptada com dispositivo metálico de grande rigidez com apoios com vão de 1,05 m, Figura 4.

Resistência à tração paralela às fibras de madeira

A resistência à tração na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12% foi obtida de acordo com a NBR 7190-1² e 7190-3²⁶, em ensaios com 35 corpos de prova, utilizando prensa EMIC 300 com célula de carga para 300 kN, com dispositivos mecânicos para ensaios de tração, Figura 5.



Figura 5. Prensa EMIC 300 com dispositivo para ensaio de tração. **Fonte:** Dos autores.

Resistência ao cisalhamento paralela as fibras da madeira

A resistência ao cisalhamento paralela às fibras na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12% foi obtida de acordo com a NBR 7190-1² e 7190-3²⁶, em ensaio de 15 corpos de prova utilizando prensa EMIC 300, com célula de carga de 300 kN com dispositivo apropriado para este ensaio, Figura 6.



Figura 6. Dispositivo acoplado a prensa EMIC 300 para ensaio de cisalhamento. **Fonte:** Dos autores.

Resistência ao cisalhamento na linha de cola

A resistência ao cisalhamento na linha de cola foi obtida de acordo com a NBR 7190-1² e 7190-6²⁰, em ensaio de 27 corpos de prova, com o mesmo

equipamento utilizado para resistência ao cisalhamento paralela às fibras.

Análise estatística

Por se tratar de MLC de lâminas de madeira de reflorestamento de *E. urograndis* que são extraídas de árvores com idade de 12 anos, e portanto pequenos diâmetros, cerca de 30 a 40 centímetros, há uma grande variabilidade da madeira na composição de peças extraídas da região do cerne e outras da região do albúrnio, o que apresenta grande amplitude nos resultados e, portanto, a amostra foi analisada quanto a presença de dados discrepantes, utilizando para isso o diagrama de caixa *boxplot*²⁷.

Para o tratamento estatístico foram utilizadas as médias aritméticas, desvios padrões e amplitudes pela estatística descritiva²⁸.

Para estimar os valores mínimos e máximos dos resultados para um determinado nível de significância será utilizada a distribuição "t" de Student uma vez que serão feitas análises de pequenas amostras (≤ 30 elementos)²⁸.

Para a determinação da resistência característica a metodologia definida pela NBR 7190-1².

Análise comparativa com outras madeiras

Para avaliar as propriedades da MLC, elas serão comparadas com outras madeiras utilizadas no Estado do Paraná para construção de edificações, Tabela 2, com a umidade da madeira ajustada para 12% e as unidades de medida convertidas para o SI.

Tabela 2. Propriedades físicas e mecânicas da Peroba rosa, Canafistula, Canjerana e Pinho.

Propriedades	Peroba ²	Canafistula ¹	Canjerana ²	Pinho ¹
Densidade aparente (ρ_{ap}) - kg/m ³	778	858	660	571
Resis. compressão (f_{c0}) - MPa	56,0	53,6	52,5	42,1
Mód. elasticidade axial (E_{c0}) - MPa	11739	14.613	11376	15.225
Resistência a flexão (f_{m0}) - MPa	106,9	84,9	90,4	93,1
Mód. elasticidade flexão (E_{m0}) - MPa	9247	-	9375	-
Resistência ao cisalhamento (f_{v0})	11,9	11,1	10,5	8,8
Tração paralela às fibras (f_{t0})	-	87,4	-	95,8

Nota: ¹Valores médios; E_{c0} , E_{m0} , f_v , e f_{t0} para madeira verde, sendo que as propriedades se referem a resistência limite. **Fonte:** ¹NBR 7190¹⁹; ²Fonte: ²⁹.

3. RESULTADOS

A produção da MLC na de *E. urograndis* é particularmente importante pois se trata de uma espécie de madeira que se destaca pelo rápido crescimento, produz um grande volume de massa, tem boa qualidade e é uma madeira valorizada. Neste aspecto, é uma madeira que garante ganhos econômicos porque aceleram o processo de produção, no entanto, por ser

extraída numa idade juvenil as árvores no momento do corte possuem pequenos diâmetros, da ordem de 30 a 40 centímetros, e por isso no desdobro resultam em peças de pequenas dimensões, além do que, a madeira do *E. urograndis* é bastante estressada e as peças longas em pequeno período de tempo tendem a se deformarem por torção, arqueamento e encurvamento, e observações feitas em um período ligeiramente inferior a um ano mostra que na colagem a madeira apresenta uma certa estabilidade dimensional, Figura 7, com encurvamento máximo de 2 mm e arqueamento máximo de 4 mm em peças com 1,15 m de comprimento.

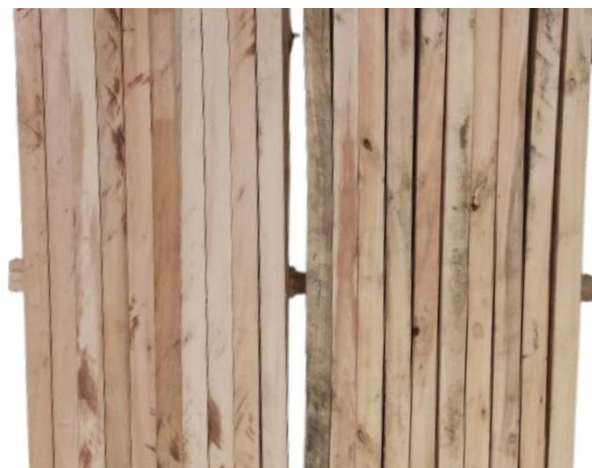


Figura 7. Comparativo entre dois lotes de madeira de *E. urograndis*: esquerda MLC e direita madeira natural. Se observa que a MLC apresenta estabilidade dimensional, pouca distorção, enquanto a natural sofre deformações importantes. **Fonte:** dos autores.

Além disso, por ser uma espécie que se adapta bem no Brasil e no Estado do Paraná¹⁰ pode se tornar um produto atrativo economicamente para uso na Construção Civil, pois no processo da produção da MLC é possível a fabricação de peças com maiores dimensões e que podem vencer grandes vãos. Além disso, a madeira engenheirada permite a utilização das peças que no desdobro apresentem pequenas dimensões, da ordem de 2 a 3 cm de largura e espessura, que podem ser coladas entre si para formar as lâminas que irão compor a MLC.

A MLC avaliada neste trabalho é produzida em escala comercial pela empresa Integração Florestal, para indústrias moveleiras, Figura 8 e que se objetiva a verificação da potencialidade da mesma ser utilizada na Construção Civil como madeira estrutural.

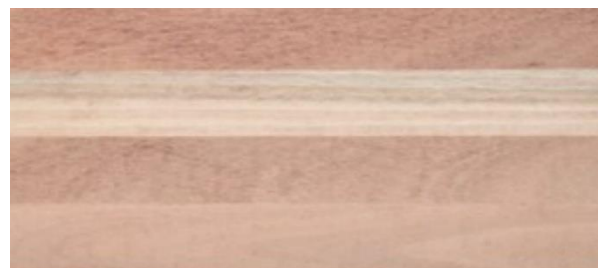


Figura 8. Aspecto da MLC produzida a partir da madeira de *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

Os corpos de prova foram extraídos a partir da madeira comercial, com as dimensões necessárias para a tender as especificações normativas o que resultou em

peças com lâminas que apresentam alguma variação nas espessuras, Figura 9.



Figura 9. Face de testemunho para ensaio com 3 lamelas de MLC de *E. urograndis*. Fonte: Dos autores.



Figura 10.- Textura da MLC de *E. urograndis*: imagem obtida em microscópio com capacidade de ampliação de 1600x que mostra a rugosidade da face da madeira. **Fonte:** Dos autores.



Figura 11. Imagem ampliada em lupa com capacidade de aumento de 40x, onde é possível observar a linha de cola da MLC. **Fonte:** dos autores

A MLC de *E. urograndis* apresenta boa trabalhabilidade, possui textura que varia de fina a média, Figura 10, aspecto pouco brilhante e com a grã

direita. A coloração diversa, com as madeiras da região central da tora com tons que variam do rosado, salmão claro e marrom, observável na Figura 9 em sua região central, e com tons que variam do amarelo pardo para o marrom, bege ou palha, como se observa nas bordas superior e inferior da Figura 9.

Talvez por ser feita com lamelas finas, da ordem de 2 cm, a linha de cola é bem definida e regular, conforme mostra a imagem obtida em uma lupa com capacidade de ampliação de 40x, Figura 11.

Os corpos de prova produzidos na sede da empresa Integração Florestal, de acordo com a NBR 7190-1² e NBR 7190-2²⁴ e foram transportados e armazenados no Laboratório de Materiais da UEM-CTC por cerca de 12, guardados em ambiente protegido das intempéries e sem contato direto com a insolação, solo ou pisos.

Durante o período em que permaneceu armazenada, não foi observado qualquer vestígio de ataques de organismos xilófagos.

Densidade aparente (ρ_{ap})

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de densidade aparente da MLC de *E. urograndis* de 14 corpos de prova.

A análise feita pelo diagrama de caixa *boxplot* não indicou a presença de qualquer elemento discrepante na amostra.

A densidade aparente da MLC de *E. urograndis* para corrigida para a umidade de equilíbrio de 12% apresentou valor médio ($\rho_{ap,méd}$) de 638,67 kg/m³, com desvio padrão de 11,16 kg/m³, valor mínimo ($\rho_{ap,min}$) de 618,32 kg/m³, valor máximo de 659,97 kg/m³, amplitude de 41,65 kg/m³ e coeficiente de variação de 1,7%.

O valor característico da densidade aparente da MLC de *E. urograndis* de acordo com a NBR 7190-3²⁶ é de 685,06 kg/m³. Por esta propriedade a MLC de *E. urograndis* se enquadra na Classe de resistência D50².

Tabela 3. Resultado dos ensaios de densidade aparente da MLC de *E. urograndis*.

CP	Dimensões			Massa (g)	ρ_{ap} (kg/m ³)	Umidade (%)	ρ_{ap12} (kg/m ³)
	B (mm)	H (mm)	L (mm)				
1	51,5	49,4	149,8	246,83	647,67	13,13	644,01
2	52,1	49,5	149,2	249,43	648,24	13,24	644,22
3	52,0	51,0	149,0	250,73	634,52	12,74	632,17
4	51,1	50,5	149,3	243,78	632,74	13,36	628,44
5	50,8	49,1	149,5	237,76	637,61	13,09	634,14
6	50,8	49,0	149,5	238,70	641,43	13,15	637,74
7	50,8	49,4	149,5	236,83	631,26	12,92	628,36
8	51,3	49,7	149,5	237,44	622,93	13,48	618,32
9	50,7	49,3	149,8	240,13	641,33	13,66	636,01
10	51,6	49,6	149,6	248,52	649,08	13,81	643,21
11	51,8	49,5	149,3	254,25	664,15	13,26	659,97
12	51,3	49,4	149,5	251,14	662,87	13,53	657,80
13	50,8	49,6	149,5	240,71	639,01	13,27	634,95
14	51,4	49,3	150,1	245,18	644,61	12,82	641,97

Fonte: Dos autores.

A densidade aparente da MLC é 7,8% superior à da madeira natural da mesma espécie, Tabela 1²³.

Quando se compara a densidade aparente média

(638,67 kg/m³) com as das madeiras utilizadas para construção no Estado do Paraná, se verifica que ela é superior a madeira de Pinus e inferior a da Peroba, Canafistula e Canjerana^{19,29}. Também é menor do que as obtidas em pesquisas com madeira de *E. urograndis* selecionadas³⁰, de 761 kg/m³ e 782 kg/m³, mas neste caso há que se considerar que por ser de madeira selecionada se trata de peças extraídas do cerne da árvore.

Resistência à Compressão paralela às fibras da madeira (f_{c0})

Os valores da resistência à compressão paralela às fibras da MLC de *E. urograndis* foram obtidos através do ensaio de 14 corpos de prova onde se verificou umidade com teor médio de 12,57% e os resultados apresentados na Tabela 4, onde é informada também as resistências à compressão obtidas em cada elemento amostral na umidade de ensaio e corrigidos para a umidade de equilíbrio de 12%.

Tabela 4. Resultado dos ensaios de compressão paralela às fibras e as resistências obtidas da MLC de *E. urograndis*.

CP	B (mm)	H (mm)	F (kN)	f_{c0} (MPa)	Umidade (%)	f_{12} (MPa)
1	51,0	51,0	146,24	56,23	12,37	56,85
2	50,0	51,0	143,28	56,19	12,57	57,15
3	51,0	49,0	116,48	46,61	12,81	47,74
4	51,0	49,5	117,27	46,45	12,39	46,99
5	50,7	49,5	125,71	50,09	12,53	50,89
6	51,4	49,4	119,94	47,24	12,46	47,89
7	51,3	49,7	118,91	46,64	12,10	46,78
8	51,2	49,0	137,82	54,94	12,58	55,90
9	50,0	51,5	141,75	55,05	12,60	56,04
10	51,5	50,0	139,95	54,35	12,89	55,80
11	49,0	51,2	136,99	54,61	12,68	55,72
12	51,5	49,6	118,63	46,44	12,70	47,42
13	52,5	50,0	117,58	44,79	12,95	46,07
14	50,0	51,4	141,72	55,15	12,39	55,80

Nota: Elemento 6 (destaque) com características de elemento discrepante. **Fonte:** Dos autores.

Nenhum dos 14 elementos ensaiados apresentou características de dado discrepante na análise feita pelo diagrama de caixa *boxplot* e assim, todos foram considerados do tratamento estatístico.

A MLC de *E. urograndis* apresentou na umidade de equilíbrio de 12%, o valor médio da resistência à compressão paralela às fibras da madeira ($f_{c0,méd}$) é de 51,93 MPa, desvio padrão de 4,55 MPa, valor mínimo ($f_{c0,min}$) de 46,07 MPa, valor máximo ($f_{c0,máx}$) de 57,15 MPa, amplitude de 11,08 MPa e coeficiente de variação de 8,8%.

A um nível de significância de 95% e na umidade de equilíbrio de 12% os valores esperados para a resistência à compressão da MLC paralela às fibras devem estar compreendidos no intervalo de 51,54 MPa e 52,32 MPa.

A resistência característica à compressão paralela às fibras da MLC ($f_{c0,k}$) é de 47,75 MPa.

O valor da resistência à compressão paralela às fibras da MLC de *E. urograndis* é 58,9% superior ao da madeira natural da mesma espécie (30,06 MPa), Tabela

1²³. O valor é compatível com o observado para o *E. grandis* para madeira com umidade de 15% (42,1 MPa). A resistência à compressão paralela às fibras (47,75 MPa) é menor do que foi observada em pesquisa de madeira selecionada de mesma espécie³⁰, de 58,4 MPa e 67,1 MPa, no entanto, há que se considerar que estas são extraídas do cerne das árvores enquanto que a ensaiadas nesta pesquisa não são de madeiras classificadas.

Por esta propriedade, a MLC de *E. urograndis* se enquadra na Classe de resistência D70².

As peças da MLC apresentam um padrão mais homogêneo do que o da madeira natural, apresentando um coeficiente de 8,8% enquanto que na madeira natural da mesma espécie este foi de 20,7%²³. Este comportamento pode ser explicado pela forma de produção da MLC onde mesmo com as lamelas sendo formadas de forma aleatória, em uma mesma peça mesclam madeiras extraídas da região central das toras (cerne) com as de regiões mais periféricas (alburno) formando um produto mais equilibrado e resistente, enquanto que na madeira natural, os valores são mais dispersos porque algumas peças ensaiadas tiveram origem no cerne enquanto outras tiveram origem no alburno. Outros autores também observaram que a MLC permite melhorar a resistência mecânica da madeira¹².

MOE na compressão paralela às fibras da madeira (E_{c0})

O módulo de elasticidade (MOE) na compressão paralela às fibras da MLC de *E. urograndis* é resultado do ensaio de 14 corpos de prova, cujos resultados indicaram apresentar teor de umidade médio de 13,25% e os valores da Tabela 5.

Tabela 5. Módulo de elasticidade (MOE) na compressão da madeira de *E. urograndis*.

CP	f_{c0} (MPa)	$\epsilon_{50\%}$	$\epsilon_{10\%}$	E_{c0} (MPa)	Umidade (%)	E_{12} (MPa)
1	46,88	0,13700	0,02777	17167	13,13	17555
2	52,99	0,11820	0,01780	21112	13,24	21636
3	44,39	0,09525	0,01491	22102	12,74	22429
4	49,02	0,03900	0,00810	63456	13,36	65182
5	49,04	0,13160	0,02380	18197	13,09	18594
6	24,85	0,11800	0,02858	9422	13,15	9639
7	45,89	0,12751	0,02258	17493	12,92	17815
8	42,74	0,19127	0,03902	11228	13,48	11560
9	49,90	0,11320	0,01426	20174	13,66	20844
10	47,78	0,12432	0,02358	18972	13,81	19659
11	47,05	0,14092	0,02756	16601	13,26	17019
12	48,14	0,13510	0,02264	17123	13,53	17647
13	48,62	0,14040	0,02524	16888	13,27	17317
14	45,92	0,12190	0,01731	17561	12,82	17849

Nota: Elementos 4, 6 e 8 (destaque) com características de elemento discrepante. **Fonte:** Dos autores.

A análise feita pelo diagrama de caixa *boxplot* indicou que os elementos amostrais 4, 6 e 8 (destaque na Tabela 5) apresentaram características de elementos discrepantes ou possíveis *outliers* e foram desconsiderados no tratamento estatístico.

O tratamento estatístico feito com uma amostra saneada de 11 elementos, indicou para a umidade de

equilíbrio de 12%²⁴ o módulo de elasticidade (MOE) na compressão médio ($E_{12,méd}$) da MLC passa a ser de 18942 MPa, desvio padrão de 1899 MPa, valor mínimo ($E_{12,min}$) de 17019 MPa, valor máximo ($E_{12,máx}$) de 22429 MPa, amplitude de 5410 MPa e coeficiente de variação de 10,0%. O intervalo de valores esperados para o módulo de elasticidade na compressão da MLC para umidade de 12%, ao nível de significância de 95%, é entre 17666 MPa e 20218 MPa.

O módulo de elasticidade característico na compressão ($E_{c,k}$) da MLC de *E. urograndis* é de 18649 MPa.

Quando comparado com a madeira em seu estado natural da mesma espécie (10215 MPa)²³ se observa um aumento na rigidez na MLC da ordem de 83%, mostrando que a MLC aumenta as propriedades mecânicas da madeira.

O módulo de elasticidade na compressão ($E_{c,k}$) da MLC de *E. urograndis* (18942 MPa) caracteriza como de Classe de resistência D70²⁶.

O MOE da MLC de *E. urograndis* é superior aos das madeiras amplamente utilizadas em edificações de madeira no Estado do Paraná Tabela 2^{19,29}.

MOR - Resistência à flexão estática (f_m)

A MLC de *E. urograndis* ficou armazenada pelo período de 12 meses antes da realização dos ensaios, nos quais pode-se observar que as peças apresentaram um encurvamento máximo de 2 mm e arqueamento máximo de 4 mm, e neste período não foi observado resíduos, furos ou túneis na madeira que indicassem o ataque de organismos xilófagos.

A madeira foi ensaiada a partir de uma amostra composta por 30 corpos de prova com vão entre apoios de 1,05 m¹⁹ e com um teor de umidade aferido de 14,72% utilizando prensa Emic 300 com célula de carga para 300 kN adaptada com dispositivo para ensaio de flexão estática (Figura 4).

Nos ensaios se observou que de forma geral a ruptura ocorreu na lamela inferior e na proximidade da linha de cola, sendo que de forma geral não houve o rompimento na interface e em uma peça, houve o rompimento parcial na linha de cola e em parte na madeira, neste caso, pela coloração da madeira vê-se que se tratava de uma peça onde a ruptura ocorreu na região da madeira mais juvenil, Figura 12.



Figura 12. Recorte de imagem no ponto de ruptura da madeira de MLC ensaiada a flexão. **Fonte:** Dos autores.

A Tabela 6 apresenta as dimensões das seções transversais dos elementos ensaiados, a força de ruptura e o MOR na umidade de ensaio e a de equilíbrio.

Tabela 2. Seção transversal, força de ruptura e resistência a flexão (MOR) da MLC de *E. urograndis* na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12%.

CP	Seção transversal		Força de ruptura (N)	f_m (MPa)	Umidade (%)	$f_{m,12}$ (MPa)
	B (cm)	H (cm)				
1	4,9	5,0	5.465,15	70,27	14,08	74,65
2	4,9	5,0	6.780,17	87,17	14,76	94,39
3	4,9	5,1	6.415,45	79,28	13,39	82,59
4	5,0	5,1	6.242,65	75,60	13,57	79,16
5	4,9	5,1	5.426,90	67,07	13,81	70,71
6	4,9	5,2	6.799,39	80,83	14,97	88,03
7	5,0	5,2	3.555,33	41,42	14,60	44,65
8	5,0	5,0	6.703,38	84,46	15,11	92,34
9	4,9	5,0	5.234,88	67,31	14,39	72,14
10	5,0	5,0	5.810,75	73,22	14,20	78,05
11	4,9	5,0	5.206,14	66,94	14,16	71,28
12	5,0	5,0	5.292,54	66,69	14,31	71,31
13	5,0	5,0	6.213,81	78,29	15,03	85,41
14	5,0	5,0	6.290,70	79,26	14,66	85,58
15	5,0	5,0	4.313,61	54,35	14,54	58,49
16	5,0	5,0	6.943,26	87,49	14,27	93,45
17	5,0	5,1	5.474,86	67,62	14,95	73,60
18	5,0	5,1	7.384,77	89,43	15,30	98,28
19	5,0	5,0	5.484,47	69,10	16,07	77,54
20	5,0	5,0	6.194,69	78,05	11,19	76,15
21	4,9	5,1	6.137,12	75,84	13,82	79,98
22	4,9	5,1	5.110,13	63,15	15,88	70,50
23	4,9	5,0	5.589,99	71,87	16,89	82,41
24	5,0	5,2	5.580,48	65,01	15,08	71,02
25	5,0	5,1	5.225,37	63,28	15,22	69,39
26	5,0	5,1	5.158,09	62,47	14,13	66,46
27	5,0	5,1	4.620,67	55,96	15,69	62,15
28	4,9	5,1	5.484,47	67,78	17,42	78,80
29	5,0	5,2	5.398,17	62,89	14,52	67,64
30	4,9	5,1	6.674,55	82,48	15,60	91,39

Nota: O elemento amostral 7 (destaque) apresentou características de elemento discrepante. **Fonte:** Dos autores.

A análise pelo diagrama de caixa *boxplot* indicou que o elemento amostral 7 (Tabela 6) apresentou característica discrepante (*outlier*) e foi desconsiderado no tratamento estatístico. Os 29 elementos foram tratados estatisticamente²⁸ e para a umidade de equilíbrio de 12%, a resistência à flexão estática (MOR) da MLC de *E. Grandis* ($f_{m,méd}$) média é de 78,03 MPa, desvio padrão de 10,05 MPa, valor mínimo ($f_{m,min}$) de 58,49 MPa, valor máximo ($f_{m,máx}$) de 98,28 MPa, amplitude de 39,79 MPa e coeficiente de variação de 12,9%. Para um nível de significância de 95% a resistência a flexão da MLC de *E. urograndis* está contida na faixa de 74,21 MPa e 81,85 MPa.

A resistência característica à flexão estática (MOR) da MLC de *E. urograndis* na umidade de equilíbrio de 12% é de 68,43 MPa²⁶ e por esta propriedade a madeira é de Classe de Resistência D60².

A resistência à flexão estática (MOR) da MLC de *E. urograndis* (68,43 MPa) é 86,7% superior ao da madeira natural da mesma espécie (36,66 MPa)²³ e de pesquisa realizada com madeira da mesma espécie selecionada de peças extraídas do cerne da árvore³⁰, de 54,5 MPa e 63,9 MPa, ensaiadas em escala real e é ligeiramente inferior à obtida em pesquisas, de 75,6 MPa³¹ e de 75,7 Mpa³².

Resistência à tração paralela às fibras da madeira (f_{t0})

A resistência à tração da MLC de *E. urograndis* é resultado do ensaio de 35 corpos de prova, feito com a utilização de prensa EMIC, com célula de carga para 300 kN, com umidade aferida da madeira de 14,17%.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos ensaios e as resistências na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12%.

Tabela 3. Resultado dos ensaios a resistência à tração da MLC de *E. urograndis* e as resistências na umidade de ensaio e de equilíbrio de 12%.

CP	Dimensões		Força de ruptura (N)	$f_{t,0}$ (MPa)	Umidade (%)	$f_{t,12}$ (MPa)
	B (cm)	E (cm)				
1	5,0	0,7	18.389,20	52,54	14,29	56,15
2	5,0	0,7	13.120,10	37,49	13,81	39,53
3	5,0	0,7	18.552,39	53,01	14,43	56,87
4	5,0	0,8	19.876,93	49,69	14,03	52,72
5	5,0	0,7	20.376,00	58,22	14,55	62,67
6	5,0	0,7	18.149,32	51,86	14,06	55,06
7	5,0	0,7	25.875,48	73,93	13,51	77,28
8	5,0	0,7	19.521,81	55,78	14,20	59,46
9	5,0	0,7	25.443,58	72,70	14,16	77,41
10	5,0	0,7	20.759,85	59,31	14,47	63,70
11	5,0	0,7	22.861,78	65,32	13,88	69,00
12	5,0	0,7	17.794,21	50,84	14,35	54,42
13	5,0	0,7	25.146,03	71,85	13,75	75,62
14	5,0	0,7	13.264,07	37,90	13,80	39,95
15	5,0	0,7	10.883,81	31,10	14,00	32,97
16	5,0	0,8	22.756,16	56,89	14,00	60,30
17	5,0	0,7	20.183,98	57,67	14,19	61,46
18	4,9	0,7	17.074,38	49,78	14,09	52,90
19	5,0	0,8	19.771,30	52,72	14,44	56,58
20	5,0	0,7	22.372,32	63,92	14,62	68,94
21	4,9	0,8	22.794,61	58,15	14,68	62,83
22	4,9	0,8	21.364,55	54,50	14,40	58,42
23	5,0	0,8	16.076,22	40,19	13,85	42,42
24	4,9	0,7	17.727,04	51,68	13,80	54,47
25	5,0	0,7	11.267,75	32,52	14,91	35,36
26	5,0	0,8	24.349,41	64,93	14,26	69,33
27	5,0	0,9	25.347,56	59,64	14,12	63,43
28	5,0	0,8	24.483,76	65,29	14,47	70,13
29	5,0	0,8	23.619,96	59,05	13,60	61,88
30	5,0	0,7	16.306,49	46,59	14,03	49,43
31	4,9	0,8	19.118,75	52,02	14,16	55,39
32	4,9	0,7	21.585,31	62,93	14,09	66,88
33	4,9	0,8	17.343,09	44,24	14,15	47,09
34	5,0	0,7	21.182,14	57,83	14,59	62,32
35	4,9	0,8	22.487,45	60,69	14,34	64,95

Nota: Os elementos amostrais 15 e 25 (destaque) apresentaram características de elementos discrepantes. **Fonte:** Dos autores.

Na análise feita pelo diagrama de caixa *boxplot* os corpos de prova 15 e 25 apresentaram características de elementos discrepantes e foram considerados como *outliers* e desconsiderados no tratamento estatístico.

Para a umidade de equilíbrio de 12% a resistência à tração paralela às fibras média ($f_{t,0\text{méd}}$) da MLC de *E. urograndis* é de 59,67 MPa, desvio padrão de 9,64 MPa, valor mínimo ($f_{t,0\text{mín}}$) de 39,53 MPa, valor máximo ($f_{t,0\text{máx}}$) de 77,41 MPa, amplitude de 37,88 MPa e coeficiente de variação de 16,2%. Ao nível de

significância de 95% e para a umidade de equilíbrio de 12% a resistência à tração paralela às fibras da MLC de *E. urograndis* encontra-se no intervalo de 56,25 MPa e 63,09 MPa.

A resistência à tração característica da MLC de *E. urograndis* na umidade de 12% é de 47,73 MPa.

O valor é 21,4% superior ao da madeira natural da mesma espécie (39,31 MPa, Tabela 1²³). É inferior também à das madeiras de Canafístula e Pinho¹⁹.

Por esta propriedade a MLC de *E. urograndis* é de Classe de resistência D70².

Resistência ao cisalhamento paralela às fibras da madeira ($f_{v,0}$)

Para a obtenção da resistência ao cisalhamento da MLC de *E. urograndis*, foram ensaiados 15 corpos de prova, produzidos com a linha de cisalhamento normal à linha de cola, ou seja, para avaliar a resistência ao cisalhamento paralela às fibras²⁶.

Os resultados foram obtidos para a umidade aferida de 13,91% com ensaio realizado com prensa EMIC-300 com um dispositivo adequado para realização do ensaio acoplado ao equipamento, cujos resultados são apresentados na Tabela 8, inclusive a resistência obtida na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12%. Não foram observados elementos discrepantes na amostra pela análise do diagrama de caixa *boxplot*.

Tabela 8. Resultado dos ensaios de resistência ao cisalhamento da MLC do *E. urograndis* e das resistências na umidade de ensaio e de equilíbrio.

CP	Dimensões		Força de ruptura (N)	$f_{v,0}$ (MPa)	Umidade (%)	$f_{v,0,12}$ (MPa)
	b (cm)	h (cm)				
1	3,20	4,90	15.922,65	10,15	13,96	10,75
2	3,20	4,90	19.867,31	12,67	13,79	13,35
3	3,20	4,80	15.116,41	9,84	13,73	10,35
4	3,20	4,80	15.788,29	10,28	13,77	10,83
5	3,20	4,87	21.201,36	13,60	14,11	14,46
6	3,20	4,90	17.323,87	11,05	13,75	11,63
7	3,20	4,93	19.301,06	12,23	13,77	12,88
8	3,20	4,90	11.248,53	7,17	13,83	7,56
9	3,20	4,90	10.797,41	6,89	14,15	7,33
10	3,20	4,95	16.949,54	10,70	14,35	11,45
11	3,20	4,90	8.753,14	5,58	13,39	5,81
12	3,20	4,94	14.377,36	9,09	13,73	9,56
13	3,20	4,90	12.265,03	7,82	13,64	8,20
14	3,20	4,90	12.592,19	8,03	14,82	8,71
15	3,20	4,86	11.354,15	7,30	13,86	7,71

Fonte: Dos autores.

A resistência média ao cisalhamento da MLC de *E. urograndis* paralela às fibras para a umidade de equilíbrio de 12% ($f_{v,0\text{méd}}$) é de 10,04 MPa, desvio padrão de 2,49 MPa, valor mínimo ($f_{v,0\text{mín}}$) de 5,81 MPa, valor máximo ($f_{v,0\text{máx}}$) de 14,46 MPa, amplitude de 8,65 MPa e coeficiente de variação de 24,8%. Para um nível de significância de 95% e umidade de equilíbrio de 12% a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da MLC de *E. urograndis* deve estar entre 8,66 MPa e 11,42 MPa.

A resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras da MLC de *E. urograndis* de 7,03 MPa, e indica que por esta propriedade a MLC de *E. urograndis* é de

Classe de resistência D70².

O valor obtido é 23,6% inferior ao da madeira natural da mesma espécie (9,20 MPa, Tabela 1²¹).

Entre as propriedades avaliadas, a MLC de *E. urograndis* apenas apresentou resultados inferiores aos da madeira natural para a resistência ao cisalhamento, no entanto, quando comparados os valores médios desta propriedade verifica-se que a MLC apresentou $f_{v,med}$ de 10,04 MPa, ligeiramente maior, 0,5% superior ao obtido para a madeira natural (9,99 MPa²³).

Ao se analisar a distribuição normal pela regra empírica³³ onde a distribuição é considerada normal quando aproximadamente 68% dos escores padronizados dos elementos amostrais estejam contidos entre -1σ e $+1\sigma$, aproximadamente 95% estejam entre -2σ e $+2\sigma$ e aproximadamente 99,7% estejam entre -3σ e $+3\sigma$ é possível observar que a distribuição dos escores padronizados da MLC é de {40%; 53%; 73%} enquanto os da madeira natural²³ é de {62%; 85%; 100%}, portanto, a MLC possui 27% dos escores acima de 3σ , não apresentando qualquer aproximação com a curva normal com se observa na madeira natural o que também se observa na amplitude de valores, onde para a MLC foi de 24,8% e para a madeira natural 9,2%²³.

No gráfico de caixas (*boxplot*) da Figura 13, com a mesma escala de valores é possível observar a grande dispersão dos dados na MLC e das amplitudes, quando comparado com a madeira natural.

Este fenômeno foi observado também em estudos sobre a resistência ao cisalhamento na flexão da madeira de faia-europeia que mostraram que estatisticamente que a madeira do cerne não influenciaram de forma significativa na resistência das vigas laminadas³⁴, o que se infere que nos ensaios realizados a resistência ao cisalhamento é definida pela peça de menor resistência entre as lamelas que a compõem e quando a lamela de menor resistência atinge o limite de ruptura faz com que as outras se rompam em cascata pelo aumento da tensão causada pela redução da seção resistente após a ruptura da primeira peça, que no caso da madeira ensaiada, pode representar cerca de 2/3 da seção inicial.

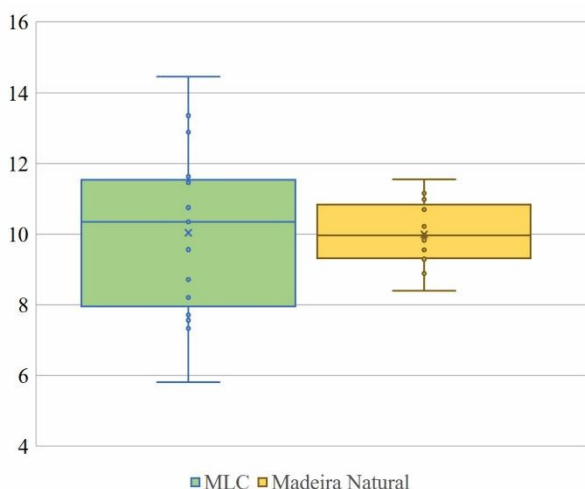


Figura 13. Gráfico de caixa (*boxplot*) das amostras de MLC e madeira natural do *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

Além disso, como a madeira ensaiada foi extraída de árvores com pequenos diâmetros, entre 30 e 40 centímetros, e por isso, a variação do lenho é significativa, e no corte, mesmo de peças de pequena largura, como as lamelas utilizadas para a produção da MLC usada nesta pesquisa, com largura no desdobro cerca de 3 cm, é possível ver na coloração da madeira a variação da madeira de um lenho juvenil, cor mais esbranquiçada para a de lenho mais adulto, coloração mais escura, conforme a Figura 14 que é uma peça de 28 milímetros.



Figura 14. Peça de madeira de *E. urograndis* com espessura de 28 milímetros. **Fonte:** Dos autores.

Assim, pelo que se inferiu da pesquisa com a madeira de faia-europeia³⁴ que indica que a resistência da MLC ao cisalhamento é caracterizada pela peça que a compõe com menor resistência e ainda com a variação do lenho observada em uma única lamela, é possível deduzir que estes fatores em conjunto são responsáveis pela grande variabilidade observada na amostra da MLC.

Contudo, apesar da resistência ao cisalhamento apresentar valor inferior ao da madeira natural, quando comparada a relação com a resistência à compressão paralela às fibras que foi de 47,75 MPa observa-se um índice de 0,15, que é superior ao do valor de referência da NBR 7190-1² das folhosas quando não avaliadas experimentalmente que é de 0,10, portanto, por este critério o valor é compatível.

Resistência ao cisalhamento na linha de cola da MLC de *E. urograndis*

Para a obtenção da resistência ao cisalhamento da MLC de *E. urograndis* na linha de cola foram ensaiados 27 corpos de prova²⁶. Para a correção das resistências para a umidade de equilíbrio, foram produzidos 6 corpos de prova para aferição da umidade da madeira²⁶ que resultou num teor de umidade médio de 13,91%.

Os resultados dos ensaios de resistência foram obtidos através do uso de prensa EMIC-300 com um dispositivo adequado para realização do ensaio acoplado ao equipamento, cujos resultados são apresentados na Tabela 9, onde são informadas as resistências na umidade de ensaio e na de equilíbrio de 12%.

Tabela 9. Resultado dos ensaios de resistência ao cisalhamento da MLC do *E. urograndis* na linha de cola e das resistências na umidade de ensaio e de equilíbrio.

CP	B (mm)	H (mm)	Força de ruptura (N)	f_v (MPa)	$f_{v,12}$ (MPa)
1	51,0	30,9	3.981,45	2,53	2,67
2	51,0	30,8	4.962,24	3,16	3,34
3	51,1	31,0	8.579,95	5,42	5,73
4	50,8	31,1	11.267,95	7,13	7,54
5	51,0	31,2	6.209,99	3,90	4,12
6	50,9	31,1	7.515,20	4,75	5,02

CP	B (mm)	H (mm)	Força de ruptura (N)	f_v (MPa)	$f_{v,12}$ (MPa)
7	50,8	31,1	8.455,79	5,35	5,66
8	51,0	31,2	11.863,04	7,46	7,89
9	50,5	31,1	8.081,46	5,15	5,45
10	51,1	31,8	9.530,74	5,87	6,21
11	50,8	31,0	10.576,95	6,72	7,11
12	50,8	31,1	10.634,51	6,73	7,12
13	50,8	31,0	8.561,41	5,44	5,75
14	51,0	30,9	15.490,94	9,83	10,39
15	51,0	30,9	16.057,20	10,19	10,77
16	50,7	31,1	12.045,35	7,64	8,08
17	50,8	31,1	10.615,29	6,72	7,11
18	50,8	31,0	9.415,60	5,98	6,32
19	51,3	31,2	10.826,44	6,76	7,15
20	51,0	31,0	10.231,35	6,47	6,84
21	50,7	30,8	11.517,54	7,38	7,80
22	51,0	31,1	12.688,39	8,00	8,46
23	51,0	30,9	12.275,72	7,79	8,24
24	50,8	31,0	14.243,20	9,04	9,56
25	50,5	31,2	10.231,35	6,49	6,86
26	50,7	31,0	12.630,83	8,04	8,50
27	50,9	30,0	10.672,86	6,99	7,39

Fonte: Dos autores

Não foram observados elementos discrepantes na amostra pela análise do diagrama de caixa *boxplot*.

Para a umidade de equilíbrio de 12%, a resistência média ao cisalhamento na linha de cola ($f_{v,méd}$) é de 6,93 MPa, desvio padrão de 1,90 MPa, valor mínimo ($f_{v,min}$) de 2,67 MPa, valor máximo ($f_{v,max}$) de 10,77 MPa, amplitude de 8,10 MPa e coeficiente de variação de 27,4%. Ao nível de confiança de 95% o valor da resistência ao cisalhamento na linha de cola da madeira na umidade de equilíbrio de 12% está contido no intervalo de 6,18 MPa e 7,68 MPa.

A resistência característica ao cisalhamento na linha de cola da MLC de *Eucalyptus urograndis* na umidade de 12% é de 4,85 MPa.

O valor é 31,0% inferior ao da MLC da mesma espécie (7,03 MPa) e 47,3% inferior ao da madeira natural também da mesma espécie (9,20 MPa), no entanto, guarda a relação do fator de 0,1 na relação com a resistência à compressão paralela às fibras, que é valor de referência da NBR 7190-1² para madeira de folhosas quando não avaliadas experimentalmente. A resistência média de 6,93 MPa também é inferior a obtida em pesquisa com madeira de cerne selecionadas, 10,3 MPa e 11,7 MPa³⁰.



Figura 15. Testemunhos de corpos de prova ensaiados a cisalhamento na linha de cola da MLC de *E. urograndis*. Fonte: Dos autores.

De forma geral a ruptura no ensaio de cisalhamento

não ocorreu na linha de cola, Figura 15, e desta forma, o que se infere é que a resistência na linha de cola é superior à da madeira, o que pode explicar a diferença observada com os ensaios de madeira selecionada obtida no cerne das árvores³⁰.

Classe de Resistência da MLC de *E. urograndis*

A MLC de *Eucalyptus urograndis* por suas propriedades físicas, mecânicas e de rigidez se enquadra na Classe de resistência D50, Tabela 10.

Tabela 10. Resumo das propriedades da MLC de *Eucalyptus urograndis*.

Propriedade	Valor característico	Classe
Resistência à compressão paralela às fibras	47,75 MPa	D70
Modulo de elasticidade na compressão paralela as fibras	18649 MPa	D70
Densidade aparente	685,06 kg/m ³	D50
Resistência à flexão estática	68,43 MPa	D60
Resistência à tração paralela às fibras	47,73 MPa	D70
Resistência ao cisalhamento paralelas às fibras	7,03 MPa	D70
Resistência ao cisalhamento na linha de cola	4,85 MPa	D60

Fonte: Dos autores.

A MLC de *Eucalyptus urograndis* tem suas características melhoradas quando comparadas com a madeira natural²³. Sua Classe de resistência é melhorada de D35²³ para D50, ou seja, o processo de laminação e colagem da madeira, além ser uma melhoria para a estabilidade dimensional também melhora sua resistência mecânica, e ainda, permite a fabricação de peças com os mais diversos formatos e tamanhos, podendo vencer grandes vãos, sem contar que torna possível a extração das lamelas de árvores de pequenos diâmetros e com isso favorece a expansão de florestas plantadas, se constituindo numa alternativa ecológica e sustentável.

4. DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que quando comparada com a madeira natural, a MLC de *E. urograndis* mantém a deformação relativamente estável, sendo observado num período de 12 meses, arqueamento máximo de 2 mm e encurvamento máximo de 4 mm, inferior ao observado na madeira natural, no mesmo período, respectivamente de 14 e 10 mm²³. Ao contrário da madeira natural, a MLC apresentou encurvamento superior ao arqueamento, indicando menor variação dimensional no plano de colagem.

Assim, como na madeira natural²³ neste período não se observou a formação de resíduos (pó), furos ou túneis provocados pela ação de organismos xilófagos.

Nos ensaios de flexão estática a ruptura de forma geral ocorreu na lamela inferior, zona de maior solicitação à tração e cisalhamento nas fibras.

Quando avaliados os valores médios obtidos desta pesquisa e comparados com os valores das resistências limites de 4 das principais madeiras utilizadas em construção de casas no Paraná, Peroba, Canjerana, Canafistula e Pinho^{19,29}, verifica-se que a MLC de *E. urograndis* tem densidade aparente superior ao Pinus e

Canjerana, resistência à compressão paralela às fibras superior a madeira de Pinus e MOE na compressão superior a todas as espécies comparadas.

Os resultados obtidos, considerando que são resultantes de peças produzidas de madeiras não selecionadas, ou seja, obtidas de forma aleatória e que contém lâminas de peças extraídas do alburno e do cerne, quando comparados com os obtidos em pesquisa com a mesma espécie, mas de madeira selecionadas do cerne mostram que a densidade, de 638,67 kg/m³ é 16,1% e 18,3% inferior, respectivamente 761 kg/m³ e 782 kg/m³, a resistência à compressão paralela às fibras média, de 47,75 MPa, é 18,2% e 28,8% inferior, respectivamente de 58,4 MPa e 67,1 MPa, no entanto, a resistência à flexão, de 68,43 MPa é 25,8% e 7,1% superior, respectivamente de 54,4 MPa e 63,9 MPa.

A MLC de *E. urograndis*, por suas propriedades avaliadas é caracterizada de acordo com a NBR 7190-1² como de Classe de resistência D-50, superior ao da madeira natural da mesma espécie²³, podendo ser utilizada para fins estruturais.

A MLC apresenta menos distorções do que a natural de mesma espécie²³,

Na observação feita pelo período de 12 meses não se observou o ataque de organismos xilófagos, no entanto como publicações²⁹ e pesquisas⁸ afirmaram que a madeira de eucalipto é susceptível ao ataque de cupins, é recomendado uma análise com período de tempo ampliado e por precaução, o uso da MLC de *E. urograndis* deve ser feita com proteção por inseticida apropriado ao combate de organismos xilófagos.

5. CONCLUSÃO

A MLC de *E. urograndis* apresentou densidade aparente de 685,06 kg/m³ e propriedades mecânicas, como resistência característica à compressão paralela às fibras de 47,75 MPa, MOE na compressão de 18619 MPa, MOR (resistência à flexão estática de 68,43 MPa, resistência à tração de 47,73 MPa e resistência ao cisalhamento paralela às fibras de 7,03 MPa, que a caracteriza como Classe de Resistência D-50, o que a torna tecnicamente viável para a utilização na Construção Civil, em estruturas de madeira.

A pesquisa alcançou o objetivo proposto, de avaliação do potencial para o uso da MLC de *E. urograndis* na Construção Civil, mesmo sendo proveniente de toras de pequenos diâmetros, da ordem de 30 a 40 cm, obtidas de árvores com idade de 12 anos, e apresentando grande variabilidade nos resultados por terem uma madeira que varia de lenho juvenil (alburno) para adulto (cerne) em camadas de cerca de 3 cm, se mostrou tecnicamente viável, e como é uma espécie de madeira adequada para a regiões de clima quente, como o noroeste do Estado do Paraná, a exploração da madeira para construções pode contribuir para o desenvolvimento regional, desde que apresente viabilidade econômica.

Na pesquisa observou-se que a MLC, na composição de 3 peças como a utilizada tem sua resistência ao cisalhamento caracterizada em torno da peça de menor

resistência, originada da região mais periférica do tronco que é o alburno.

O estudo permitiu que os pesquisadores e professores aprofundassem seus conhecimentos sobre a anatomia da madeira e as características que influenciam na resistência da madeira e como estes fatores podem contribuir tecnicamente na utilização da madeira em estruturas. A contribuição é também para o mercado da madeira, pois oferecendo uma alternativa viável e sustentável, o eucalipto pode vir a substituir madeiras como a de pinus e pinho, que não se adaptam à regiões mais quentes, ou de outras espécies produzidas em regiões mais distantes, reduzindo o custo do produto pela eliminação do transporte de longa distância.

Espera-se que esta pesquisa também estimule o desenvolvimento dos produtos à base de madeira de eucalipto nesta região, assim como de produtos tecnológicos como os da madeira engenheirada o que permite a introdução de um novo segmento econômico na região noroeste do Paraná, e mais, com o processo de laminação e colagem, tem a sua Classe de Resistência melhorada.

A MLC de *Eucalyptus urograndis* tem suas características melhoradas quando comparadas com a madeira natural. Sua Classe de resistência é melhorada de D40 para D50 e com estabilidade dimensional, permitindo a fabricação de peças para os mais diversos formatos, colaborando com a melhoria dos aspectos arquitetônicos das edificações, e com a possibilidade de se produzir peças com seções mais avantajadas e com grandes comprimentos, poder contribuir para construções com grandes vãos, liberando os espaços dando liberdade para implantação de leiautes com menos rigidez.

O uso da madeira de reflorestamento em uma atividade viável economicamente, permitirá a expansão de florestas plantadas, diminuindo a pressão sobre a exploração de espécies nativas e se constituindo numa alternativa ecológica e sustentável.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Integração Florestal, na pessoa de Rafael Furio Peres (*in memoriam*) e a seus colaboradores pelo fornecimento do material de estudo que propiciou o desenvolvimento do presente trabalho e ao técnico de laboratório Genilson Ribeiro Vieira que auxiliou nas atividades de laboratório.

7. REFERÊNCIAS

- [1] SEBRAE. Madeira Engenheirada: conheça a nova tendência da Construção Civil [Internet]. Brasília: SEBRAE; 2023 [citado 2025 ago 01]. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/madeira-engenheirada-conheca-a-nova-tendencia-da-construcao-civil,933c42d487184810VgnVCM100000d701210aRCRD>
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira, Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT; 2022.
- [3] Pfeil W, Pfeil M. Estruturas de madeira. 6ª ed. Rio de

- Janeiro: LTC; 2003.
- [4] Navarro RF. A evolução dos materiais. Parte 1: da pré-história ao início da era moderna. REMAP; 2006 [Acesso 1 ago 2025] Disponível em: <https://www.feevale.br/site/files/documentos/pdf/32246.pdf>.
 - [5] Pons C, Knop A. Construções utilizando estruturas de madeira. Canoas-RS: CIPPUS 8(1); 2020 [acesso 19 jun 2021] Disponível em: <http://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/cippus>.
 - [6] Martins, TFRM. Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos. [dissertação] Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. 2010. [acesso 1 ago 2025] Disponível em: <https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/OGkiTQXwviDPVVb2bjzS3vtYvuxqcsVLu4jQ?lang=pt>.
 - [7] Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Florestas do Brasil em resumo: 2019 Brasília: MAPA; 2019. [acesso 1 ago 2025] Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Florestas_Brasil_2019_Portugues.pdf.
 - [8] Brainer MSCP. Silvicultura. Banco do Nordeste: Caderno Setorial ETENE. Brasília: Banco do Nordeste 6(154); 2021 [acesso 1 ago 2025] Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2918>.
 - [9] Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Ibá 2024: Relatório anual. Brasília: IBÁ; 2024 [acesso 1 ago 2025]. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes>.
 - [10] Brasil. Presidência da República: Casa Civil. Lei nº 12651 - Dispõe sobre a proteção de vegetação nativa. Brasília, DF: Presidência da República; 2012.
 - [11] Latorraca JVF, Albuquerque CEC. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. Floresta e Ambiente 7(1) 279-91; 2000 [acesso 1 ago 2025] Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/BcyCjTYvtfR73Np8qNq5zQN/?lang=pt>
 - [12] Pauli BA, Azambuja MA, Oliveira Neto L. Madeira lamelada colada: potencial em edificação, da graduação à industrialização. Periódico Técnico e Científico Cidade Verde 9(24); 2021 [acesso 6 jun 2025] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355783795_Madeira_lamelada_colada_Potencial_em_edificacao_d_a_graduacao_a_industrializacao
 - [13] Souza CO, Silva FB, Pereira RGFNB, *et. al.* Madeira Lamelada Colada Cruzada: características do sistema construtivo do IPT. AECweb; 2022 [acesso 27 jun 2025] Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/academy/ipt-quiz/madeira-lamelada-colada-cruzada-caracteristicas-do-sistema-construtivo/23108>.
 - [14] Oliveira GL. Estruturas de madeira engenheirada: a concepção arquitetônica orientada à racionalização do processo construtivo [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; 2023. [acesso 19 jul 2025] Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-12122023-120853/pt-br.php>.
 - [15] Shigue, EK. Panorama do uso da madeira na construção civil no Brasil: empresas e produtos. In: : XVI Ebrament+III Clem - XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira e III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira. 2018; 26 jul; São Carlos: São Paulo: XVI EBRAMEM + III CLEM 2018. [acesso 1 ago 2025] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353982705_Panorama_do_uso_da_madeira_na_construcao_civil_no_Brasil_empresas_e_produtos.
 - [16] Padilha C, Lima JT, Silva JRM, *et. al.* Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. Scientia Forestalis (71) 141-7. 2006 [acesso 1 ago 2025] Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap14.pdf>.
 - [17] <http://www.iubilaummisericordiae.va/content/gdm/it/mondo/porto-dellan-misericordia.event.catedral-do-divino-espirito-santo-diocese-de-umarama.html> (2015). Acesso em: 20 jun 2025.
 - [18] <https://archello.com/pt/project/escola-parque-emei-cleide-rosa-auricchio> . Acesso em: 19 Jul 2025
 - [19] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.
 - [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-6 - Projeto de estruturas de madeira Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
 - [21] Palma VL, Santini EJ, Silveira AG, Talgatti M. Durabilidade natural e resistência mecânica de madeiras de rápido crescimento após ensaios de campo. Scientia Agraria Paranaensis 17(3):339–343; 2018 [acesso 15 ago 2025] Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/20110>.
 - [22] Campbell FC. Structural Composite Materials. St. Louis: ASM International; 2010 [acesso 01 ago 2025]. Disponível em: https://structures.dhu.edu.cn/_upload/article/files/f6/62/f5c6159f4c86ae7a86fdb6b48811/858e203c-8ba0-47a0-ac4c-b9354e1efcbc.pdf.
 - [23] SAVI, Olindo; FREITAS, João Henrique; ESPESSATO, Alan Rizzato; FABICHE, Mariana Fiorelli; COUTINHO, Sidnei & ZITO, Aline Naiara. Avaliação da madeira de *Eucalyptus urograndis* para uso na construção civil. *Journal of Exact Sciences* - JES, v. 47, n.1, pg 05-13, 2025. Disponível em: <http://www.mastereditora.com.br/jes>. Acesso em: 28 out 2025.
 - [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-2 - Estruturas de madeira – Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
 - [25] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-4 - Projeto de estruturas de madeira - Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
 - [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-3 - Estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
 - [27] Valladares Neto J, Santos CB, Torres E, *et. al.* *Boxplot*: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. ROBRAC 26(76):1–5; 2017. [acesso 19 jul 2025] Disponível em: <https://www.robrac.org.br/seer/index.php/robrac/article/view/1132>.
 - [28] Ferreira PM. Estatística e Probabilidade. Fortaleza: UAB/IFCE; 2012. 208 p.
 - [29] Mainieri C, Chimelo JP. Fichas de Características das Madeiras Brasileiras. 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras; 1989. Publicação IPT nº 1791.

- [30] Nogueira RS, Icimoto FH, Calil Junior C, *et. al.* Experimental Study on full-scale GLULAM beams manufactured with Eucalyptus urograndis. *Maderas: Ciencia y Tecnologia* 25(5):1-12; 2023. DOI: 10.4067/s0718-221x2023000100405.
- [31] Ferreira OP (coord.). *Madeira: uso sustentável na construção civil* [Internet]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT; 2003 [acesso 02 ago 2025]. Disponível em: <https://madeiras.ipt.br/madeira-uso-sustentavel-na-construcao-civil/>.
- [32] Oliveira SL, Mendes LM. *Interação da espécie de madeira e do tipo de adesivo na qualidade da madeira laminada colada* [tese]. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2016. 123 p.
- [33] Ross SM. *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. 4th ed. Berkeley: University of California. Department of Industrial Engineering and Operations Research; 2009 [acesso 04 ago 2025]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123704832/introduction-to-probability-and-statistics-for-engineers-and-scientists>.
- [34] Aicher S, Ohnesorge D. Shear strength of glued laminated timber made from European beech timber. *Eur J Wood Prod* 69:143–154. 2011 [acesso ago 2025] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227318360_Shear_strength_of_glued_laminated_timber_made_from_European_Beech_timber.