

AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

EVALUATION OF EUCALYPTUS UROGRANDIS WOOD FOR USE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

OLINDO SAVI^{1*}, JOÃO HENRIQUE FREITAS², ALAN RIZZATO ESPESSATO³, MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE⁴, SIDNEI REINA COUTINHO⁵, ALINE NAIARA ZITO⁶

1. Mestre em Engenharia Urbana, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 2. Mestre em engenharia civil, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 3. Mestre em engenharia civil, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 4. Doutora em engenharia civil, professora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 5. Tecnólogo em construção civil, Técnico em laboratório da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 6. Mestre em Engenharia Urbana, professora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama.

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

Recebido em 19/08/2025. Aceito para publicação em 29/08/2025

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo determinar a massa específica e as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus urograndis* extraída de árvores com 12 anos de idade, provenientes de reflorestamento na região de Altônia-PR. Foram avaliadas propriedades como resistência à compressão paralela e normal às fibras, módulo de elasticidade (MOE), resistência à flexão, tração e cisalhamento, conforme preconiza a NBR 7190. Os resultados obtidos apresentaram uma massa específica aparente característica de 635,54 kg/m³ e resistência característica à compressão paralela às fibras de 30,06 MPa. No que se refere a correlação entre a massa específica e resistência à compressão foi obtido um modelo que apresenta correlação de Pearson (r) de 0,93 e entre esta e o MOE com $r = 0,99$, confirmando a relação entre essas propriedades. Conclui-se que a madeira estudada de *E. urograndis* apresenta um grande potencial para ser utilizada na construção civil, com desempenho compatível ao de espécies tradicionalmente empregadas na região, porém, devem sempre ser observadas técnicas para beneficiamento e estocagem correta do material, para que não ocorra empenamentos ou encurvamentos importantes das peças lembrando que a madeira deve ser tratada para evitar o ataque de xilófagos.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades da madeira; massa específica da madeira; madeira para construção civil; madeira estrutural.

ABSTRACT

This study was to determine the specific mass and mechanical properties of *Eucalyptus urograndis* wood extracted from 12-year-old trees from a reforestation site in the Altônia-PR region. Properties such as resistance to compression parallel and normal to the fibers, modulus of elasticity (MOE), resistance to bending, traction and shear were evaluated, in accordance with NBR 7190. The results obtained showed a characteristic apparent specific mass of 635.54 kg/m³ and a characteristic resistance to compression parallel to the fibers of 30.06 MPa. With regard to the

correlation between specific mass and compressive strength, a model was obtained with a Pearson correlation (r) of 0.93 and between this and MOE with $r = 0.99$, confirming the relationship between these properties. It can be concluded that the wood studied from *E. urograndis* has great potential for use in civil construction, with performance compatible with that of species traditionally used in the region. However, techniques for processing and storing the material correctly must always be observed, so that there is no significant warping or buckling of the pieces, remembering that the wood must be treated to avoid attack by xylophages.

KEYWORDS: Wood properties; specific mass of wood; wood for construction; structural wood.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material de construção essencial para o homem, sendo usado desde os primórdios da história¹, tendo estudos arqueológicos observado que ela foi utilizada desde a Idade da Argila, entre 14.600 e 4.500 A.C. sendo que encontraram casas com estrutura de madeira nos telhados naquele período².

No Brasil, o uso da madeira se dá para diversos fins, como: construções de residências, pontes, contenção de taludes, na indústria moveleira, em construções rurais, entre outras³, sendo que a produção de madeira serrada no ano de 2022 foi de 8,2 milhões de m³ e deste volume, 5,0 milhões foram utilizados no mercado interno e o restante foi exportado. No ano de 2020 a indústria da construção foi responsável pelo consumo de 21% dos produtos madeireiros⁴. Para aumentar a oferta de madeira e reduzir a pressão sobre as florestas naturais necessário se recorrer a florestas plantadas, com espécies de crescimento rápido, como o eucalipto⁵.

A área de floresta do Brasil em 2022 foi estimada em 495,8 milhões de hectares, sendo que cerca de 98,1% são de florestas naturais⁶. A área de florestas plantadas em 2022 era de 9,94 milhões de hectares, tendo o eucalipto ocupado uma área de 7,6 milhões de

hectares, dos quais 442.222 hectares estão concentrados no Estado do Paraná⁷. Dentre as espécies indicadas para o plantio no Estado do Paraná, estão o *E. grandis* e o *E. urophylla*, cuja combinação pelo processo de hibridização é formado o clone *E. urograndis*, uma das melhores combinações híbridas que sob o manejo apropriado no plantio garante a capacidade de produzir insumos para múltiplos usos⁸. O *E. grandis* puro ou em cruzamentos é a espécie mais utilizada em áreas tropicais, e se destaca pelo crescimento rápido, aumentando significativamente o volume de madeira produzida, com reduzida produção de casca e com grande proporção de cerne, que é a parte mais resistente da árvore⁸.

Para o uso e a fabricação de produtos pela indústria da madeira é necessário ter um conhecimento detalhado de suas propriedades físicas e mecânicas, para melhor aproveitar esta incrível matéria-prima na fabricação de diversos produtos⁹. O conhecimento da densidade da madeira é importante pois permite correlacionar esta propriedade com as de flexão estática, módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), onde se observa uma relação proporcional entre elas, com correlação positiva⁹. O MOR e o MOE são influenciados pela idade da árvore, conforme estudos feitos que comparam estas propriedades de árvores juvenis e de árvores tardias, onde se observou ter havido aumento do MOE em cerca de cinco vezes e do MOR em cerca de três vezes¹⁰. Outros estudos feitos com pinheiros também observaram que a idade da extração da árvore influencia positivamente no MOR e MOE da madeira¹¹, no entanto, as idades não apresentaram diferenças estatística na densidade e no módulo de elasticidade à compressão, o que também havia sido observado na análise de árvores de pinheiros-bravos em relação a árvores juvenis e adultas¹² onde foram constatadas também fortes correlações entre a massa específica, MOR e MOE, com coeficientes de determinação (r^2) de 0,84 e 0,90 e também forte correlação entre MOR e MOE, com r^2 de 0,90 e estas relações não foram afetadas pela diferença de idade e tampouco pela taxa de crescimento rápido da madeira.

Por se tratar de informações fundamentais para o uso estrutural da madeira, muitas pesquisas são realizadas, como a feita para o *Eucalyptus Grandis*, que foi um modelo original para a formação do clone *E.urograndis*¹³ e que permitiram obter resultados para umidade da madeira de 12%¹⁴ apresentados Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios experimentais com valores corrigidos para teor de umidade de 12% das propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus Grandis*.

Fonte	ρ_{ap}^1 (kg/m ³)	F_{co}^2 (MPa)	F_m^3 (MPa)	F_{t0}^4 (MPa)	F_v^5 (MPa)	E_{co}^6 (MPa)
[9]	640	40,3	-	70,2	7,0	12813
[6]	590	-	84,1	-	-	15647

Nota: ¹ ρ_{ap} : massa específica aparente; ² F_{co} : resistência à compressão paralela às fibras; ³ F_m : módulo de ruptura (resistência à flexão); ⁴ F_{t0} : resistência à tração paralela às fibras; ⁵ F_v : resistência ao cisalhamento e ⁶ E_{co} : módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras. **Fonte:** ^{13,14}

O estudo busca avaliar a madeira de *E. urograndis*

que atualmente tem seu uso na região direcionado para a produção de móveis e objetiva verificar se a madeira tem potencial técnico para o uso na construção civil, inclusive como madeira estrutural, mesmo que seja para edificações de pequeno porte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada na pesquisa é de *E. urograndis* produzida e comercializada pela empresa Integração Florestal, localizada na Rodovia PR-487, km 5, no município de Altônia-PR.

As amostras foram produzidas a partir de árvores com 12 anos de idade e foram coletadas em dezembro de 2021, de acordo com as especificações da NBR 7190¹⁵. Todas as amostras foram devidamente identificadas e numeradas para posterior realização dos ensaios.

Os ensaios foram realizados para a obtenção de massa específica, resistência à compressão paralela e normal às fibras, o MOE através dos ensaios de resistência à compressão, e resistências à flexão estática, a tração e ao cisalhamento, e foram feitos de acordo com a NBR 7190¹⁶, exceto no ensaio a flexão estática que foi feito de acordo com a NBR 7190¹⁵ uma vez que para esta propriedade houve alteração normativa nas dimensões das peças a ser ensaiadas com a atualização da norma. As amostras foram ensaiadas no Laboratório de Materiais de Construção da UEM Campus CTC de Umuarama/PR, com exceção ao ensaio de MOE e resistência à compressão paralela as fibras que foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UEM campus Sede.

Teor de umidade

Os ensaios de obtenção do teor de umidade foram realizados a partir de corpos de prova extraídos de testemunhos dos ensaios de resistência, com dimensões de acordo com a NBR 7190¹⁶. As amostras foram imediatamente acondicionadas em envelopes plásticos para a preservação da umidade até o momento de seu ensaio. Os experimentos foram realizados utilizando balança eletrônica de precisão Mark 2200, com capacidade máxima de 2,2 kg e resolução de 10 mg para a aferição das massas, paquímetro metálico de 300 mm com resolução de 0,05 mm para aferição das dimensões e secagem feita em estufa a 103 °C.

Os teores de umidade obtidos nas diversas amostras serviram para a correção de valores para a umidade de equilíbrio de 12%.

Massa específica aparente

A massa específica aparente foi obtida a partir dos corpos de prova utilizados para os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, com uma amostra composta por 14 elementos, com aferição das massas utilizando balança eletrônica de precisão Mark 2200, com capacidade máxima de 2,2 kg e resolução de 10 mg e as dimensões aferidas com paquímetro metálico de 300 mm com resolução de 0,05 mm.

Resistência à Compressão paralela às fibras da madeira e MOE

Os ensaios foram realizados utilizando prensa EMIC 23-600 com célula de carga para 300 kN, com deformação medida por extensômetros com resolução de 0,0001 mm, em uma amostra composta por 14 elementos.

Resistência à compressão normal às fibras da madeira

Ensaio realizado com uma amostra de 14 elementos, utilizando prensa EMIC 300, com célula de carga para 300 kN.

Resistência à flexão estática

Os ensaios foram feitos a partir de uma amostra composta por 14 elementos, utilizando prensa EMIC 300 com célula de carga para 300 kN, adaptada com dispositivo metálico de grande rigidez para proporcionar apoios espaçados de acordo com o vão necessário e com dispositivo para aplicar a força que foi fixado no êmbolo da prensa.

Resistência à tração paralela às fibras de madeira

Os ensaios foram realizados a partir de uma amostra composta por 34 elementos, utilizando prensa EMIC 300 com célula de carga para 300 kN, com dispositivos mecânicos para ensaios de tração.

Resistência ao cisalhamento paralela as fibras da madeira

Os ensaios foram feitos com uma amostra composta de 15 elementos, utilizando prensa EMIC 300, com célula de carga de 300 kN com dispositivo apropriado para este ensaio.

Análise estatística

Considerando que a madeira de reflorestamento de *E. urograndis* foi extraída de árvores com idade de 12 anos, portanto de toras de pequenos diâmetros, da ordem de 30 a 40 centímetros, os resultados dos ensaios apresentaram grande amplitude de valores, e portanto, foi realizado o saneamento amostral utilizando o diagrama de caixa através da ferramenta *boxplot*¹⁷.

A resistência característica foi obtida de acordo com a NBR 7190¹⁶ e para estabelecer correlações entre as propriedades da madeira foi utilizada a regressão linear por transformação das variáveis¹⁸.

3. RESULTADOS

O *Eucalyptus urograndis* é uma espécie que se destaca por ter um crescimento rápido e apresentar boa qualidade, por isso é uma madeira valorizada. A madeira avaliada é proveniente da empresa Integração Florestal, extraída de árvores com 12 anos de idade que apresentam diâmetros que variam de 30 a 40 centímetros, **Figura 1**, da qual se extrai os produtos do desdobramento (serragem), **Figura 2**.



Figura 1. Toras de árvores de *E.urograndis*. **Fonte:** Dos autores.



Figura 2. Aspecto da madeira resultante do desdobramento das toras de *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

A empresa processa e industrializa a madeira para fornecer matéria prima para indústrias de móveis em diversos estados do Brasil e o estudo foi desenvolvido com o propósito de avaliar se a madeira possui potencial técnico para ser aproveitada na construção civil e como madeira estrutural para edificações.

Para as análises, foram produzidas amostras no mês de dezembro de 2021, e que foram ensaiadas no Laboratório de Materiais da Universidade Estadual de Maringá em dezembro de 2022, extraídas de produtos comerciais fabricados pela empresa.

A madeira de *E. urograndis* utilizado nesta pesquisa se destaca pela boa trabalhabilidade, apresenta textura que varia de fina a média e com aspecto pouco brilhante e com a grã direita. A coloração da madeira é bastante diversa, indo do amarelo pardo para as peças provenientes da região do alburno a tons rosados, salmão claro e marrom para peças obtidas na região do cerne, cuja textura na face tangencial é mostrada na imagem esquerda da **Figura 3**.



Figura 3. Textura na face tangencial da madeira de *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

Na face ortogonal às fibras a madeira apresenta vasos que variam de pequenos a médios, com porosidade difusa e arranjo discreto, conforme pode ser visto na fotomicrografia da **Figura 4**, ampliada 1600x em microscópio.



Figura 4. Imagem ampliada 1600x da face radial da madeira de *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

Os corpos de prova foram produzidos na sede da empresa Integração Florestal e transportados para o Laboratório de Materiais da UEM-CTC onde ficaram estocados por um período de 12 meses, em ambiente protegido das intempéries e da insolação direta, sem entrar em contato com o solo ou pisos, e durante este período não se observou ataques de organismos xilófagos.

Os corpos de prova foram produzidos de acordo com a NBR 7190¹⁵ e os ensaios feitos em conformidade com a NBR 7190¹⁶ no que foi aplicável a nova norma que entrou em vigor durante o desenvolvimento da pesquisa, que produziu os resultados abaixo.

Massa específica aparente (ρ_{ap})

Os resultados dos ensaios de massa específica aparente da madeira estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Resultado dos ensaios de massa específica aparente da madeira de *E. urograndis*.

CP	Dimensões			Massa (g)	ρ_{ap} (kg/m ³)	$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)
	B (mm)	H (mm)	L (mm)			
1	48,1	48,1	151,1	225,60	645,33	642,52
2	49,0	48,3	151,5	225,14	627,91	621,69
3	48,4	48,6	151,6	220,63	618,71	614,32
4	50,2	47,8	151,3	230,59	635,14	630,34
5	49,2	48,4	151,5	221,39	613,67	610,42
6	48,2	47,0	150,2	211,08	620,34	616,90
7	47,8	47,9	151,5	207,01	596,78	593,74
8	49,3	51,0	151,4	275,22	723,00	717,65
9	48,0	47,1	151,8	197,22	574,67	570,85
10	47,2	49,4	151,3	239,00	677,47	671,54
11	49,2	48,2	151,5	187,98	523,22	520,39
12	48,3	47,6	151,3	225,40	647,98	643,99
13	48,8	47,9	151,4	271,92	768,35	762,86
14	47,5	48,3	150,9	223,30	645,00	641,52

Nota: Os elementos 8, 11 e 13 (em destaque) apresentaram características discrepantes. **Fonte:** Dos autores.

O teor de umidade médio das amostras foi de 13,31%. A análise feita pelo diagrama de caixa *boxplot* indicou que três elementos apresentaram características discrepantes em relação aos demais elementos da amostra e foram excluídos do tratamento estatístico, que apresentou os resultados, corrigidos para a umidade de 12% de: massa específica aparente média

($\rho_{ap,méd}$) de 623,44 kg/m³, desvio padrão de 27,24 kg/m³, valor mínimo ($\rho_{ap,min}$) de 570,85 kg/m³, valor máximo ($\rho_{ap,máx}$) de 671,54 kg/m³, amplitude de 100,69 kg/m³ e coeficiente de variação de 4,4%.

A massa específica aparente característica (ρ_k) é de 635,54 kg/m³, compatível e superior da verificada em duas pesquisas para o *E. Grandis* que foi respectivamente de 640 kg/m³ e de 590 kg/m³ ^{13,14}.

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

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras da madeira estão apresentados na **Tabela 3**, onde é informada a resistência para a umidade natural de 13,31% e a de equilíbrio de 12%.

Tabela 3. Resistência a compressão paralela às fibras da madeira natural de *E. urograndis*.

CP	B (mm)	H (mm)	F (kN)	f_{c0} (MPa)	f_{12} (Mpa)
1	48,1	48,1	87,70	37,90	38,90
2	49,0	48,3	68,32	28,87	30,58
3	48,4	48,6	96,00	40,81	42,55
4	50,2	47,8	69,01	28,76	30,06
5	49,2	48,4	109,09	45,81	47,27
6	48,2	47,0	99,57	43,95	45,41
7	47,8	47,9	93,73	40,94	42,19
8	49,3	51,0	124,97	49,70	51,91
9	48,0	47,1	76,57	33,87	35,22
10	47,2	49,4	93,10	39,93	42,03
11	49,2	48,2	79,79	34,71	34,74
12	48,3	47,6	82,89	34,96	37,38
13	48,8	47,9	139,91	59,85	62,42
14	47,5	48,3	104,08	45,36	46,84

Fonte: Dos autores.

A análise feita pelo diagrama de caixa *boxplot* não indicou qualquer elemento discrepante na amostra, assim o tratamento estatístico foi realizado com a amostra completa que apresentou os resultados corrigidos para a umidade de 12%: resistência à compressão paralela às fibras média ($f_{c0,med}$) de 41,96 MPa, desvio padrão de 8,69 MPa, valor mínimo ($f_{c0,min}$) de 30,06 MPa, valor máximo ($f_{c0,máx}$) de 62,42 MPa, amplitude de 32,36 MPa e coeficiente de variação de 20,7%. A resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) é de 30,06 MPa.

O alto coeficiente de variação observado pode ser explicado pela extração de madeiras em toras de pequeno diâmetro, em torno de 30 a 40 cm, o que faz com que alguns corpos de prova sejam extraídos da parte mais central (cerne) e outros de regiões mais periféricas (alburno).

A resistência à compressão característica ($f_{c0,k}$) obtida foi inferior ao observado para *E. Grandis*, que foi de 40,3 MPa¹³.

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

A

Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios a compressão da madeira, as deformações observadas e os módulos na umidade natural de 13,31% e a corrigida para a de equilíbrio, de 12%.

Tabela 4. Módulo de elasticidade na compressão da madeira de *E. urograndis*.

CP	fc0 (MPa)	ε50%	ε10%	Ec0 (MPa)	E12 (MPa)
1	38,90	0,14777	0,03657	13642	13.879
2	30,58	0,39783	0,25404	8033	8.351
3	42,55	0,13247	0,02713	15502	15.942
4	30,06	0,02596	-0,02958	20706	21.331
5	47,27	0,17030	0,04335	14439	14.745
6	45,41	0,17660	0,04210	13071	13.361
7	42,19	0,15171	0,03097	13566	13.843
8	51,91	0,12620	0,02778	20199	20.797
9	35,22	0,14704	0,03980	12635	12.971
10	42,03	0,13080	0,02119	14579	15.089
11	34,74	0,19906	0,06066	9725	9.935
12	37,38	0,16505	0,04192	11711	11.999
13	62,42	0,10310	0,02891	32268	33.191
14	46,84	0,14120	0,03505	17098	17.467

Fonte: Dos autores.

Com base nas deformações observadas nos ensaios de resistência à compressão foi determinada a rigidez na direção paralela às fibras da madeira e com base no diagrama de caixa *boxplot* verificou-se que havia um elemento discrepante, possível outlier, que foi desconsiderado no tratamento estatístico. O resultado obtido, corrigido para a umidade de 12% foi de um MOE médio ($E_{c0,med}$) de 14593 MPa, desvio padrão de 3729 MPa, valor mínimo ($E_{c0,min}$) de 8351 MPa, valor máximo ($E_{c0,max}$) de 21331 MPa, amplitude de 12980 MPa e coeficiente de variação de 25,6%. O MOE característico ($E_{c0,k}$) é de 10215 MPa. Os resultados mostram um alto coeficiente de variação, que se deve à amostra das madeiras onde alguns elementos foram extraídos da região do alburno e outros do cerne. O MOE característico ($E_{c0,k}$) é inferior ao observado para o *E. Grandis*, de 12813 MPa e 15647 MPa^{13,14}.

Resistência à compressão normal às fibras da madeira (f_{c90})

Os resultados dos ensaios e valores de resistência à compressão normal às fibras para a umidade natural da madeira de 13,38% e para a umidade de equilíbrio estão na Tabela 5.

Tabela 5. Resistência à compressão normal às fibras da madeira natural de *E. urograndis*.

CP	Dimensões			Força de Ruptura (N)	fc90 (MPa)	fc90,12 (MPa)
	L (mm)	b (cm)	h (cm)			
1	95	5,2	5,0	41.241,38	15,86	16,44
2	95	5,2	5,0	40.809,48	15,70	16,27
3	98	5,2	5,0	53.516,90	20,58	21,33
4	93	5,2	5,0	46.712,11	17,97	18,62
5	97	5,2	5,0	35.473,19	13,64	14,14
6	98	4,8	5,2	36.356,22	14,57	15,10
7	98	5,0	5,2	40.617,55	15,62	16,19
8	97	4,9	5,1	44.034,31	17,62	18,26
9	93	4,9	5,2	26.077,01	10,23	10,60
10	97	5,1	5,2	31.163,80	11,75	12,18
11	94	5,1	5,2	25.539,59	9,63	9,98
12	94	5,0	5,2	50.032,96	19,24	19,94
13	93	5,0	5,1	42.997,81	16,86	17,47
14	94	5,0	5,2	43.955,07	16,91	17,52

Fonte: Dos autores.

Para a umidade de equilíbrio de 12% a compressão normal às fibras média ($f_{c90,med}$) é de 16,00 MPa, com desvio padrão de 3,34 MPa, valor mínimo ($f_{c90,min}$) de 9,98 MPa, valor máximo ($f_{c90,max}$) de 21,33 MPa, com

amplitude de 11,35 MPa, coeficiente de variação de 20,9% e resistência característica à compressão normal às fibras ($f_{c90,k}$) de 11,20 MPa. O valor inferior ao observado em pesquisa com o *E. Grandis* que foi de 19,5 MPa¹⁹ e equivale a 36,7% da resistência à compressão paralela às fibras, de 30,06 MPa.

Resistência à flexão estática (f_m)

A madeira foi ensaiada com vão entre apoios 1,05 m de acordo com a NBR 7190¹⁵, e os resultados dos ensaios, da resistência à flexão estática para a umidade natural de 16,32% e de equilíbrio de 12% estão na Tabela 6.

Tabela 6. Resistência a flexão da madeira natural de *E. urograndis*.

CP	Seção transversal		Força de ruptura (N)	f _m (MPa)	f _{m,12} (MPa)
	B (cm)	H (cm)			
1	4,9	4,9	3.843,1	51,45	56,87
2	4,9	5,0	4.726,0	60,76	68,00
3	4,8	4,9	3.200,1	43,73	47,77
4	4,8	5,0	3.958,4	51,96	58,05
5	4,7	4,9	3.756,8	52,44	58,04
6	4,8	4,9	2.058,0	28,12	31,60
7	4,8	5,0	1.942,8	25,5	29,98
8	4,7	4,9	2.787,5	38,9	45,00
9	4,8	5,0	2.461,2	32,31	37,37
0	4,8	4,9	3.718,3	50,82	57,33
11	5,0	5,0	4.265,4	53,75	59,28
12	4,8	4,9	2.729,9	37,31	43,78
13	4,8	5,0	4.399,8	57,75	66,86
14	4,8	5,0	4.745,3	62,28	71,90
15	5,0	5,0	4.639,7	58,46	67,18
16	4,9	4,9	4.966,0	66,48	76,47
17	4,9	5,0	2.787,5	35,84	41,05
18	4,9	4,9	4.169,4	55,82	64,43
19	4,8	4,9	3.334,5	45,57	52,84
20	4,8	4,9	3.085,0	42,16	45,31
21	4,8	4,9	3.008,1	41,11	46,57
22	5,0	5,0	1.271,0	16,01	17,48
23	4,7	5,0	3.353,7	44,95	51,98
24	5,0	5,0	5.465,1	68,86	80,39
25	4,7	4,9	4.044,7	56,45	65,15
26	4,7	5,0	3.248,2	43,54	44,58
27	4,9	5,0	2.633,9	33,86	39,12
28	4,8	4,8	2.134,8	30,4	33,62
29	4,8	5,0	3.584,1	47,04	52,01
30	4,9	4,9	4.188,6	56,07	61,17

Fonte: Dos autores.

A madeira foi analisada para avaliar a distorção dimensional sofrida no período de 12 meses de armazenamento em laboratório e verificou-se que sofreu encurvamento médio de 5 mm, entre 1 e 14 mm e arqueamento médio de 4 mm, entre de 1 e 10 mm e na amostra, 20 das peças ensaiadas (2/3) apresentaram empenamento em relação ao eixo de maior inércia (encurvamento) superior ao estabelecido pela NBR 7190 [1] para o *E. grandis* que é de 8 mm para cada 3 metros e 27 peças (90%) apresentaram empenamento em relação ao eixo de menor inércia (arqueamento) também superior ao limite definido pela norma que é de 3mm para cada 2 metros para o *E. grandis*.

A análise pelo diagrama de caixa *boxplot* não indicou haver qualquer elemento discrepante na amostra, que para a umidade padrão de 12% apresentou um MOR ou resistência média à flexão estática ($f_{m,med}$) de 52,37 MPa, com desvio padrão de 14,73 MPa, valor mínimo ($f_{m,min}$) de 17,48 MPa, valor máximo ($f_{m,max}$) de

80,39 MPa, amplitude de 62,91 MPa, coeficiente de variação de 28,1% e MOR ou resistência característica a flexão ($f_{m,k}$) de 36,66 MPa.

O MOR obtido é inferior ao observado para o *E. Grandis* de 84,1 MPa²⁰ e de 75,7 MPa²¹. A diferença pode ser explicada, em parte, por ter sido uma amostra obtida de forma aleatória, com grande parte dos elementos extraídos da região próxima ou do alburno.

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

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios da madeira na umidade natural de 14,26% e na de equilíbrio de 12%.

Tabela 7. Resultado dos ensaios a resistência à tração da madeira natural de *E. urograndis*.

CP	Dimensões		Força de ruptura (N)	f_{t0} (MPa)	$f_{t0,12}$ (MPa)
	B (cm)	H (cm)			
1	5,0	0,7	21.335,72	60,96	65,02
2	5,0	0,7	33.668,80	96,20	101,86
3	5,0	0,7	15.490,74	44,26	47,73
4	5,0	0,7	20.788,68	59,40	63,69
5	5,0	0,7	24.541,33	70,12	74,73
6	5,0	0,8	20.865,47	52,16	55,88
7	5,0	0,8	25.453,19	63,63	67,93
8	5,0	0,7	17.141,56	48,98	52,21
9	5,0	0,7	14.396,58	41,13	43,13
10	5,0	0,7	11.363,67	32,47	33,24
11	5,0	0,7	24.954,11	71,30	74,17
12	5,0	0,6	15.356,39	51,19	54,60
13	5,0	0,7	18.955,46	54,16	57,99
14	5,0	0,7	21.498,91	61,43	66,41
15	5,0	0,7	16.527,25	47,22	49,83
16	5,0	0,7	23.946,34	68,42	73,24
17	5,0	0,7	10.883,81	31,10	32,95
18	5,0	0,7	14.223,78	40,64	43,24
19	5,0	0,7	15.836,25	45,25	48,70
20	5,0	0,7	18.504,44	52,87	56,58
21	5,0	0,7	24.176,71	69,08	73,43
22	5,0	0,8	14.319,79	35,80	37,92
23	5,0	0,7	21.940,42	62,69	67,82
24	4,9	0,7	34.532,60	100,68	108,56
25	5,0	0,7	14.386,97	41,11	44,06
26	5,0	0,7	20.558,32	58,74	62,16
27	5,0	0,7	19.972,84	57,07	61,81
28	5,0	0,7	19.560,16	55,89	60,27
29	5,0	0,8	21.777,23	54,44	58,54
30	5,0	0,8	18.274,07	45,69	48,95
31	5,0	0,7	23.869,26	68,20	74,83
32	5,0	0,7	17.362,31	49,61	52,59
33	5,0	0,7	23.504,83	67,16	71,19
34	5,1	0,7	16.248,92	45,52	49,66

Fonte: Dos autores.

A análise realizada pelo diagrama de caixa *boxplot* indicou a presença de dois elementos discrepantes na amostra que foram desconsiderados no tratamento estatístico, que indicou para a umidade de equilíbrio de 12% a resistência à tração paralela às fibras de madeira média ($f_{t0,méd}$) de 57,02 MPa, desvio padrão de 12,17 MPa, valor mínimo ($f_{t0,min}$) de 32,95 MPa, valor máximo ($f_{t0,máx}$) de 74,83 MPa, amplitude de 41,88 MPa, coeficiente de variação de 21,3% e resistência característica à tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$) de 39,91 MPa. O resultado obtido é inferior ao observado para o *E. Grandis*, 70,2 MPa¹³.

Resistência ao cisalhamento paralela às fibras da madeira (f_{v0})

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados dos ensaios e da resistência ao cisalhamento da madeira para a umidade natural de 14,03% e a de equilíbrio.

Tabela 8. Resultado dos ensaios de resistência ao cisalhamento da madeira natural do *E. urograndis*.

CP	Dimensões		Força de ruptura (N)	f_{v0} (MPa)	$f_{v0,12}$ (MPa)
	B (cm)	H (cm)			
1	3,240	4,994	17.179,80	10,62	11,15
2	3,200	4,840	16.104,96	10,40	10,98
3	3,200	5,005	11.008,55	6,87	7,38
4	3,200	5,000	14.310,18	8,94	9,55
5	3,200	5,000	13.494,43	8,43	8,89
6	3,200	5,000	13.974,29	8,73	9,29
7	3,200	4,900	15.049,23	9,60	10,22
8	3,200	4,996	11.037,39	6,90	7,30
9	3,200	4,992	14.761,30	9,24	9,83
10	3,200	5,000	12.601,80	7,88	8,40
11	3,200	4,700	16.364,16	10,88	11,55
12	3,200	5,000	14.070,30	8,79	9,35
13	3,200	4,975	14.934,10	9,38	9,99
14	3,200	5,000	16.268,15	10,17	10,70
15	3,200	4,945	14.972,44	9,46	9,96

Fonte: Dos autores

Não foram observados valores discrepantes na amostra pela análise do diagrama de caixa *boxplot* e no tratamento estatístico resultou numa resistência ao cisalhamento paralela às fibras média ($f_{v0,méd}$) de 9,99 MPa, desvio padrão de 0,92 MPa, valor mínimo ($f_{v0,min}$) de 8,40 MPa, valor máximo ($f_{v0,máx}$) de 11,55 MPa, amplitude de 3,15 MPa, coeficiente de variação de 9,2% e resistência característica ao cisalhamento paralela às fibras ($f_{v0,k}$) de 9,20 MPa. O resultado é superior ao observado para o *E. Grandis*, de 7,0 MPa¹³ e 7,5 MPa²².

4. DISCUSSÃO

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 Pinho²³, verifica-se que o *E. urograndis* tem resistência à compressão paralela às fibras e massa específica superiores apenas a do Pinho e massa específica compatível com a da Canjerana. Para as demais madeiras as propriedades são inferiores, no entanto segundo pesquisa feita concluiu que o eucalipto de reflorestamento é adequado para o aproveitamento em estruturas de madeira, pois substitui madeiras como a Peroba-rosa e o Pinho-do-Paraná²⁴.

A madeira de *E. urograndis*, por suas propriedades observadas pode ser classificada de acordo com a NBR 7190¹⁶ como de Classe de resistência D-40 para o uso em estruturas.

Como a madeira sofre distorções dimensionais como encurvamento e arqueamento, conforme se verificou nesta pesquisa, ela é mais indicada para estruturas como de coberturas, cuja trama garante uma maior rigidez ao conjunto. Para outros usos há de se avaliar fatores como a tendência da madeira à fissuração e rachaduras e o comprometimento quanto à estética por fissuração e despregamento causado por rachaduras.

Com relação ao ataque de organismos xilófagos em

que publicações²³ e pesquisadores²⁵ afirmam que a madeira de eucalipto é susceptível ao ataque de cupins, no período de observação de 12 meses, verificou-se que a madeira de *E. urograndis* não sofreu ataque destes organismos, no entanto, como o período de observação é relativamente curto, é recomendado para seu uso a proteção por inseticida apropriado para proteção aos organismos xilófagos.

Correlação entre a massa específica aparente e a resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *E. urograndis*

Como alguns autores^{9,12} dizem haver correlação entre a massa específica aparente e a resistência à compressão paralela às fibras da madeira, os resultados obtidos com os 14 elementos amostrais e corrigidos para a umidade padrão de 12% foram avaliados por regressão sobre esta analogia. Como os dados apresentam uma dispersão com tendência de distribuição parabólica/exponencial, as variáveis foram tratadas por potenciação, e o modelo obtido demonstrou haver uma fortíssima correlação de Pearson ($r = 0,93$) e um poder de explicação (r^2) de 0,867 (86,7%), Equação 1, que apresenta o comportamento observado no gráfico da **Figura 5**.

$$f_{c0} = \sqrt[4]{2345795 + (0,00326 \cdot \rho_{ap})^{18}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde: f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras e ρ_{ap} é massa específica aparente.

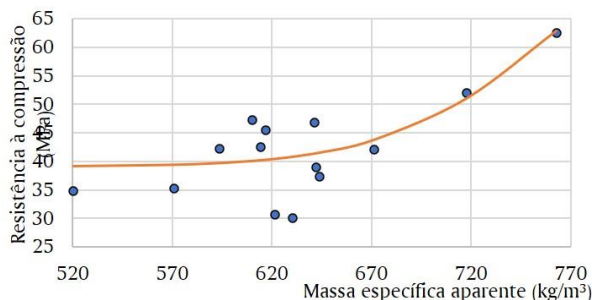


Figura 5. Gráfico da resistência à compressão paralela às fibras da madeira (f_{c0}) x massa específica aparente (ρ_{ap}) da madeira de *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

Correlação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade paralelos às fibras da madeira

A partir da amostra com 14 elementos, ensaiada para obter a resistência à compressão paralela às fibras da madeira e o módulo de elasticidade na compressão, com valores corrigidos para a umidade de equilíbrio de 12%, foi obtido um modelo por regressão com ajustes das variáveis por potenciação, que apresentou uma fortíssima correlação de Pearson ($r=0,99$) entre as propriedades, com um coeficiente de determinação de ($r^2=0,98$), portanto com poder de explicação de 98% do fenômeno investigado e que resultou na equação 2.

$$E_{c0} = \sqrt[4]{1,63 \cdot 10^{16} + (1,63 \cdot f_{c0})^9} \quad \text{Eq. 2}$$

onde: E_{c0} é o módulo de elasticidade (MOE) na

compressão e f_{c0} é resistência à compressão paralela às fibras da madeira.

O gráfico da **Figura 6** apresenta o comportamento observado entre as duas propriedades e a curva do modelo obtido.

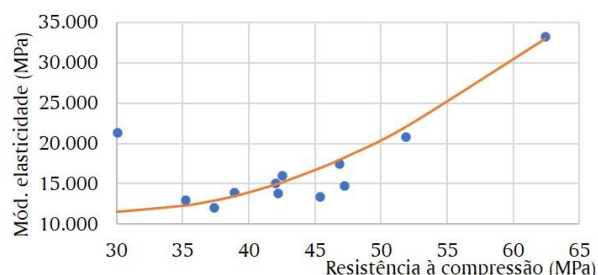


Figura 6. Gráfico do módulo de elasticidade (MOE) na compressão (E_{c0}) x resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) da madeira natural de *E. urograndis*. **Fonte:** Dos autores.

5. CONCLUSÃO

A madeira de *E. urograndis* apresentou propriedades físicas e mecânicas, como de massa específica aparente de 635,54 kg/m³ e resistência característica à compressão paralela às fibras de 30,06 MPa. O desempenho do *E. urograndis* também foi satisfatório nas resistências características à compressão normal às fibras, de 11,20 MPa, à flexão estática (MOR), 36,66 MPa, à tração paralela às fibras, de 39,91 MPa e ao cisalhamento paralelo às fibras, de 9,20 MPa, e em relação ao módulo de elasticidade na compressão (MOE), de 10215 MPa. Com estas características pode-se afirmar que a hipótese que motivou a realização do estudo foi validada, uma vez que as propriedades físicas e mecânicas são compatíveis com a Classe de Resistência D-40, ratificando sua aptidão técnica para uso estrutural na construção civil.

O alcance dos objetivos propostos demonstra que, mesmo sendo uma madeira proveniente de toras de pequeno diâmetro, da ordem de 30 a 40 cm, e que apresenta grande variabilidade de valores nas propriedades avaliadas, devido a extração de peças tanto no núcleo, o cerne, mais denso e resistente, quanto na camada mais externa do tronco, o alburno, com madeira menos densa e de menor resistente, é uma espécie adequada para regiões de climas quentes, pode ser uma alternativa viável, e assim, se considera que a pesquisa vai além da simples caracterização de uma espécie de madeira, ela representa uma contribuição para o desenvolvimento de solução regional, economicamente.

O estudo permitiu ainda a obtenção de modelos de correlação entre a massa específica e a resistência à compressão da madeira e entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, que apresentaram fortíssima correlação estatística de Pearson, o que permite estimar a resistência da madeira em função de sua massa específica à umidade de equilíbrio de 12% e com a resistência à compressão a determinação do módulo de elasticidade na compressão, e com isso, a pesquisa amplia o campo de visão científica gerando modelos de previsão baseados

em propriedades e apresenta caminhos para o desenvolvimento de normativas técnicas e com perspectivas de pontos de partida para a realização de estudos futuros sobre durabilidade, resistência ao ataque de organismos xilófagos, que são aspectos essenciais para o uso sustentável e seguro da madeira em habitações populares e principalmente no fortalecimento do uso da madeira no Brasil, alinhando ciência, sustentabilidade e inovação no setor da construção.

O estudo realizado permitiu aos professores pesquisadores adquirirem conhecimentos sobre a anatomia da madeira e sua influência na resistência e outras propriedades da madeira e seu uso no ensino de estruturas de madeira, além de contribuir com o mercado da madeira, oferecendo uma alternativa viável e sustentável em substituição da madeira nativa ou de espécies de madeira produzidas no sul do estado do Paraná e estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que tem climas propícios para outras madeiras, como o pinus, que não é adaptado à essa região do Estado onde os estudos foram realizados, que possui clima mais quente, e a oferta da madeira de eucalipto em substituição a esta espécie também contribui para redução de custos da madeira pois evita o transporte de longas distâncias.

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.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Integração Florestal 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] Pfeil W, Pfeil M. Estruturas de madeira. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC; 2003.
- [2] 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>.
- [3] 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>
- [4] Oliveira CG, Punhagui KRG, Pinto EFP, *et. al.* Consumo de madeira para fins provisórios em obras em concreto armado moldado in loco. Ambiente Construído 24, e131790; 2024.
- [5] Ferreira DHAA, Leles PSS, Oliveira Neto SN, *et al.* Crescimento e produção de eucalipto na região do Médio Paraíba do Sul, RJ. Floresta e Ambiente 24: e00131315. 2017.
- [6] Serviço Florestal Brasileiro (SFB). Florestas naturais [Internet]. Brasília (DF): Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF); 2025 [acesso 20 jun 2025] Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/temas-florestais/recursos-florestais/florestas-naturais>.
- [7] Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual 2023 [Internet]. IBÁ; 2025 [acesso 20 jun 2025]. Disponível em: <https://shre.ink/xVMu>.
- [8] Paludzysyn Filho E, Santos PET, Ferreira CA. Eucaliptos indicados para o plantio no Estado do Paraná 1ª ed. 45p. Colombo: Embrapa Florestas: Documentos 129. ISSN 1679-2599; 2006.
- [9] Evangelista WV (organizador). Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades 2. 285p. Guarujá (SP): Científica Digital; 2021.
- [10] Larson PR, Kretschmann DE, Clark A III, Isebrands JG. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Madison (WI): USDA Forest Products Laboratory; 2001. 42 p. doi.org/10.2737/FPL-GTR-129
- [11] Garbachevski ÉM, Hillig E, Abreu Neto R, *et. al.* Physico-mechanical properties and growth characteristics of pine juvenile wood as a function of age and planting spacing. Rev Árvore 46:e4627; 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820220000027>
- [12] Pearson RG, Ross BE. Growth rate and bending properties of selected loblolly pines. Raleigh (NC): Agricultural Research Service of North Carolina State University 16(1):37-47; 1984.
- [13] Lobão MS, Della Lúcia RM, Moreira MSS, Gomes A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Rev Árvore 28(6):889-894; 2004.
- [14] Gonçalves JC, Breda LCS, Barros JFM, *et.al.* Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis*. Ciênc Florestal 16(3):329-341; 2006.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira. Partes 1–6. Rio de Janeiro: ABNT; 2022.
- [17] 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>.
- [18] Osborne JW. Notes on the use of data transformations. Practical Assessment, Research & Evaluation 8(6); 2002.
- [19] Magalhães LN, Santos PRDL. A madeira laminada colada como material estrutural de uma construção sustentável. Belo Horizonte: Construindo 1(2):25-27. 2009.
- [20] Gonçalves JC, Breda LCS, Barros JFM, Macedo DG, *et. al.* Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis*. Ciência Florestal 16(3):329-341; 2006.
- [21] 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.
- [22] Miotto JL, Dias AA. Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto. Rev Tecnológica (Maringá) :35-45. Edição Especial ENTECA 2009;2009.

- [23] 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.
- [24] Zenid, GJ. Madeira: uso sustentável na construção civil. 2a ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA; 2009.
- [25] Oliveira JTS, Paes JB, Vidaurre GB. Resistência biológica da madeira de espécies de eucalipto ao ataque de cupim de madeira seca. *Sci Florestalis* 45(113):145-150; 2017. doi:10.18671/scifor.v45n113.14.