

COEFICIENTES DE POISSON DETERMINADOS EM MADEIRA DE *EUCALYPTUS GRANDIS* PELA TÉCNICA DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO

Gilberto Junio da Silva¹, Tatiane Ferreira Rodrigues¹; Ana Lúcia Crespo Oliveira*¹; Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco¹

*Autor de contato: anacrespo.oliveira@gmail.com

¹Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

Os coeficientes de Poisson são propriedades elásticas essenciais para a modelagem numérica de elementos estruturais. A madeira em função de sua complexa estrutura anatômica, um material anisotrópico, apresenta seis coeficientes de Poisson, determinados ao longo do tempo a partir de diferentes métodos de ensaio, estáticos e dinâmicos, em diversas formas de corpos de prova. O presente trabalho utilizou a técnica de excitação por impulso para o ensaio não destrutivo. Foram preparados corpos de prova de 150 x 35 x 15 mm retirados de seis direções em três planos mutuamente perpendiculares de simetria elástica. Os valores determinados, com a inclusão das incertezas de medição, foram comparados com valores da literatura. A técnica adotada demonstra-se promissora, pois a partir das frequências naturais do material, potencializou-se a determinação de coeficientes de Poisson negativos, em corpos de prova mais simplificados contemplando os planos de simetria elástica na madeira.

Palavras-chave: coeficiente de Poisson; propriedade elástica; teste não destrutivo.

ABSTRACT

Poisson's ratios are elastic properties essential for numerical modeling of structural elements. Wood, due to its complex anatomical structure, is an anisotropic material and has six Poisson's ratios, determined over time using different static and dynamic test methods in various specimen shapes. This study used the impulse excitation technique for non-destructive testing. Specimens measuring 150 x 35 x 15 mm were prepared from six directions in three mutually perpendicular planes of elastic symmetry. The determined values, including measurement uncertainties, were compared with values from literature. The adopted technique is promising, since the natural frequencies of the material have been used to determine negative Poisson's ratios in more simplified specimens that include the planes of elastic symmetry in wood.

Keywords: Poisson's ratio; elastic properties; nondestructive testing.

1. INTRODUÇÃO

Nos cálculos numéricos e nas complexas análises estruturais de estruturas e conexões de madeira é necessário a definição dos coeficientes de Poisson. Winter *et al.* (2023) afirmam que esses valores muitas vezes são negligenciados pelo fato de variarem muito na literatura técnica. Bucur; Najafi (2002) afirmam que a determinação do coeficiente de Poisson para madeira e compósitos de madeira representa uma das tarefas mais difíceis para os experimentalistas.

As dificuldades referem-se, principalmente, à captura das particularidades elásticas da madeira considerando as três direções mutuamente perpendiculares: longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T), e as suas interações nos planos: longitudinal-radial, longitudinal-tangencial e radial-tangencial (Bucur, 2023; Tobola *et al.*, 2019).

Na obtenção de índices de Poisson confiáveis para a madeira, Gonçalves *et al.* (2019) acrescentam que existe uma particular dificuldade especialmente no caso de RL e TL pelo fato de corresponderem a deformações muito pequenas e em todos os demais planos porque eles exigem que os anéis de crescimento estejam muito bem alinhados com os eixos e o mais reto possível na seção transversal. A este respeito, MacIntery; Woodhouse (1986) afirmam que a madeira não é espacialmente homogênea, os anéis são curvos e têm espaçamento finito e irregular, o ângulo entre fibras e anéis não são precisamente de 90°.

Bucur e Archer (1984) e Keuneche *et al.* (2007) enfatizam que a melhor forma para se obter resultados que se aproximem das condições ortotrópicas da madeira seja com a utilização de corpos de prova pequenos, nos quais a curvatura dos anéis de crescimento possa ser negligenciada.

Diferentes metodologias foram adotadas para a realização desses estudos: ensaios estáticos convencionais, avaliando compressão, tração, flexão e torção e ensaios não destrutivos por técnicas de vibração longitudinal, vibração transversal, ultrassom e ondas de tensão (Ballarin; Nogueira, 2003).

Dentre os ensaios não destrutivos, destaca-se a técnica de excitação por impulso (TEI), padronizada pela ASTM E 1876 (2022). A TEI permite a determinação de propriedades elásticas dinâmicas de um material a partir da geometria, da massa e das frequências de ressonância mecânica de um corpo de prova adequadamente preparado. As propriedades elásticas determinadas (módulo de Young dinâmico e módulo de cisalhamento dinâmico) são utilizadas para calcular o índice de Poisson.

A utilização da TEI vem se expandindo para avaliar as propriedades elásticas de madeiras de diferentes espécies nativas tropicais e de espécies plantadas, de chapas de madeiras de espécies plantadas (Segundino *et al.*, 2012; Carrasco *et al.*, 2017; Pizzol *et al.*, 2017; Silva, 2021; Soares, *et al.*, 2021; Guimarães; Goes; Carrasco, 2023).

Coelho *et al.* (2021) analisaram corpos de prova de concreto com a TEI em temperatura ambiente e sob temperaturas elevadas determinando os módulos elásticos nessas condições.

Smits (2018) determinou as propriedades elásticas de bambu lamelado colado cruzado sob altas temperaturas também utilizando a TEI.

Alves (2017) adotou a TEI determinando, além dos módulos de Young dinâmico e de cisalhamento dinâmico, também os seis coeficientes de Poisson de seis espécies nativas de madeiras tropicais concluindo, porém, a necessidade de mais estudos para a determinação do coeficiente de Poisson.

Para a experimentação em corpos de prova de madeira, a ASTM E 1876 (2022) alerta que a anisotropia pode adicionar erros adicionais de cálculo, devendo-se garantir que a geometria e a massa estejam dentro das tolerâncias especificadas.

A importância da correta caracterização dos coeficientes de Poisson, para a segurança das estruturas de madeira, por meio de técnicas não destrutivas e mais expeditas, se justifica.

Portanto, esta pesquisa se propõe a determinar os coeficientes de Poisson de madeira de *Eucalyptus grandis*, espécie amplamente utilizada na construção civil e na preparação de madeira engenheirada lamelada colada e lamelada colada cruzada adotando a técnica de excitação por impulso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

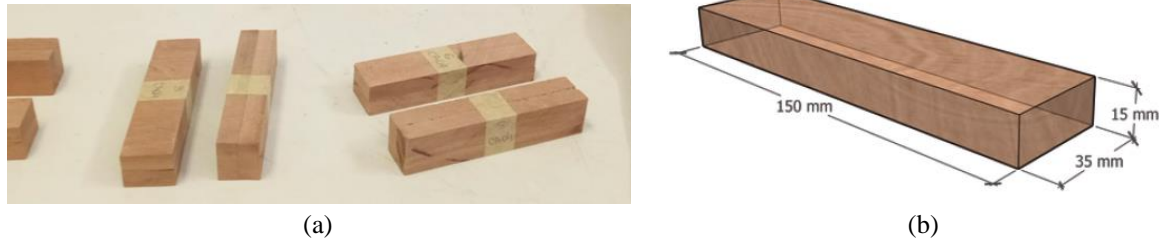
2.1. Corpos de prova

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Ensaios Não-Destrutivos (LENADE) da Escola de Arquitetura e Design da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Utilizaram-se 10 tábuas de *Eucalyptus grandis* de dimensões médias 3250 mm x 220 mm x 40 mm provenientes de florestas plantadas em Martinho Campos/MG previamente secas em estufa.

A partir dessas peças foram preparados cento e vinte (120) corpos de prova (CPs) (Figura 1, a) com dimensões de 150 mm x 35 mm x 15 mm (Figura 1, b) seguindo orientações do Manual Técnico da ATCP Engenharia Física (2023) para a correta identificação das frequências pelo *software* Sonelastic.

Sessenta (60) CPs foram preparados a partir de tábuas com densidade aparente inferior a 700 kg/m³ e os outros 60 CPs preparados a partir de tábuas identificadas com densidade aparente superior a 700 kg/m³.

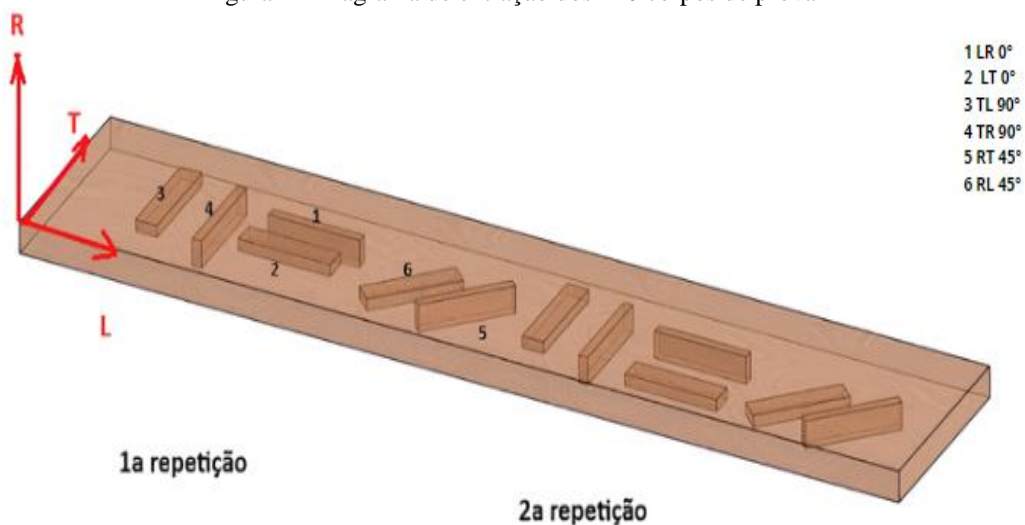
Figura 1 – Amostra de CP extraídos de tábuas de *Eucalyptus grandis*



Fonte: os autores.

Os CPs foram retirados (em duas repetições) em seis direções: dois na direção longitudinal (0° com a direção das fibras), dois na direção tangencial (90° com a direção das fibras) e dois formando ângulo de 45° com a direção das fibras) buscando contemplar os três planos de simetria elástica mutuamente perpendiculares: tangencial-radial (TR e RT), tangencial-longitudinal (TL e LT) e longitudinal-radial (RL e LR), conforme a Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de extração dos 120 corpos de prova



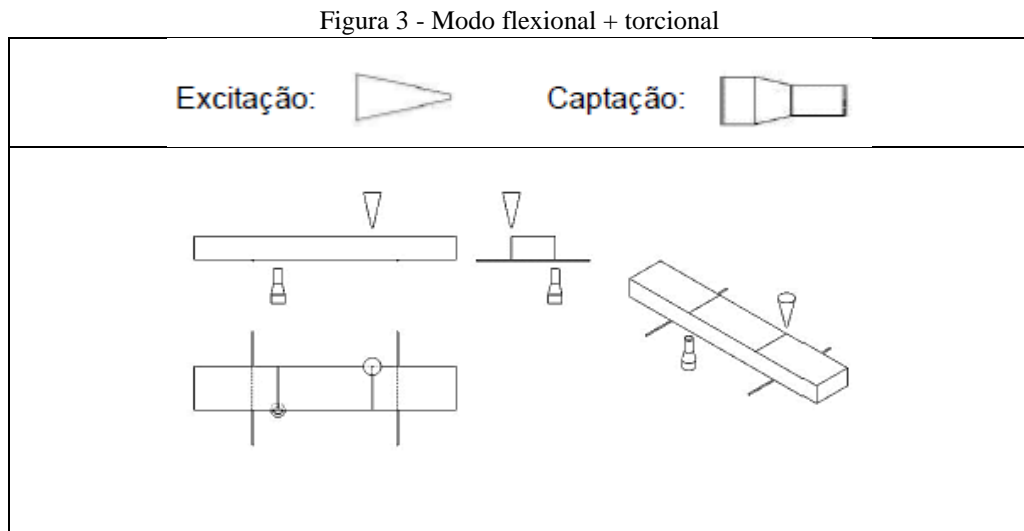
Fonte: os autores.

2.2. Equipamentos e metodologia de ensaios

As dimensões nominais dos CPs e suas massas foram determinadas por instrumentos de precisão (paquímetro e balança de precisão). Para a implementação da TEI foi utilizado o dispositivo médio da Sonelastic produzido pela ATPC interligado ao computador com o *software* Sonelastic. O dispositivo composto por uma barra ajustável, acomoda o CP, um pulsador, que quando acionado impulsiona o CP (sem contato físico) e um captador que transmite a frequência emitida para o *software* Sonelastic.

O modo de vibração adotado foi o Flexional-Torcional que permite a caracterização do módulo elástico dinâmico (E), o módulo de cisalhamento dinâmico (G) e o coeficiente de Poisson (ν). A vibração acontece a partir da excitação e captação na posição $0,32L$ (L = comprimento do

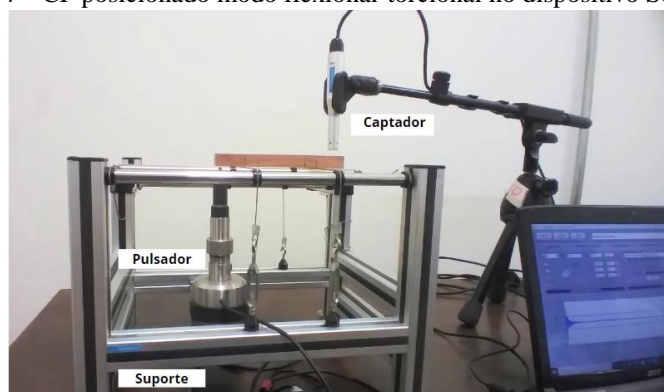
CP). O posicionamento do CP para a excitação e a captação no modo flexional + torcional encontra-se ilustrado na Figura 3.



Fonte: Manual Técnico da Empresa ATCP Engenharia Física (2023).

Iniciando-se os testes, foi necessário buscar um ponto fora do $0,32L$ calculado, para posicionar o captador e o pulsador, conforme especificado no Manual de Instalação e Operação do Suporte ajustável (ATCP, 2022), pois nesses pontos não se conseguia captação correta das frequências. Alves (2017) também observou essa dificuldade e orienta situar, tanto o captador quanto o pulsador, conforme Figura 4, próximo às bordas do CP, em diagonal. A imagem apresenta o CP posicionado no suporte, a localização do captador e do pulsador conectado ao *software* via computador.

Figura 4 – CP posicionado modo flexional-torcional no dispositivo Sonelastic

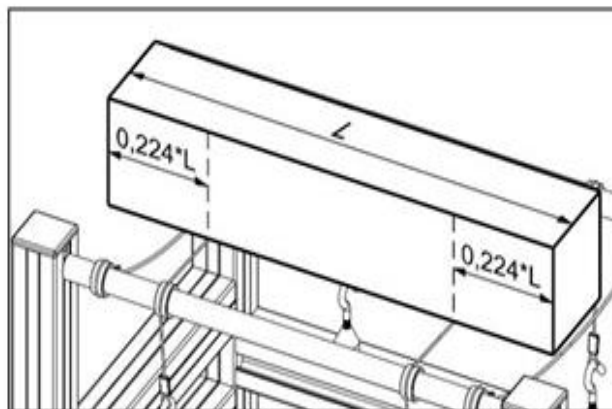


Fonte: os autores.

As três dimensões, em mm, e massa, em g, de cada CP são informadas ao *software* Sonelastic com as respectivas incertezas de medição dos equipamentos. O CP é posicionado de forma simétrica nos cabos do suporte a uma distância de $0,224L$ de suas extremidades, sendo L o comprimento do CP, como ilustrado na Figura 5.

Segundo a ASTM E1876 (2020), o método de determinação das propriedades dinâmicas de materiais, o método dinâmico, envolve a aplicação de uma carga (uma onda de choque ou vibração) via pulsador para induzir deformações no material. Dessa forma, as respostas do material a essas cargas dinâmicas são então utilizadas para calcular o coeficiente de Poisson.

Figura 5 – Posição do CP no suporte para ensaio flexional-torcional



Fonte: Manual Técnico da Empresa ATCP Engenharia Física (2023).

2.3. Determinação de incertezas de medição

Ao especificar uma variável física é importante incluir a incerteza de medição, pois todos os resultados de medição incluem erros (Winter *et al.*, 2023). As análises do coeficiente de Poisson incluíram o cálculo da incerteza de medição das médias determinadas para os valores obtidos considerando as duas faixas de densidades das madeiras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A amostra com densidade $> 700 \text{ kg/m}^3$ está constituída de 05 tábuas de madeiras da espécie *Eucaliptus grandis* com densidades entre 851,75 e 766,30 kg/m^3 (densidade média de 809,03 kg/m^3) enquanto a amostra com densidade $< 700 \text{ kg/m}^3$ está constituída de 05 tábuas de madeiras de *Eucaliptus grandis* com densidades entre 735,64 e 632,28 kg/m^3 (densidade média de 683,96 kg/m^3).

Foram realizados ensaios com os 120 corpos de provas em 6 direções a partir da TEI para obtenção de valores do coeficiente de Poisson, aplicando-se o modo flexo-torcional.

As Tabelas 1 e 2 contemplam os resultados de coeficiente de Poisson, com as estatísticas calculadas: média, mínimo, máximo, desvio padrão (Desvpad), coeficiente de variação (CV) e Incerteza, para as amostras com densidade $> 700 \text{ kg/m}^3$ e $< 700 \text{ kg/m}^3$, respectivamente.

Tabela 1 – Estatísticas para resultados de Poisson para madeiras > 700 kg/m³

Estatísticas	μLR (Ad.)	μLT (Ad.)	μTL (Ad.)	μTR (Ad.)	μRT (Ad.)	μRL (Ad.)
Média (Ad.)	0,63	0,78	-0,22	-0,09	0,57	-0,16
Mín. (Ad.)	0,19	0,61	-0,52	-0,64	-0,26	-0,55
Máx. (Ad.)	1,08	1,01	0,38	0,20	2,33	0,37
Desvpad (Ad.)	0,31	0,15	0,24	0,26	0,71	0,24
CV (%)	49,69	19,20	-109,88	-303,85	126,21	-148,81
Incerteza (Ad.)	0,10	0,05	0,07	0,08	0,23	0,08

Fonte: os autores.

Tabela 2 – Estatísticas para resultados de Poisson para madeiras < 700 kg/m³

Estatísticas	μLR (Ad.)	μLT (Ad.)	μTL (Ad.)	μTR (Ad.)	μRT (Ad.)	μRL (Ad.)
Média (Ad.)	1,26	0,96	-0,11	0,29	0,60	-0,06
Mín. (Ad.)	0,71	0,51	-0,29	-0,29	-0,26	-0,29
Máx. (Ad.)	2,86	1,41	0,74	1,15	1,86	0,36
Desvpad (Ad.)	0,64	0,29	0,30	0,40	0,59	0,21
CV (%)	50,60	29,89	-279,68	137,11	97,65	-376,29
Incerteza (Ad.)	0,20	0,09	0,10	0,13	0,19	0,07

Fonte: os autores.

A Tabela 3 apresenta os valores de coeficientes de Poisson determinados neste presente trabalho obtidos pela TEI e valores de coeficiente de Poisson determinados por diversos pesquisadores. Além dos valores de coeficientes de Poisson, são incluídos os nomes dos autores, espécies investigadas, densidade aparente média das madeiras investigadas, em kg/m³, tipo de técnica de ensaio adotada (TEI, Ultrassom (US), Estático). Para as pesquisas que não contemplam a densidade da madeira, foi escrito N/C (não contempla).

Tabela 3 – Coeficientes de Poisson obtidos por diferentes pesquisadores

Autores Espécie Dap,m (kg/m ³) Tipo de ensaio	μLR	μLT	μTL	μTR	μRT	μRL
Esta pesquisa <i>Eucalyptus grandis</i> > 700 809,03 kg/m ³ TEI	0,63 ± 0,10	0,78 ± 0,05	-0,22 ± 0,07	-0,09 ± 0,08	0,57 ± 0,23	-0,16 ± 0,08

Esta pesquisa <i>Eucalyptus grandis</i> < 700 683,96 kg/m ³ TEI	1,26 ± 0,20	0,96 ± 0,09	-0,11 ± 0,10	0,29 ± 0,13	0,60 ± 0,19	-0,06 ± 0,07
Bodig; Jayne (1982) Folhosas N/C Estático	0,37	0,50	0,027	0,33	0,67	0,044
Mascia (1991) Angico N/C Estático	0,5089	0,4549	0,0239	0,4975	0,8068	0,0484
Mascia (1991) Ipê N/C Estático	0,4345	0,479	0,027	0,3532	0,6136	0,0371
Mascia (1993) Folhosas N/C Estático	0,471	0,467	0,025	0,425	0,71	0,043
Furlani (1995) Angico N/C Estático	0,3854	0,5019	0,0404	0,4	0,7042	0,0444
Bucur; Kazemi (2002) Douglas fir 438 kg/m ³ US	1,664	-0,095	0,003	1,232	0,595	0,103
Trinca (2011) <i>Eucalyptus saligna</i> N/C US	1,23	0,27	0,024	0,22	0,46	0,34
Trinca (2011) Cupiúba N/C US	1,358	0,48	0,062	0,238	0,288	0,247
Gonçalves <i>et al.</i> (2014) Garapa N/C US	0,295	0,438	0,046	0,351	0,537	0,046

Alves (2017) Garapa 946 kg/m ³ US	0,87	0,84	0,1	0,42	0,57	0,14
Alves (2017) Angelim-pedra 761 kg/m ³ TEI	0,84	0,75	0,08	0,28	0,42	0,13
Crespo (2017) <i>Eucalyptus</i> globullus 760 kg/m ³ US	0,452	0,588	0,032	0,325	0,696	0,052
Winter <i>et al.</i> (2023) Spruce 412 kg/m ³ Estático	0,492±0,123	0,436±0,085	0,016±0,005	0,233±0,044	0,517±0,085	0,064±0,017
	μLR	μLT	μTL	μTR	μRT	μRL

N/C = não contempla.

Fonte: os autores.

A partir da análise da Tabela 3, pode-se verificar que os valores determinados nas 6 direções nesta presente pesquisa, encontram-se dentro dos valores relacionados na literatura, obtidos a partir de diferentes técnicas de ensaios.

Bucur e Archer (1984) e Keuneche *et al.* (2007) enfatizam que a melhor forma para se obter resultados que se aproximem das condições ortotrópicas da madeira contempla a utilização de corpos de prova de pequenas dimensões, nos quais a curvatura dos anéis de crescimento possa ser considerada.

4. CONCLUSÃO

Observou-se que a metodologia adotada neste estudo foi eficaz em produzir resultados consistentes com aqueles já descritos na literatura. A aplicação desse método permitiu a utilização de corpos de prova de execução mais simples, facilitando o processo experimental sem comprometer a precisão dos dados obtidos.

As medições para verificar as razões de Poisson, incluindo as incertezas de medição, foram realizadas por meio da Técnica de Excitação por Impulso, também conhecida como técnica das frequências naturais de vibração.

Essa é uma abordagem não-destrutiva que permite determinar as propriedades elásticas dos materiais através das frequências naturais de vibração dos corpos de prova, como indicado pelo ASTM E 1876 (2022).

Com relação à determinação das propriedades elásticas por métodos de ensaio convencionais, Trinca (2011, p.2) afirma ser “dispendioso, complicado e trabalhoso, além de exigir equipamento de elevado custo em função da capacidade de carga requerida” apresentando dificuldades qualquer que seja o método utilizado.

Os resultados, que demonstraram uma alta compatibilidade com os valores já estabelecidos, validaram a eficácia da abordagem utilizada.

É importante dar continuidade com as pesquisas e aplicar a mesma metodologia com espécies nativas de variadas densidades, aperfeiçoando o entendimento das propriedades mecânicas e elásticas da madeira, ampliando o seu uso e fomentando o desenvolvimento com materiais sustentáveis.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e da FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. **Determinação das constantes elásticas da madeira considerando sua ortotropia**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AW2LAD> . Acesso em: 25 ago. 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration**. ASTM Designation E 1876-2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 7190-2 – Projeto de estruturas de madeira. Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira**. Rio de Janeiro, 2022.

ATCP ENGENHARIA FÍSICA. **Manual de instalação e operação Software Sonelastic® 6.0**. São Paulo: ATCP Engenharia Física, 2022. Disponível em: <https://www.sonelastic.com/images/downloads/Manual-Software-Sonelastic-5.0-v5.1-PT.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

ATCP ENGENHARIA FÍSICA. **Manual de Instalação e Operação**. Suporte ajustável para barras e cilindros SA-BC. Acesso em: <https://www.sonelastic.com/pt/productos/suportes-amostras.html>. 2022.

BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M. Caracterização elástica da madeira de Eucalyptus citriodora. CERNE, V.9, N.1, p.066-080, 2003.

BODIG, J. & JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1982. p. 419.

BUCUR, V.; KAZEMI N. S. Negative Poisson Ratios in Wood and Particleboard with Ultrasonic Technique. 2002.

BUCUR, V.; ARCHER, R.R. **Elastic constants for wood by an ultrasonic method.** Wood Sci Technol, 1984, 18:255-265. BUCUR, V. **Acoustics of wood.** 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2006. 393p. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00353361>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BUCUR, V.; NAJAFI, S. K. **Negative Poisson ratios in wood and particleboard with ultrasonic technique.** In: Nondestructive characterization of materials XI, Springer, Berlin, Germany, 2002. DOI 10.1007/978-3-642-55859-7

BUCUR, V. A Review on Acoustics of Wood as a Tool for Quality Assessment. Forests 2023, 14, 1545. <https://doi.org/10.3390/f14081545>

CARRASCO, E. V. M.; VARGAS, C. B. ; SOUZA, M. F.; MANTILLA, J. N. R. Avaliação das características mecânicas da madeira por meio de excitação por impulso. Revista Matéria. ISSN 1517-7076 artigo e-11936, 2017.

COELHO, T. A. P.; DINIZ, S. M. C.; RODRIGUES, F. C.; COILEB, R. V. Experimental investigation of the elastic modulus of high strength concrete at elevated temperatures. Applications of Structural Fire Engineering, -11 June 2021, Ljubljana, Slovenia.

CRESPO, J. et al. **Comparative Analysis of the Elastic Constants Measured via Conventional, Ultrasound, and 3-D Digital Image Correlation Methods in Eucalyptus globulus Labill.** BioResources ,North Carolina, p.3728-3743., jul. 2017. Disponível em: https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1_mELHAK1i0a-elmNxxgETR1RQvQ8zKPtZ. Acesso em 26 ago. 2024.

FURLANI, J.E. **Um estudo sobre a variação numérica do coeficiente de Poisson na madeira, considerando a anisotropia do material.** 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Departamento de Construção Civil, UNICAMP, Campinas, 1995. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-B78FLF/1/61.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

GONÇALVES, R.; TRINCA, A. T. **Elastic constants of wood determined by ultrasound using three geometries of specimens.** Wood Sci Technol, 2014, Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1187616>. Acesso em 25 ago. 2024.

GONÇALVES, R.; GARCIA, G. H. L.; BRAZOLIN, S.; BERTOLDO, C.; RUY, M. Methodology for the Characterization of Elastic Constants of Wood from Tree Branches. BioResources, 2019. 14(4), 8439-8454.

GUIMARÃES, A. B.; GÓES, M. B.; CARRASCO, E. V. M. Ensaio de propagação de ondas em corpos de prova de compostos de madeira. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 4, n. 6, p. e463112, 2023. DOI:

10.47820/recima21.v4i6.3112. Disponível em:
<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3112>. Acesso em: 1 set. 2024.

KEUNECKE, D.; SONDEREGGER, W.; PERETEANU, K.; LÜTHI, T.; NIEMZ, P. Determination of Young's and shear moduli of common yew and Norway spruce by means of ultrasonic waves. *Wood Sci Technol* (2007) 41:309-327. DOI: 10.1007/s00226-006-0107-4

MASCIA, N.T. **Considerações a respeito da anisotropia na madeira**. 1991. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991. Disponível em:
web.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1991DO_NilsonTadeuMascia.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

MASCIA, N.T., “Valores das constantes de Elasticidade na madeira”. 11o. Encontro Nacional da Construção Civil, 1, 59, 1993.

MCINTYRE, M.E.; WOODHOUSE, J. On measuring wood properties, Part 3. *J. Catgut Acoust. Soc. JCAS* 1986, 45, 14–23.

PIZZOL, V. D.; MANTILLA, JUDY; CARRASCO, E. (2018). **Caracterização elástica de compensados de madeira utilizados e reutilizados em fôrmas através de excitação por impulso**. *Matéria* (Rio de Janeiro). 22. 10.1590/s1517-707620170005.0264.

SEGUNDINHO, P. G. A.; COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A.; CALIL JUNIOR, C. Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de Vibração para obtenção do módulo de elasticidade de peças Estruturais de madeira. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, v.36, n.6, 2012.

SILVA, V. A. N. **Caracterização não destrutiva de elementos de madeira usando a Técnica de Excitação por Impulso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.

SMITS, M. A. Caracterização do bambu laminado colado para uso estrutural. 2018. 147 f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

SOARES, L. S. Z. R.; SILVA, D. A. L.; PANZERA, T. H.; DIAS, A. M. P. G.; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. **Estimativa de propriedades da madeira Mandioqueira pela frequência natural de vibração e pela densidade aparente**. *Revista Matéria*, v.26, n.3, 2021. ISSN 1517-7076 artigos e13051, 2021.

TOBOŁA, U. M.; ŁAPKA, M.; TABOR, S.; NIEŚŁONY, A.; FINDURA, P. **Influence of wood anisotropy on its mechanical properties in relation to the scale effect**. *Int. Agrophys.*, 2019, 33, 337-345. doi: 10.31545/intagr/110808.

TRINCA, A. **Metodologia para determinação das constantes elásticas da madeira por ultrassom**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em:



https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_cde317605187daa5cf6368acb2d74b3f.

Acesso em: 25 ago. 2024.

WINTER, C.et al. **A new approach to determine and evaluate the poisson's ratio of wood.**

World Conference on Timber Engineering Oslo, 2023.366-375. Disponível em:

<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000162604>. Acesso em: 25 ago. 2024.