

## Determinação da resistência e elasticidade do *Eucalyptus saligna* na linha de produção de uma serraria

Priscila Roel de Deus<sup>1</sup>, João H.S. Lima<sup>2</sup>; Wagner Luis Ferreira dos Santos<sup>3</sup>;  
Ana Leticia Vergueiro de Moraes<sup>4</sup>; Clayton Santos de Arruda<sup>5</sup>

**Resumo** - A necessidade das inovações tecnológicas na indústria madeireira e a indústria de base florestal afetam a competitividade no mercado, a qualidade do produto ofertado e a segurança das informações fornecidas. O conhecimento das propriedades físicas incentiva o avanço tecnológico, além de ampliar o investimento em produtos madeireiros de qualidade. Para o uso efetivo da madeira como material estrutural competitivo é fundamental conhecer as suas propriedades físico-mecânicas. Essas propriedades são obtidas através de ensaios mecânicos baseada na norma Brasileira através de ensaios destrutivos. Os ensaios mecânicos normatizados caracterizam as espécies quanto a sua utilização final. Para a determinação da resistência e rigidez da madeira são necessários confecção de no mínimo seis corpos de prova (amostras) retirados de maneira específica da tora e conseguinte das tábuas. Deste modo, não é viável a indústria de qualquer segmento madeireiro a realização destes ensaios devido a quantidade de madeira, investimento financeiro e principalmente ao tempo gasto para se obter esses dados. Porém a indústria compreende a necessidade das informações mecânicas e tem procurado soluções para agregar valor ao seu produto. Este trabalho tem como objetivo determinar módulo de elasticidade e a resistência do *Eucalyptus saligna* dentro da linha de produção de uma serraria de Capão Bonito - SP através de um ensaio não destrutivos.

**Palavras-chave:** Resistência mecânica, módulo de elasticidade, propriedades físicas.

**Abstract** - The need for technological innovations in the timber industry and a forest-based industry affect market competitiveness, product quality and assurance of the information provided. Knowledge of physical properties encourages technological advancement, as well as increasing investment in quality wood products. For the effective use of wood as competitive structural material it is fundamental to know how its physical-mechanical good. These properties are obtained through mechanical tests in line with the Brazilian standard through destructive tests. Normalized mechanical tests characterize

---

<sup>1</sup> Professora da Faculdade de tecnologia de Capão Bonito - [priscila.roel@fatec.sp.gov.br](mailto:priscila.roel@fatec.sp.gov.br)

<sup>2</sup> Graduando da Faculdade de tecnologia de Capão Bonito - [hriklima@gmail.com](mailto:hriklima@gmail.com)

<sup>3</sup> Graduando da Faculdade de tecnologia de Capão Bonito - [wagnercb1@hotmail.com](mailto:wagnercb1@hotmail.com)

<sup>4</sup> Graduando da Faculdade de tecnologia de Capão Bonito - [analeticia.vergueirodemoraes@gmail.com](mailto:analeticia.vergueirodemoraes@gmail.com)

<sup>5</sup> Graduando da Faculdade de tecnologia de Capão Bonito - [clayton-rock1@hotmail.com](mailto:clayton-rock1@hotmail.com)

**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

things as to their purpose. In order to determine the strength and rigidity of the wood, it is necessary to make a minimum of six specimens (samples) taken from the log of the log and obtain the boards. Thus, it is not feasible for an industry of any logging segment to carry out these tests due to the quantity of wood, financial investment and more time spent to obtain the data. However, an industry understands a need for mechanical information and has been looking for solutions to add value to its product. This work aims to determine the modulus of elasticity of wood commercialized in the region of Capão Bonito - SP through destructive and non destructive tests.

**Keywords:** Mechanical resistance, modulus of elasticity, physical properties.

## 1. Introdução

A madeira é um material que possui a anatomia com três direções de simetria, a direção longitudinal na direção das fibras, direção radial na direção dos raios e tangencial direção que tangencia os anéis de crescimento. Deste modo, a caracterização mecânica é método para obter informações do comportamento da madeira, principalmente em sua utilização estrutural. Os métodos não destrutivos também podem auxiliar na busca dessas informações, porém a resistência e rigidez, bem como a densidade do material, devem ser informações já definidas por ensaios normativos.

Entende-se então, que sempre há correlação entre os resultados dos ensaios destrutivos e não destrutivos. Para a indústria escolher um lote de madeira, separar, confeccionar corpos de prova e enviar para a realização de ensaios mecânicos não é um processo interessante, demanda tempo, madeira e dinheiro. Assim, os ensaios não destrutivos podem ser aplicados na própria linha de produção, com desenvolvimento de técnicas e equipamentos adequados agregam valor ao produto.

Neste sentido, a inovação tecnológica que envolve pesquisa, investimento e aplicação deve ser implantada com eficiência na cadeia produtiva desenvolvendo assim um produto de qualidade.

Segundo Soriano et al. (2011) pesquisadores em ensaios não destrutivos Non-Destructive Tests - NDT e Non-Destructive Evaluation - NDE tem aplicado essas técnicas no continente americano, na Ásia, na Austrália, na Nova Zelândia e na Europa.

Nota-se que aumenta os estudos nesta área pois é uma ferramenta importante de interferência das propriedades físicas aliado ao baixo investimento financeiro, velocidade de resposta e praticidade dos testes (BALLARIN E NOGUEIRA, 2005).

O ensaio não destrutivo de qualquer material sempre deverá ter correlação entre os resultados dos ensaios destrutivos, sem ocasionar danos ao material, cita Kollmann (1968). Andrade Junior (2016) comenta que os valores do módulo de elasticidade determinados com ensaio não destrutivo com

**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

dispositivo de tensão longitudinal com o Micro Timber Grader (MTG) apresenta resultados próximos ao resultado obtidos pelo ensaio de flexão estática da norma NBR 7190 (1997) em madeiras de *Eucalyptus grandis*.

Ballarin e Nogueira (2005) comentam que os ensaios destrutivos com a madeira de *Pinus taeda* apresentaram resultados superiores em 34%, mesmo assim os resultados não afetaram a classe de resistência da espécie.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho será determinar o módulo de elasticidade e a resistência do *Eucalyptus saligna* de madeira através de ensaio não-destrutivo de ondas de tensão longitudinal, com o aparelho Brookhuis Micro Timber Grader (MTG) dentro da linha de produção em uma serraria de Capão Bonito – SP.

## 2. Referencial Teórico

Num trabalho de comparação entre o método de ensaio não destrutivo de ultrassom e ensaios destrutivos normalizados, avaliou-se as correlações entre as resistências a compressão paralela e normal às fibras e ensaios não destrutivos. Foram ensaiadas a madeira de *Eucalyptus saligna* nas três direções anatômicas, foram verificados coeficientes de variação inferiores a 9%. Concluiu-se que a direção paralela às fibras demonstra resultados mais homogêneos e que a técnica não destrutiva se mostrou capacitada para aplicação do método à madeira (SORIANO et al. 2011).

Foi realizado um trabalho para determinar o módulo de elasticidade de madeiras de *Eucalyptus grandis* para classificar a classe de resistência correspondente. Utilizou-se ensaios não-destrutivos de ondas de tensão longitudinal, com o aparelho Brookhuis Micro Timber Grader (MTG) e ensaios normativos segundo a ABNT NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira. O foco é classificar baseado nestes dados a utilização mais adequada dentro dos processos, seja em serraria, indústria do segmento madeireiro. Comparando os resultados de Módulos de Elasticidade do MTG (ondas de tensão) e o de flexão estática, obteve-se resultados coerentes e aproximados, com correlação para a equação linear de  $R^2=0,932$  para a espécie *Eucalyptus grandis*. Deste modo, pode-se afirmar que os resultados apresentados pelo MTG complementam os ensaios mecânicos destrutivos, além de permitir o enquadramento das madeiras em classes de resistência de acordo com as normas nacionais e internacionais de uma forma rápida e prática ANDRADE JUNIOR (2016).

Para determinar resistência e rigidez de peças da madeira de Paricá foi proposto um trabalho que acorda com a norma ABNT NBR 7190: 2011, além da classificação visual. A madeira de Paricá possui rápido crescimento em pouco tempo, porém apresenta pequena quantidade de nós e defeitos, por isso este estudo foi realizado. Os resultados mostram que a madeira de Paricá é classificada como baixa densidade e pertence à classe C20 das dicotiledôneas. Classificação em que se encontra espécies com grande potencial de utilização na construção civil. Concluiu-se também que o Paricá possui propriedades físicas

**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

maiores ou iguais a madeiras convencionalmente utilizadas na construção civil, como por exemplo o *Pinus* sp (ALMEIDA et al. 2013).

Foi investigado a relação das medidas de comprimento, diâmetro e peças roliças de *Pinus elliottii* através do módulo de elasticidade (MOE). Foram determinados através de seis relações comprimento/diâmetro distintas, resultando em seis valores distintos de MOE por peça. O objetivo é observar se os ensaios normativos NBR 7190 (ABNT, 1997) são válidos para madeiras estruturais. Os resultados encontrados para as madeiras roliças não são coerentes com os apresentados pela norma brasileira, que utiliza uma relação diferente. Destaca-se que o ensaio de flexão estática a três pontos apresenta resultados de módulo de elasticidade confiáveis (ZANGIÁCOMO et al. 2014).

Foi realizado um estudo para identificar a deterioração em campo da madeira através de ensaios não destrutivos de ultrassom e destrutivos de flexão estática. Foram ensaiadas toras de 1,2 m de comprimento de *Tectona grandis* (teca), *Azadaractina indica* (nim), *Inga* sp. (ingá) e *Bagassa guianensis* (tatajuba) acompanhadas durante 18 meses em campo. Das toras sadias foram retiradas corpos de prova para flexão estática, e das toras deterioradas foram feitas ensaios não destrutivos (ultrassom - ondas). Os resultados dos ensaios destrutivos e não destrutivos foram comparados e verificou-se que as toras expostas apresentaram menor velocidade de propagação de ondas. As espécies de teca e tatajuba apresentaram maior deterioração. As espécies de tatajuba e teca demonstram perda de resistência mecânica com a deterioração. O ensaio não destrutivo torna o ensaio em campo possível e com resultados favoráveis e compatíveis (STANGERLIN et al. 2015).

Em um trabalho realizado com maçaranduba para identificar o módulo de elasticidade com método destrutivo e não-destrutivo, flexão estática e stress wave, respectivamente. Determinou-se a densidade, umidade e compressão paralela para obtenção do módulo de elasticidade. Os resultados classificaram, segundo a NBR 7190 (1997), a maçaranduba como classe de resistência estrutural C60. A medição através do stress wave demonstrou estimativa do módulo de elasticidade estático coerente e favorável. Conclui-se esse trabalho afirmando a importância de técnicas de avaliação não destrutiva para avaliar as propriedades da madeira na indústria madeireira, para melhorar o processo de controle de qualidade.

A análise de vibrações ou stress wave são os métodos não destrutivos mais utilizados para determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.

A vantagem em se utilizar os métodos não destrutivos são equipamentos portáteis, rapidez de resultados, não perda de matéria prima com corpos de prova e, conseqüentemente, evita-se a produção de resíduos. Há uma crescente demanda e também uma crescente investigação nessas técnicas não destrutivas para aumentar as informações e a qualidade da madeira (ROSA, 2013).

Foi proposto um trabalho para determinar o módulo de elasticidade da madeira *Qualea brevipedicellata* Stafleu e *Erisma uncinatum* Warm através de ensaios normativos destrutivos baseados na COPANT 30:1 – 00 (1972) e ensaios não destrutivos através do Stress Wave. Os resultados de ondas de tensão foram eficientes e favoráveis, com valores mais baixos no método não

**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

destrutivos. Além desses resultados é um teste interessante por não necessitar de corpos de prova, podendo ser realizado em toras ou em toras. Com a finalidade de determinar as propriedades físicas e mecânicas sem alterar a peça estudada e acrescentando dados para a sua capacidade de uso final (RIBEIRO et al. 2016).

O ensaio não destrutivo por vibração transversal para determinação do módulo de elasticidade em peças de madeiras vem sendo aplicada cada dia mais devido a eficiência e simplicidade em sua aplicação, além de utilizar peças de madeira com vigas, tabuas, toras entre outras, sem necessidade de corpos de prova. Mesmo assim, ainda não há quantidade significativa de trabalhos que envolvem esse tema (CHRISTOFORO et al. 2013).

A melhor forma de classificar a madeira para sua devida utilidade com qualidade e segurança é através do estudo e caracterização mecânica (ROEL, 2010). A Indústria Florestal tem evoluído visivelmente melhorando os processos e produtos para diversas finalidades tais como: indústria moveleira, construção civil, pisos e acabamentos, entre outros. Peças de madeira utilizada em estruturas podem apresentar imperfeições, defeitos, e grande variabilidade de propriedades físicas que alteram sua resistência. Para um maior conhecimento técnico e melhoramento da qualidade do produto recomenda – se que seja feita uma avaliação mecânica (ALMEIDA et al., 2013). Um dos meios de ensaios que podem ser realizados é o ensaio destrutivo de flexão estática baseado na normativa NBR 7190 (1997), porém esse ensaio não é viável para as indústrias, pois gera muitos gastos com madeira, investimentos e tempo para se obter esses dados (ANDRADE JUNIOR, 2016).

O ensaio não destrutivo de qualquer material sempre deverá ter correlação entre os resultados dos ensaios destrutivos, sem ocasionar danos ao material, cita Kollmann (1968). Nota-se que aumenta os estudos nesta área pois é uma ferramenta importante de interferência das propriedades físicas aliado ao baixo investimento financeiro, velocidade de resposta e praticidade dos testes (BALLARIN E NOGUEIRA (2005).

O objetivo deste trabalho foi realizar um ensaio não destrutivo e dentro das serrarias com um aparelho portátil diminuindo a distância entre indústria e laboratório através de um ensaio não destrutivo. Com a utilização do aparelho Micro Timber Grader (MTG), que mede o módulo de elasticidade através de uma frequência de ondas sem danificar o material torna possível a caracterização da madeira na própria indústria. Esses resultados serão comparados aos ensaios normatizados de flexão estática.

### **3. Método**

O BrookHuis Micro-eletronics Timber Grader é um dispositivo para medição do módulo de elasticidade por meio de ondas acústicas de tensão longitudinal. Deste modo, pode-se dizer que é um classificador mecânico para peças de madeira. O equipamento possui bateria recarregável, comunicação por bluetooth além de ser portátil, ideal para medições em serrarias e até em linha de produção (ROZEMA, 2013).



**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

A maleta com o equipamento MTG (Figura 1) trabalha em conjunto com o Software do programa “Timber Grader”, que controla o medidor MTG, além de fazer a leitura do módulo de elasticidade em N/mm<sup>2</sup>. Possui uma barra de calibração; adaptador bluetooth para a comunicação com o PC/laptop, um manual de instalação e aprovação CE e FCC do equipamento.

**Figura 1** - Conjunto do Equipamento portátil MTG.



Os métodos de ensaio foram baseados na norma ASTM D 4761 e no manual técnico do equipamento para estimar a resistência e a rigidez de peças estruturais.

Para realização do ensaio foi conectado o dispositivo ao software e à balança, em seguida escolheu-se no software em uma lista espécies além do lote a qual se trabalhou, como ilustra a Figura 2.

**Figura 2-** Montagem dos equipamentos na serraria.



**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

Determinou-se as dimensões da seção transversal; espessura (h) e largura (w) além do comprimento (L), além da umidade da madeira e a massa da peça de madeira. Essas informações foram colocadas no programa do MTG antecipadamente. A umidade e a temperatura ambiente no momento do ensaio seguem o padrão de referência de umidade à 12%. Foram inicialmente trabalhadas com 36 amostras.

Com todas as informações no software, o MTG e software devidamente conectados iniciou-se as medições nas peças de *Eucalyptus saligna*, encostou-se o dispositivo na extremidade da madeira e disparar o martelo, assim o software registrou a medida do Módulo de elasticidade da peça, como ilustra a Figura 3.

**Figura 3-** Medição do Módulo de elasticidade (MOE) através do MTG.



#### 4. Resultados e Discussão

Foram determinadas as medidas do módulo de elasticidade com MTG em 36 amostras e esses valores médios estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** - Resultados das propriedades físicas do *E. saligna*.

	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	MOE – MTG (MPa)
<b>Média</b>	692	16470,7
<b>Coefficiente de variação</b>	19	16,40

**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

O valor médio de densidade das madeiras de *E.saligna* resultou em 693 kg/m<sup>3</sup>,r valor inferior ao encontrado na literatura, segundo a Norma NBR 7190 (1997) a densidade básica para a mesma espécie foi de 731 Kg/m<sup>3</sup>. Fonseca (2016) obteve um resultado de densidade de 712,5 Kg/m<sup>3</sup> para a mesma espécie e em IPT (2017) que apresentou 690 Kg/m<sup>3</sup> de densidade básica, observa-se que são resultados do MOE destrutivo.

Através do método de ensaio não destrutivo MTG foi obtido o valor médio do módulo de elasticidade - MOE de 16470,7 MPa para a espécie de *E. saligna*, valor superior ao encontrado na NBR 7190 (1997) com o valor de 14933 MPa, porém os valores se encontram na mesma classe de resistência da espécie.

Em Queiroz (2013) e Gonzalez et al. (2006) apresentou valores de 17080 MPa e 17632,6 MPa respectivamente, resultado um pouco superior ao realizado nesse presente trabalho.

Como o objetivo deste trabalho visa determinar propriedades físicas dentro da serraria e durante o processo de serragem, nota-se que com esse dispositivo MTG isso se torna possível, viável e agrega valor ao produto comercializado. Vender madeiras com características técnicas e classificação normativa traduz em produtos com qualidade e segurança. Com esse aparelho essas características podem ser obtidas por apenas uma pessoa e dentro do processo diário e habitado da serraria, como observa-se na Figura 4.

**Figura 4-** Aplicação do MTG para obtenção do MOE e resistência da madeira.



## 5. Considerações finais

É possível obter o modelo de elasticidade e a resistência do *Eucalyptus saligna* na linha de produção de uma serraria e com resultados equivalentes ao encontrado na literatura. É importante ressaltar que dados técnicos referente à



**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

madeira acrescenta segurança e qualidade na aplicação do produto, bem como agrega valor ao material vendido.

**Referências**

ALMEIDA, D.H., SCALIANTE, R.M., MACEDO, L.B., MACÊDO, A.N., DIAS, A.A., CHRISTOFORO, A.L., E CALIL JUNIOR, C. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* HERB) em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013.

ANDRADE JUNIOR, J.R., STAMATO, G.C., DIAS, A.A., CHIMIRRI, T. **Comparação entre o Módulo de Elasticidade obtido por ondas De tensão e por flexão em madeiras de E. grandis**. XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 09-11/Mar, 2016, Curitiba, PR, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro. 1997.

BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultrassom. Engenharia Agrícola, v.25, n.1, p.19-28, 2005. Disponível em: . Acesso em: mar. 2013

BRASHAW, B.K.; BUCUR, V., DIVOS, F.; GONÇALVES, R.; LU, R, M.; PELLERIN, F.; POTTER, S.; ROSS, R.J.; WANG, X.; YIN, Y. Nondestructive testing and evaluation of wood: A worldwide research update. **Forest Products Journal**, v.59, n.3, p.7-14, 2009.

CHRISTOFORO, A.L., RIBEIRO FILHO, S.L.M., PANZERA, T.H., LAHR, F.A.R. Metodologia para o cálculo dos módulos de elasticidade longitudinal e transversal em vigas de madeira de dimensões estruturais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.4, p.610-615, mar, 2013.

FONSECA, M. A. Análise do Processo de Lixamento na madeira de *Pinus elliottii* e Eucalipto *Saligna*. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

GONÇALEZ, J.C. et al. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS MADEIRAS DE *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden E *Eucalyptus cloeziana* F. Muell VISANDO AO SEU APROVEITAMENTO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341.

QUEIROZ, G.N. **Propriedades físico mecânicas do Eucalyptus cloeziana**. Trabalho de Conclusão de Curso da Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito -SP. 2013.

**Saberes e práticas contemporâneas em gestão e inovação na Educação Profissional e em Sistemas Produtivos**

RIBEIRO, E.D., GONÇALEZ, J. C., SOUZA, R.S., PAULA, M. H. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos. **Nativa**, Sinop, v.4, n.2, p.103-106, mar./abr. 2016.

ROEL, P. **Comportamento ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus citriodora* através do ensaio “OFF-AXIS”**. Guaratinguetá : [s.n], 2010. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2010.

ROSA TS, TRIANOSKI R, IWAKIRI S, BONDUELLE GM, SOUZA H. Utilização de Cinco Espécies de Eucalyptus para a Produção de Painéis OSB. **Floresta e Ambiente** 2017; 24.

ROSA, R.A., FRANÇA, L.C.A., SEGUNDINHO, P.G.A., LUBE, V.M., Paes, J.B. Caracterização da madeira de maçaranduba (*manilkara* sp.) por métodos destrutivos e não destrutivos. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 05, n. 01, p. 68-78, 2014.

ROZEMA, P., **Timber Grader MTG – Operational instructions**. Brookhuis Micro-Electronics BV, Enschede Institutenweg, Enschede, Netherlands. Catálogo, 93 p., 2013.

SORIANO, J., GONÇALVES, R., BERTOLDO, C. & TRINCA, A. J. Aplicações do método de ensaio esclerométrico em peças de *eucalipto saligna* sm. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.3, p.322–328, 2011.

STANGERLIN, D.M., CORASSA, J.N., GATTO, D.A., PEREIRA, R.L., CASTELO, P.A.R. Caracterização mecânica de madeiras deterioradas em campo por meio de ultrassom e flexão estática. **Comunicata Scientiae** 6(3): 365-372, 2015.

ZANGIÁCOMO, A. L.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Módulo de elasticidade aparente em vigas roliças estruturais de madeira *Pinus elliottii*. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 7-13, jan./mar. 2014.