



# IDENTIFICAÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO MAIS SUSCEPTÍVEIS À QUEBRA PELO VENTO POR MEIO DE ENSAIOS DE ULTRASSOM A PARTIR DA MUDA

**Palavras-Chave:** MÓDULO-DE-ELASTICIDADE, FLEXÃO-ESTÁTICA, PROPAGAÇÃO-DE-ONDAS

**Autores(as):**

**JOÃO PAULO GIANASI, FEAGRI – UNICAMP**

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. CINTHYA BERTOLDO PEDROSO (orientadora), FEAGRI – UNICAMP; CAROLINA KRAVETZ (coorientadora), FEAGRI – UNICAMP; FERNANDA GUEDES, Sylvamo.**

---

## INTRODUÇÃO:

A indústria de papel e celulose tem buscado cada vez mais a utilização de clones de eucalipto para obter árvores com características desejáveis como: crescimento rápido, resistência a doenças e maior produtividade. No entanto, a seleção de clones nem sempre é livre de desafios, e alguns têm apresentado problemas graves de encurvamento e quebras, principalmente devido à ação dos ventos (BATISTA, 2012).

Os ventos fortes podem causar danos extensos às florestas brasileiras, afetando não apenas o crescimento e a fisiologia das árvores, mas também a ecologia de todo o ecossistema florestal (ATAÍDE et al., 2015). Batista (2012) ressalta que as quebras e encurvamentos por vento são atribuídos, em grande parte, às alterações genéticas promovidas pelas indústrias florestais, que visam aumentar o rendimento da polpa utilizada na produção de papel.

Com o objetivo de mitigar esses impactos negativos, empresas e instituições de pesquisa têm se dedicado a estudos para entender melhor a resistência e rigidez dos clones de eucalipto, pois, identificar clones mais suscetíveis à quebra e encurvamento pelo vento é algo crucial para otimizar a seleção e o manejo florestal, evitando prejuízos significativos (ATAÍDE et al., 2015).

Tendo em vista que a principal propriedade responsável pela resistência dos clones à ação do vento é a rigidez, a utilização de técnicas não destrutivas, como por exemplo o ultrassom, torna-se muito interessante na identificação de clones suscetíveis à quebra pelo vento, sendo possível separar os clones por rigidez, dentro de um grupo amostral (BATISTA, 2012). Inclusive, Lorensani (2017) demonstra a viabilidade de acessar essas propriedades mecânicas a partir de ensaios de ultrassom utilizando mudas de eucalipto. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi verificar se é possível identificar a partir da muda, clones mais susceptíveis à quebra devido à ação do vento, por meio da tecnologia de propagação de ondas de ultrassom.

## METODOLOGIA:

Nesta pesquisa, foram utilizados três clones de *Eucalyptus sp* (A, B e C) cultivados em duas regiões (R1 e R2) com diferentes condições edafoclimáticas. Para cada um dos clones foram utilizadas 30 mudas e 162 árvores de diferentes idades (1, 3 e 4 anos), sendo 9 árvores de cada idade e região, para obtenção de material para os ensaios estáticos em laboratório.

Os troncos das árvores foram cortados em laboratório para obter corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão, totalizando 162 amostras. Para isso foram utilizadas uma serra de fita (Eletrônica Três Torres LTDA, SS350, Brasil) e uma serra de mesa (Makita, MLT100, Brasil) para obtenção de corpos de prova com dimensões padronizadas (2 x 2 cm<sup>2</sup> e 42 cm de comprimento) de acordo com a norma ASTM D-198-15 (2016).

Os ensaios de flexão foram realizados na máquina universal de ensaios (EMIC, DL30000, Brasil), de acordo com a norma ASTM D-198-15 (2016), momento em que foram medidos as cargas e os deslocamentos verticais da madeira, por meio de um deflectômetro (Figura 1). Com os dados resultantes deste ensaio, foram calculadas a resistência à flexão ( $f_m$ ) e o módulo de elasticidade ( $E_M$ ) da madeira para cada árvore, utilizando as Equações 1 e 2, apresentadas na Tabela 1.

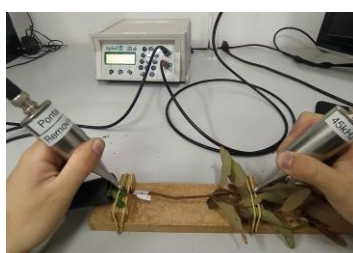


Figura 1. Ensaio de flexão com medições de carga e deformação vertical.

Após os ensaios de flexão, foi medida a umidade de cada corpo de prova rompido, para corrigir o módulo de elasticidade em relação a umidade de referência de 12%, de acordo com a ABNT NBR7190 (2022). A umidade foi medida utilizando um medidor de umidade (Merlin, PM1-E, Estados Unidos) configurado de acordo com a densidade básica esperada de cada clone ensaiado.

Para os ensaios com as mudas, foi utilizado o aparelho de ultrassom (USLab, Valora Madeira, Brasil) com transdutores de 45Khz, com pontas adaptadas (LORENSANI, 2017). A partir do fuste de cada muda, obteve-se o tempo de propagação da onda ultrassônica em 3 repetições (Figura 2a). Em seguida, para obtenção da velocidade de propagação, foi utilizada a Equação 3 (Tabela 1).

Com as mudas também foram realizados os ensaios de tração na EMIC, onde foi necessário instalar garras de pressão e um extensômetro para a coleta dos valores de deformação elástica das mudas (Figura 2b). Com os dados obtidos deste ensaio foi possível o cálculo do módulo de elasticidade na tração ( $E_{t0}$ ) e a resistência à tração nas mudas ( $f_{t0}$ ), a partir das Equações 4 e 5 (Tabela 1), seguindo as definições da norma ABNT NBR 7190 (2022).



(a)



(b)

Figura 2. Ensaios nas mudas de eucalipto. Ensaio de ultrassom (a) e ensaio de tração (b).

Tabela 1: Equações utilizadas de acordo com as normas vigentes.

Equação 1	Equação 2	Equação 3	Equação 4	Equação 5
$E_m = \frac{PL^2}{4bh^2(f_{40\%} - f_{10\%})}$	$f_m = \frac{3(P_{40\%} - P_{10\%})L}{2bh^3}$	$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	$f_{t0} = \frac{F_{t,max}}{A}$	$E_{t0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$
P = carga máxima; L = comprimento do vão livre; b e h = dimensões da seção transversal; f40% e f10% = deslocamentos verticais.	L = comprimento do vão livre; P40% e P10% = faixas utilizadas para o cálculo da carga máxima aplicada; b e h = dimensões da seção transversal.	$\Delta s = 0,15$ m (distância entre os transdutores); $\Delta t$ = tempo de propagação das ondas.	$F_{t,max}$ = força máxima obtida no ensaio; A = área da seção transversal da muda.	$\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$ = tensões correspondentes a carga máxima aplicada no ensaio; $\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$ = deslocamento correspondente as

Portanto, a partir dos corpos de prova retirados das árvores foi possível a obtenção de  $E_M$  e de  $f_m$  em flexão e, a partir das mudas foram obtidos  $f_{t0}$ ,  $E_{t0}$  e a velocidade ultrassônica (V). Posteriormente, com auxílio do software Statgraphics Centurion 19 (versão 19.1.2), os dados foram analisados em relação à normalidade, e foi calculada a média dos parâmetros para cada idade e clone, como também foi realizado o teste de comparação de médias (Multiple Range Test) com nível de confiança de 95%, para identificar se os valores entre clones apresentaram diferença estatística significativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados médios de módulos de elasticidade ( $E_M$ ) e de resistência à flexão ( $f_m$ ), obtidos a partir do ensaio de flexão, são apresentados na Tabela 2. As análises estatísticas dos dados apresentaram distribuição normal e, a partir dos testes de comparação de médias foi possível verificar se houve diferença estatística significativa entre os clones estudados por região (Tabela 2).

Tabela 2: Valores médios de módulo de elasticidade ( $E_M$ ) e de resistência à flexão ( $f_m$ ) e, coeficiente de variação (entre parêntesis em %) para os três clones de diferentes idades e as duas regiões de plantio.

	$E_M$ (MPa)						$f_m$ (MPa)					
	R1			R2			R1			R2		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<b>1 ano</b>	6929,2a (13,2)	7487,6a (11,3)	5587,5b (23,4)	2970,2a (12,9)	2294,6b (15,2)	2033,5b (25,8)	61,4a (23,5)	58,2a (8,8)	46,7b (10,0)	21,9a (10,2)	18,4b (11,1)	17,7b (10,0)
<b>3 anos</b>	10545,8a (22,3)	10056,0a (26,6)	6376,2b (22,7)	2627,3a (18,8)	2984,1a (14,8)	1944,8b (12,7)	61,7a (21,3)	58,5ab (23,0)	48,3b (12,4)	20,4ab (15,0)	20,6a (9,9)	18,1b (10,2)
<b>4 anos</b>	11066,1a (19,5)	6974,8b (19,6)	7088,7b (18,0)	3742,7a (19,5)	2535,0b (23,6)	1950,5c (15,1)	64,8a (14,0)	56,9b (8,7)	49,7c (12,5)	22,6a (10,0)	21,9a (16,3)	16,5b (10,2)

Nas linhas as letras iguais representam que não houve diferença estatística significativa entre os clones de cada região, enquanto que letras diferentes representam diferença estatística significativa entre os clones cultivados em determinada região.

Em relação aos valores de  $E_M$  das árvores, apresentados na Tabela 2, na região 1, os clones A e B, com 1 e 3 anos, não foram diferentes estatisticamente, mas se diferenciaram do clone C. Porém, aos 4 anos o clone A apresentou diferença em relação aos clones B e C. Na região 2 houve um comportamento diferente, com 1 ano de idade apenas o clone A se diferenciou dos clones B e C, enquanto que aos 3 anos os clones A e B foram diferentes estatisticamente do clone C. Aos 4 anos todos apresentaram diferença estatística significativa.

Analisando os valores de resistência à flexão (Tabela 2), na região 1, com um 1 ano, os clones A e B se diferenciaram do clone C. Aos 3 anos, os clones A e B também foram iguais, porém apenas o A se diferenciou

estatisticamente de C. Já aos 4 anos, houve diferença entre os valores apresentados pelos três clones. Na região 2, com 1 ano de idade, apenas o clone A se diferenciou dos demais, aos 3 anos de idade, porém, apenas o clone B se diferenciou do clone C, e aos 4 anos os clones A e B se diferenciaram estatisticamente de clone C.

Os valores de resistência ( $f_m$ ) e de rigidez ( $E_M$ ) obtidos nessa pesquisa estão de acordo com os resultados encontrados na literatura (BATISTA, 2012; LORENSANI, 2017). Na busca por clones com características específicas para atender as demandas do processo produtivo, é comum as empresas estudarem novos clones, provenientes de cruzamentos genéticos, o que promovem a diferenciação entre as espécies, justificando a diferenciação entre as propriedades mecânicas entre clones encontrados nessa pesquisa. Sendo assim, tanto em relação ao  $E_M$ , como os valores de  $f_m$ , o clone A apresentou os maiores valores para esses parâmetros, e o clone C apresentou os menores valores. De acordo com Batista (2012), a rigidez é uma das principais responsáveis pela resistência da árvore ao vento, e quanto mais flexíveis e resistentes mecanicamente, mais tolerantes estas serão aos danos causados pelas tempestades (MELO, 2004). Portanto, neste cenário, o clone A pode ser considerado como o clone com menor susceptibilidade à quebra pelo vento, enquanto que o clone C possui maior susceptibilidade.

Também foram realizados ensaios de ultrassom e tração em 30 mudas de cada um dos três clones (A, B e C). Como resultados destes ensaios foram obtidas as velocidades ultrassônicas, os módulos de elasticidade ( $E_{t0}$ ) e a resistência à tração nas mudas ( $f_{t0}$ ). Estes valores apresentaram distribuição normal e foram feitos testes de comparação de médias para identificar se houve diferença estatística significativa entre os clones. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises das mudas.

Tabela 3: Valores de média e coeficiente de variação (entre parêntesis em %) do módulo de elasticidade na tração ( $E_{t0}$ ), da resistência à tração ( $f_{t0}$ ) e da velocidade do ultrassom nas mudas, e resultado do teste estatístico de comparação de médias realizado para as mudas dos três clones (A, B e C).

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Módulo de elasticidade na tração (<math>E_{t0}</math> - MPa)</b>	4589,3a (40,8)	2343,7b (45,2)	1281,7c (53,1)
<b>Resistência à tração (<math>f_{t0}</math> - MPa)</b>	45,0a (31,5)	20,7b (38,5)	20,6b (37,6)
<b>Velocidade do Ultrassom (<math>m.s^{-1}</math>)</b>	1800,7b (11,5)	2167,6a (9,3)	1444,9c (13,2)

Nas linhas as letras iguais representam igualdade estatística entre os clones, enquanto que letras diferentes representam diferença estatística significativa entre eles.

Observando os resultados da Tabela 3, o  $f_{t0}$  das mudas não apresentou diferença estatística significativa entre os clones B e C, havendo apenas diferença do clone A em relação aos demais. Já o  $E_{t0}$  e a velocidade do ultrassom apresentaram diferença estatística entre os três clones. Dessa forma, o clone A apresentou os maiores valores de  $E_{t0}$  e  $f_{t0}$ , quando comparado aos clones B e C. Em relação à velocidade ultrassônica, o clone B apresentou o maior valor, contudo o clone A manteve um resultado com valores acima dos apresentados pelo clone C. Estes valores obtidos estão de acordo com resultados apresentados na literatura (LORENSANI, 2017), porém novamente o clone A apresentou valores maiores do que os publicados, o que pode ser justificado pela presença de diversos clones no mercado.

Portanto, considerando os valores das propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração das mudas ( $E_{t0}$  e  $f_{t0}$ ), o clone A apresentou os maiores valores para os parâmetros, e o clone C apresentou os menores valores.

Estudos realizados têm demonstrado a correlação entre os parâmetros de propagação de ondas de ultrassom com as propriedades de resistência e rigidez da madeira, assim considerando uma mesma espécie, os maiores valores de resistência e rigidez estão associados à maiores valores de velocidade ultrassônica (BERTOLDO, 2014). Assim, neste cenário, o clone A também pode ser considerado como o clone com menor susceptibilidade, enquanto que o clone C, é o de maior susceptibilidade à quebra pelo vento.

## **CONCLUSÕES:**

A partir dos ensaios de flexão realizados em corpos de prova, e dos ensaios de tração e ultrassom realizados em mudas, foi possível observar que ambos apresentaram como resultados, maiores valores dos parâmetros de resistência e rigidez para o clone A, e menores valores destes parâmetros para o clone C. Portanto, neste cenário, o clone A pode ser considerado como o clone com menor susceptibilidade à quebra pelo vento, enquanto que o clone C possui maior susceptibilidade. Como os resultados dos ensaios nas mudas diferenciaram os clones da mesma forma como os ensaios realizados nos corpos de prova de flexão dos clones de diferentes idades, pode-se concluir que é possível identificar clones mais susceptíveis à quebra pelo vento a partir de mudas.

## **BIBLIOGRAFIA:**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D198-15 Static Tests of Lumber in Structural Sizes. Philadelphia, Pa, USA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – NBR 7190. 2022. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro (RJ).

ATAÍDE G. M.; CASTRO R. V. O.; CORREIA A. C. G.; REIS G. G; REIS M. G. F.; ROSADO A. M. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-536, abr.-jun., 2015. ISSN 0103-9954.

BATISTA F. A. F. **Diferenciação de clones de eucalipto utilizando ensaio de propagação de ondas em árvores**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2012.

BERTOLDO, C. **Propriedades de Resistência e de Rigidez da madeira obtidas a partir da avaliação acústica na árvore**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas. 2014.

LORENSANI R. G. M. **Antecipação do conhecimento de propriedades da madeira utilizando ensaios em mudas**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2017.

MELO, V. M. de. **Variações nas propriedades da madeira de clones de Eucalyptus cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.