



Influência do teor de umidade e da densidade básica na amplitude de perfuração da haste do resistógrafo em clones de *Eucalyptus*

Daiana Souza de Jesus¹; José Tarcísio da Silva Oliveira²; Ana Paula Câmara²; Jean Carlos Lopes de Oliveira²;

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; ² Universidade Federal do Espírito Santo. Email: apcamara01@gmail.com

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do teor de umidade e densidade básica na resistência a penetração da haste do Resistógrafo. Foram estudados doze clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, com 6 anos de idade, com coleta de cinco árvores por clone. Os discos das árvores foram perfurados em diferentes condições de umidade no laboratório. A maior média de amplitude de perfuração (135,78%) foi observada para o clone nove em que as amostras foram perfuradas em condição de saturação de umidade. Este mesmo clone apresentou a maior média de densidade básica, 0,54 g/cm⁻³. Observou-se uma leve redução da amplitude entre as madeiras perfuradas na condição anidra e no teor de equilíbrio higroscópico, enquanto que em teores de umidade a partir do ponto de saturação das fibras, ocorreu um aumento de amplitude em função do acréscimo da umidade na madeira até a condição de completa saturação.

Palavras-chave: Avaliação não-destrutiva da madeira, Teor de umidade, Densidade.

Influence of moisture content and basic density on the resistance amplitude of the Resistograph in *Eucalyptus* clones

Abstract: The objective of this work was to evaluate the influence of the moisture content and basic density on the resistance to penetration of the rod of the Resistor. Twelve clones of the hybrid of *E. grandis* x *E. urophylla*, with 6 years of age, were collected with five trees per clone. The disks of the trees were drilled in different humidity conditions in the laboratory. The highest mean perforation amplitude (135.78%) was observed for clone nine in which the samples were perforated in a moisture saturation condition. This same clone presented the highest average of basic density, 0.54 g/cm⁻³. There was a slight reduction in the amplitude between the perforated wood in the anhydrous condition and the hygroscopic equilibrium content, while in the moisture contents from the point of saturation of the fibers, an amplitude increase occurred due to the increase of moisture in the wood until the condition of complete saturation.

Keywords: Non-destructive evaluation of wood, Moisture content, Density.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o ensaio não destrutivo é uma ferramenta poderosa para avaliar propriedades da madeira. É uma classe de métodos científicos que é capaz de detectar defeitos e avaliar as propriedades físicas e mecânicas de madeira e materiais à sua base, sem alterar o material (Lin e Wu 2013).

A estimativa da densidade e de outras propriedades da madeira têm ocorrido usando técnicas não destrutivas, mais rápidas e menos onerosas que os métodos tradicionais. Um desses equipamentos é o Resistógrafo, descrito por Rinn et al. (1996) como um equipamento que mede a resistência da madeira à penetração de uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço de alta qualidade.

A umidade não é uma característica intrínseca da madeira, entretanto o estudo desta é indispensável por tratar-se de um parâmetro que afeta o comportamento da madeira, durante as fases de processamento, secagem e preservação. Winandy e Rowell (1984) afirmam que a resistência mecânica da madeira está relacionada à quantidade de água na parede da fibra, pois o aumento da quantidade de água reduz as ligações por pontes de hidrogênio, entre os polímeros orgânicos das paredes das células, diminuindo assim a resistência da madeira.

Tendo o teor de umidade a capacidade de alterar o comportamento de algumas propriedades da madeira, o mesmo pode também afetar a resistência à perfuração da madeira. Diante disto, este trabalho teve como objetivo verificar a influência da umidade e densidade básica na amplitude de perfuração da haste do Resistógrafo em madeira de clones de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área e material de estudo

Foram utilizados doze clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com seis anos de idade, provenientes de um teste clonal da localizado no município de Aracruz, Espírito Santo, sendo cinco árvores por clone. Na região do DAP de cada árvore, foi retirado um torete de aproximadamente 50 cm de comprimento de onde foram retirados quatro discos com 5 cm de espessura, dos quais foram confeccionadas amostras diametraes, ponderando-se que a medula deveria estar centralizada nas mesmas (Figura 1).

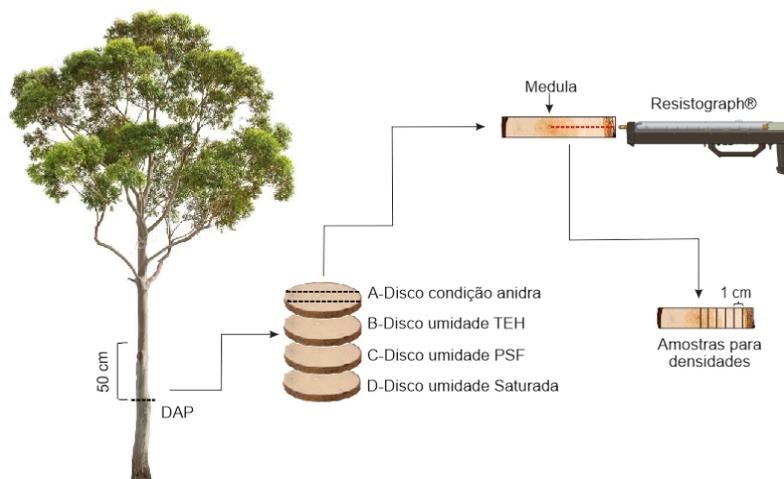


Figura 1 - Esquema ilustrativo da amostragem da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade.

Foi avaliada em laboratório a resistência da madeira à penetração do Resistógrafo em quatro teores de umidades: Madeira anidra (0% de umidade), Teor de equilíbrio higroscópico (por volta de 12%), ponto de saturação das fibras (por volta de 28%) e a madeira saturada (acima de 100%). As amostras de madeira foram então aclimatadas para se alcançar as condições de umidade desejada.

Utilizou-se um Resistograph® da marca RINNTECH, modelo Rinn-R650-SC. Após as amostras diamétricas serem aclimatadas até atingir os teores de umidades desejados, onde foram realizadas as perfurações no sentido radial da periferia até a medula.

Os dados de amplitudes registrados na memória interna do equipamento foram descarregados em computador utilizando-se o software DECOM™, a seguir foram exportados para uma planilha eletrônica Excel. Para cada centímetro de penetração da broca foi feita uma média da amplitude de resistência (%), afim de realizar as correlações com a densidade e o teor de umidade da madeira. Todos os valores de amplitudes referentes à movimentação inicial da broca, quando ela não toca a madeira, foram descartados.

2.2 Determinação da densidade básica

Após a perfuração, as amostras diamétricas foram seccionadas em amostras menores, com dimensões de 1,0x3,0x4,0cm nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente, para a determinação da densidade básica. Os procedimentos para determinação da densidade básica seguiram a Norma Brasileira Regulamentadora 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003).

2.3 Análise estatística

O estudo foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC). Depois de serem

tabulados, os dados passaram por um teste de normalidade, a fim de se conhecer a distribuição do conjunto de dados. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada e quando as variáveis foram significativas, aplicou-se o teste de Scott-Knott para comparação de médias em nível de 5% de significância.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentadas as médias de densidade básica (DB) e de amplitude de perfuração do Resistógrafo da madeira dos 12 clones avaliados, acompanhados do teste de média para a madeira perfurada em quatro condições de umidade.

Tabela 1. Valores médios para densidade básica e amplitude do Resistógrafo para doze clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade em diferentes teores de umidades.

Umidade / Clone	Anidra (0%)		TEH (12%)		PSF (28%)		Saturada (100%)	
	DB (g/cm ³)	Amplitude de (%)	DB (g/cm ³)	Amplitude de (%)	DB (g/cm ³)	Amplitude de (%)	DB (g/cm ³)	Amplitude de (%)
1	0,47b	72,12b	0,47b	72,48a	0,48b	114,28 ^a	0,46a	102,45b
2	0,45c	62,00b	0,43c	62,93b	0,44d	61,15c	0,43b	97,90b
3	0,49a	87,19a	0,47b	74,42a	0,47c	100,09 ^a	0,48a	107,88b
4	0,47b	70,31b	0,45c	64,56b	0,46c	77,12b	0,47a	100,59b
5	0,46b	69,45b	0,46b	69,60b	0,47c	80,17b	0,47a	110,69b
6	0,49a	88,12a	0,50a	85,18a	0,51b	95,89 ^a	0,48a	123,85a
7	0,50a	75,04b	0,50a	70,81b	0,49b	84,04b	0,49a	128,15a
8	0,42c	57,43b	0,42c	56,34b	0,42d	67,29c	0,41b	84,21c
9	0,52a	101,50a	0,51a	81,00a	0,54a	104,26 ^a	0,50a	135,78a
10	0,47b	83,06a	0,44c	68,27b	0,47c	99,39 ^a	0,46a	124,04a
11	0,44c	59,36b	0,44c	76,89a	0,44d	78,28b	0,43b	101,78b
12	0,46b	74,68b	0,47b	74,42a	0,46c	100,26b	0,46a	117,21a
Média	0,47	75,02	0,46	71,41	0,47	88,52	0,46	111,21
CV	(16,31)	(49,13)	(9,38)	(42,54)	(12,67)	(43,50)	(17,97)	(23,98)

Valores médios seguidos de uma mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação entre os clones.

O resultado do teste de médias indicou diferença significativa entre os clones, sendo que os clones 6 e 9 apresentaram maiores médias de densidade básica, bem como de amplitude de perfuração nas quatro condições de umidade, se mostrando superiores aos demais. A maior média de amplitude de perfuração (135,78%) foi observada no clone 9 perfurado com a madeira saturada de água. O mesmo clone também apresentou maior média de densidade básica, 0,54 g/cm³, que foi observado no teor de equilíbrio higroscópico.

Por outro lado, o clone 8 apresentou as menores médias tanto de densidade básica, quanto de resistência a perfuração nas diferentes condições de umidade. O menor valor médio de amplitude de

perfuração foi de 56,35%, observado no teor de equilíbrio higroscópico. Valores semelhantes de densidade básica foram observados para este clone nas diferentes condições de umidade da madeira.

A variação da amplitude de perfuração do Resistógrafo nos quatro teores de umidades para cada clone estudado é apresentada nas Figuras 3. Verificou-se nos clones 2, 3, 4, 6, 7, 9 e 10 a tendência de decréscimo na amplitude na condição anidra para o Teor de Equilíbrio Higroscópica com posterior aumento da mesma no PSF e na umidade saturada.

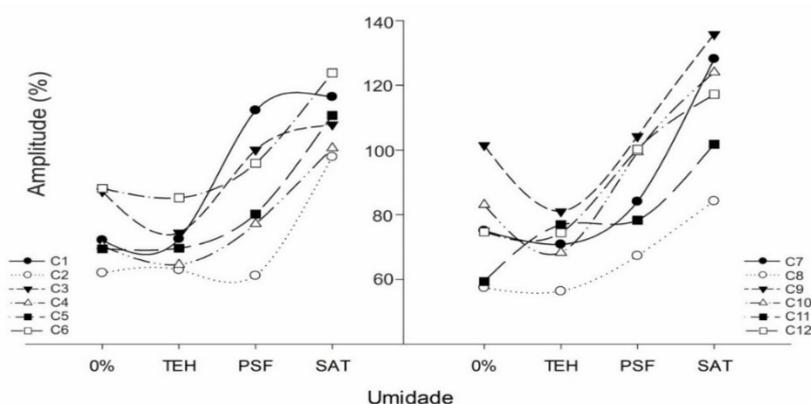


Figura 3. Representação gráfica da amplitude de perfuração do Resistógrafo para as quatro condições de umidades avaliadas dos 12 clones de *E. grandis x E. urophylla* aos 6 anos de idade. Condições de umidade: Anidra (0%), Teor de equilíbrio higroscópico (TEH), ponto de saturação das fibras (PSF) e condição saturada (SAT).

Nos demais clones, observou-se que o comportamento de aumento da amplitude de perfuração é diretamente proporcional ao teor de umidade da madeira, onde as maiores médias de amplitude ocorreram na umidade saturada, sendo estas 110,69% (clone 5), 84,21% (clone 8), 101,78% (clone 11) e 117,21% (clone 12), enquanto que as menores médias ocorreram na condição anidra, sendo estas 69,45% (clone 5), 57,43% (clone 8), 59,36% (clone 11) e 74,68% (clone 12).

4. DISCUSSÃO

A variação da densidade entre os clones apresentou tendência semelhante à variação de amplitude de perfuração do Resistógrafo, exceto no ponto de saturação das fibras. Isto pode ter ocorrido pois, além da densidade, outros fatores podem afetar a resistência à perfuração, como a ocorrência de nós na madeira e aumento da fricção da ponta da broca ocasionada pela formação de serragem durante a perfuração, que tende a aumentar em função do aumento do teor de umidade.

A densidade básica da madeira pode ser predita de forma não destrutiva usando o Resistógrafo, juntamente com técnicas de modelagem estatística. No entanto, existem vários fatores e variáveis que afetam a densidade da madeira, incluindo espécies, idade da árvore, ocorrência de madeira de reação, local de origem, teor de umidade entre outros (Guller, 2012). Há também fatores

que afetam as leituras do Resistógrafo, como profundidade de perfuração, quantidade de carga da bateria, desgaste da broca, estrutura e orientação do anel de crescimento, ocorrência de nós e posicionamento da broca (Içel; Guller, 2016).

Foi observado tendência de decréscimo na amplitude na condição anidra para o Teor de Equilíbrio Higroscópico da madeira, com posterior aumento da mesma no PSF e na condição saturada de umidade em 7 dos 12 clones avaliados. Este mesmo comportamento foi observado por Sharapov et al. (2016) ao estudarem duas espécies de folhosas e uma de conífera em condições semelhantes ao do presente estudo. Esta tendência ocorre devido a diminuição abrupta das propriedades mecânicas da madeira na condição anidra para o teor de equilíbrio, diminuindo a resistência à perfuração. A partir do PSF a água aumenta a resistência à penetração por causar atrito com a ponta da broca do Resistógrafo.

Nos demais clones observou-se que o comportamento de aumento da amplitude de perfuração é diretamente proporcional ao teor de umidade da madeira. Este mesmo comportamento foi observado por Lin et al. (2003) ao estudarem a influência da umidade na amplitude de penetração do Resistógrafo em madeira de *Taiwania cryptomerioides*. Portanto, é necessário ajustar os valores de resistência aos diferentes teores de umidade ao se tentar estimar propriedades físicas da madeira por esta técnica.

5. CONCLUSÕES

O teor de umidade exerceu influência na resistência à perfuração do Resistógrafo, ocorrendo tendência de decréscimo na amplitude da umidade anidra para o teor de equilíbrio higroscópica, com posterior aumento da mesma no ponto de saturação das fibras e na umidade saturada das amostras de madeira.

A densidade básica exerceu influência na resistência à perfuração do Resistógrafo, sendo que estas duas características apresentaram uma relação positiva, visto que os clones com maiores e menores médias das mesmas foram correspondentes.

6. REFERÊNCIAS

Guller B. Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(9):2204-2209.

Içel B, Güler G. Nondestructive determination of spruce lumber wood density using drilling resistance (Resistograph) method. Turkish Journal Of Agriculture And Forestry, 2016, 40: 900-907.

Lin C. J. et al. Effect of moisture content on the drill resistance value in taiwania plantation wood. Wood and Fiber Science, 2003, 35(2): 234-238.

Lin W, Wu J. Nondestructive testing of wood defects based on stress wave Technology. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. 2013, 11(11), 6802-6807.

Rinn F, Schweingruber FH, Schar E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. Holzforschung, 1996, 50 (4): 303-311.

Sharapov ES. et al. The Impact of Moisture Content on the Accuracy of Wood Properties Evaluation by Drilling Resistance Measurement Method. Bulletin Of Higher Educational Institutions. Lesnoi Zhurnal, 2016, (2):103-113.

Winandy JE, Rowell RM. The Chemistry of Wood Strength. The Chemistry of Solid Wood. 1984. Washington, D.C. p.211-255.

