

**OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE EM MADEIRAS DE
Patagonula americana E *Araucaria angustifolia* POR MEIO DO MÉTODO
ULTRA-SONORO**

Diego Martins STANGERLIN

Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM email:
diego_stangerlin@yahoo.com.br

João Manuel Xavier DOMINGUES

Engenheiro Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Elio José SANTINI

Engenheiro Florestal, Dr., Prof. Associado do Depto. de Ciências Florestais - UFSM

Leandro CALEGARI

Engenheiro Florestal, Doutorando em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa – UFV

Rafael Rodolfo de MELO

Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Darci Alberto GATTO

Eng. Florestal, Dr., Prof. Adjto. da Faculdade de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Clovis Roberto HASELEIN

Engenheiro Florestal, Dr., Prof. Associado do Depto. de Ciências Florestais - UFSM

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi correlacionar os módulos de elasticidade das madeiras juvenil e adulta de *Patagonula americana* L. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze obtidos por métodos destrutivo e não-destrutivo. Para tanto, utilizou-se equipamento emissor de ondas ultra-sônicas (método não-destrutivo), com transdutores de faces planas de 50 kHz. A velocidade ultra-sônica foi determinada considerando-se a transmissão da onda ao longo do comprimento dos corpos-de-prova, que apresentavam dimensões nominais de 5 x 5 x 20 cm, de espessura, largura e comprimento,

respectivamente. Com base na relação entre velocidade ultra-sônica e massa específica da madeira determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico. Para avaliar a sensibilidade do método ultra-sonoro, os corpos-de-prova foram ensaiados destrutivamente à compressão paralela às fibras, com determinação do módulo de elasticidade estático. Os resultados desse estudo mostraram uma correlação significativa entre os módulos de elasticidade determinados por emissão ultra-sônica e por compressão paralela às fibras, além de avaliar, de forma rápida e eficaz, as diferenças relativas à qualidade da madeira.

Palavras-chave: qualidade da madeira, módulo de elasticidade; ondas ultra-sônicas; método não-destrutivo; madeira juvenil.

ABSTRACT

The purpose of this study was to correlate modulus of elasticity of juvenile and mature wood of *Patagonula americana* L. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. For such ultrasonic equipment (not-destructive method) with planes faces transducers of 50 kHz was used. The ultrasonic speed was certain considered the transmission of the wave along the length of the samples, that presented nominal dimensions of 5 x 5 x 20 cm, of thickness, width and length, respectively. To evaluate the ultrasonic method efficiency, the samples were submitted in destructive method (conventional compression tests), with determination static modulus of elasticity. On the basis of the relation between ultrasonic speed and specific gravity of the wood determined the dynamic modulus of elasticity. Results had shown good relation between properties analyzed for ultrasound and compression tests, indicates this technique non-destructive can be used to analysis of wood. The results of this study had shown a significant correlation enter the modulus of elasticity determined by ultrasonic emission and parallel compression to staple fibres, besides evaluating, of fast and efficient form, the relative differences to the quality of the wood.

Key-words: quality of wood; modulus of elasticity; ultrasonic waves; non-destructive method; juvenile wood.

INTRODUÇÃO

Embora a hipótese básica para avaliação não-destrutiva da madeira tenha sido proposta por Jayne (1959), no Brasil essa técnica começou a ser estudada apenas no final da década de 90. Seu idealizador afirma que a armazenagem de energia e as propriedades de dissipação da madeira, que podem ser medidas por meio não-destrutivo, são controladas pelos mecanismos que determinam o comportamento desse material frente a solicitações estáticas. Microscopicamente, as propriedades de armazenamento de energia são controladas pela orientação das células e por sua composição estrutural, aspectos que influenciam as características elásticas da madeira. Essas propriedades são frequência de oscilação na vibração ou transmissão da velocidade de propagação da onda. Desse modo, as medidas das taxas de deterioração de vibrações livres ou atenuação de ondas acústicas são utilizadas para observar a propriedade de dissipação de energia na madeira.

Segundo Wang et al. (2007), significativos esforços vem sendo direcionados para o desenvolvimento de uma tecnologia consistente de avaliação não-destrutiva (NDE) capaz de prever com eficácia propriedades intrínsecas da madeira.

O uso de ferramentas com tecnologias acústicas tornou-se expressivamente aceitável nas indústrias de produtos florestais, para o controle de qualidade e classificação de produtos em linha de produção (Pellerin & Ross, 2002). Técnicas desenvolvidas com o emprego do ultra-som oferecem uma maior oportunidade para que fabricantes e proprietários do setor florestal avaliem a situação da madeira ainda na floresta, podendo ser estimada a qualidade e propriedades intrínsecas da madeira (Wang et al., 2007).

Calegari (2006) descreve a utilização do ultra-som como emissão de pulsos elétricos por um circuito eletrônico que são conduzidos por cabos coaxiais e convertidos em ondas elásticas pelo cristal piezoelétrico localizado nos transdutores. As vibrações mecânicas deslocam-se pelo material que atenua o sinal emitido pelo gerador. O sinal retardado é recuperado por outro cristal piezoelétrico, sendo então amplificadas e transformadas em pulsos elétricos novamente para medir o tempo de propagação. A

partir da distância e do tempo de percurso da onda, obtém-se a velocidade de propagação.

Para a madeira, os fatores que influenciam a propagação de ondas ultra-sônicas são: propriedades anatômicas, físicas (massa específica básica e aparente), morfológicas (tipos de lenhos e ângulo de grã), presença de defeitos (nós e rachaduras), geometria das amostras, condições do meio (temperatura e umidade relativa) e procedimento utilizado para tomada das medidas (frequência e tipo de transdutor) (Bucur & Böhnke, 1994).

A propagação das ondas ultra-sonoras varia no sentido medula-casca. Essa variação se deve às diferenças anatômicas, físicas, morfológicas, entre outras. A madeira adulta, próxima à casca, apresenta maior percentual de lenho tardio, fibras com paredes mais espessas, menor diâmetro de lume e de maior massa específica, proporcionando maior velocidade das ondas ultra-sonoras. O contrário ocorre com a madeira juvenil, da região mais interna do tronco. Bucur (1995) salientou que a velocidade das ondas é maior na madeira adulta, porém a maior ascensão é verificada na madeira juvenil. Jang (2000) estudando as propriedades de toras através de métodos não destrutivos observou um aumento na velocidade das ondas do centro (madeira juvenil) para a parte externa da tora (madeira adulta). Segundo o autor esta variação se deve à maior massa específica da madeira adulta.

Com o objetivo de avaliar o emprego de técnicas ultra-sonoras para estimar as propriedades mecânicas da madeira, estabeleceu-se no presente estudo, a correlação do módulo de elasticidade das madeiras juvenil e adulta de *Patagonula americana* L. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze obtido pelos ensaios destrutivo de compressão paralela às fibras e não-destrutivo com ultra-som.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo de material

As madeiras de *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia* utilizadas para a realização do presente trabalho foram coletadas em povoamentos homogêneos, com 35 e 50 anos de idade, respectivamente, nos municípios de Passo Fundo e São Francisco de Paula, ambos no Estado do Rio Grande do Sul.

De cada espécie, foram abatidas três árvores adultas de bom fuste e DAP superior a 40 cm, das quais foram seccionadas as duas primeiras toras com dois metros de comprimento. De cada tora foram cortadas duas pranchas centrais paralelas à medula, ambas com 5 cm de espessura. De cada prancha, retiraram-se quatro tábuas, duas próximas à medula (lenho juvenil) e duas próximas da casca (lenho adulto). Todo o material foi transportado para o Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (LPF-UFSM), onde foram realizados os ensaios.

Os pranchões iniciais foram transformados em tábuas de 5 cm de largura, a partir das quais confeccionaram-se os corpos-de-prova com dimensões de 5 x 5 x 20 cm para a realização dos testes. As amostras que apresentavam defeitos como grande inclinação da grã, presenças de nós e medula, foram descartadas.

Antecedendo os ensaios destrutivo e não-destrutivo, os corpos-de-prova foram condicionados em uma câmara climatizada a temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa até o momento em que os mesmos apresentaram um teor de umidade de equilíbrio de 12%.

Tratamentos avaliados

Os corpos-de-prova correspondentes ao lenho juvenil e adulto das duas espécies florestais foram submetidos a dois métodos de ensaios para determinação do módulo de elasticidade: método destrutivo, usando o teste de compressão paralela, e método não-destrutivo por meio do teste com ultra-som. Desse modo, os tratamentos foram baseados na combinação das duas espécies, dois tipos de lenho e dois métodos de ensaio (Tabela 1), totalizando oito tratamentos.

TABELA 1. Tratamentos avaliados no experimento.

TABLE 1. Appraised treatments in the experiment.

Tratamento	Espécie	Lenho	Métodos	Nº de amostras
1	<i>Patagonula americana</i>	Juvenil	Destrutivo	20
2	<i>Patagonula americana</i>	Juvenil	Não-destrutivo	20
3	<i>Patagonula americana</i>	Adulto	Destrutivo	20
4	<i>Patagonula americana</i>	Adulto	Não-destrutivo	20
5	<i>Araucaria angustifolia</i>	Juvenil	Destrutivo	30
6	<i>Araucaria angustifolia</i>	Juvenil	Não-destrutivo	30

7	<i>Araucaria angustifolia</i>	Adulto	Destrutivo	30
8	<i>Araucaria angustifolia</i>	Adulto	Não-destrutivo	30

Ensaio não-destrutivo

O ensaio não-destrutivo foi executado com um equipamento portátil de ultrassom PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non-destructive Testing*), que mede o tempo de propagação da onda no sentido longitudinal da madeira, o qual foi utilizado na determinação do módulo de elasticidade dinâmico por meio da Equação 1. Os transdutores do equipamento apresentam diâmetro útil de 2,5 cm e frequência de aproximadamente 50 kHz.

$$Ei = V^2 * ME \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: Ei = Módulo de elasticidade da madeira segundo o eixo longitudinal; V = velocidade de propagação da onda em microssegundos (m/s); ME = massa específica (g/cm^3).

Os corpos-de-prova foram analisados utilizando-se os transdutores de faces planas (Figura 1). Aplicou-se vaselina sólida nos topos das peças ensaiadas para garantir o contato entre a madeira e os transdutores, e evitar a presença de ar na interface. A velocidade de deslocamento da onda ultra-sonora foi determinada somente na direção longitudinal, uma vez que diversos pesquisadores, dentre eles Feeney *et al.* (1998), Bartholomeu (2001), Puccini (2002) e Costa (2004) descreveram que essa direção é a que apresenta melhor ajuste.

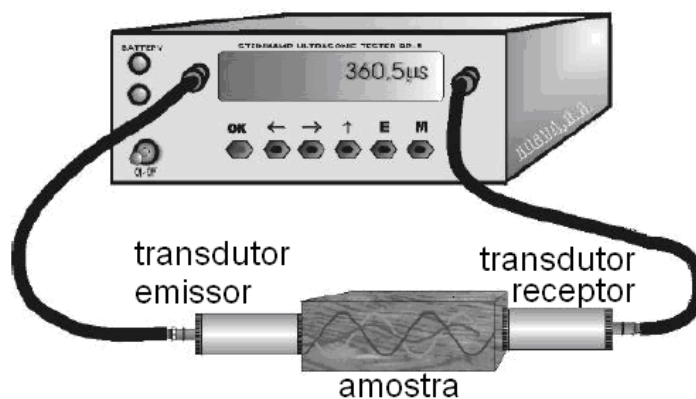


FIGURA 1. Demonstração de uso do ensaio de ultra-som na madeira (Fonte: adaptado de Rocha, 2003).

FIGURE 1. Demonstration of use of the test of ultrasound in the wood (Source: suitable of Rocha, 2003).

Ensaio destrutivo

Para avaliar a acurácia e a sensibilidade do método não-destrutivo, após a realização do ensaio ultra-sonoro os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de compressão paralela às fibras, em conformidade com a norma ASTM D143-94 (1995). Para obtenção desses dados, utilizou-se uma máquina de ensaio Universal com capacidade para 20 toneladas.

Análise estatística

Na avaliação do método ultra-sonoro, aplicou-se a análise de regressão, utilizando-se como variável independente o módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ensaio de ultra-som, e como variável dependente o módulo de elasticidade estático obtido em ensaio convencional de compressão paralela às fibras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados, de maneira resumida, os resultados obtidos através do método não-destrutivo, utilizando-se o ensaio ultra-sonoro nos corpos-de-prova de lenho juvenil e adulto de *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia*. Os valores médios da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas obtidas neste trabalho foram bastante próximos daqueles relatados por outros pesquisadores (Ballarin e Nogueira, 2005; Carrasco e Azevedo Júnior, 2003; Costa, 2004 e Puccini, 2002), situando-se entre 4.000 e 6.000 m s⁻¹.

Comparando-se os valores médios de velocidade de propagação das ondas ultrasonoras em corpos-de-prova de lenho juvenil e adulto de *Araucaria angustifolia*, verifica-se que, nas amostras de lenho adulto, foram superiores as de lenho juvenil em 11,46%. Já, para a madeira de *Patagonula americana*, esta superioridade foi de 4,05%.

TABELA 2. Valores de massa específica, velocidade de propagação das ondas ultrasonoras e módulo de elasticidade dinâmico para as amostras de lenho juvenil e adulto de *Patagonula americana*.

TABLE 2. Values of specific gravity, speed of propagation of the waves ultrasound and dynamic modulus of elasticity for the samples of juvenile and mature wood of *Patagonula americana*.

	Lenho Juvenil			Lenho Adulto		
	ME 12% (g cm ⁻³)	Vsom (m s ⁻¹)	E _d (MPa)	ME 12% (g cm ⁻³)	Vsom (m s ⁻¹)	E _d (MPa)
Mínimo	0,698	4.323	14.259	0,675	4.418	14.259
Máximo	0,815	5.074	19.651	0,764	5.000	19.103
Média	0,743	4.671	16.245	0,721	4.868	17.101
CV (%)	4,08	4,81	10,53	2,77	2,98	6,56

Em que: ME 12%= massa específica aparente a 12%; Vsom= velocidade de propagação da onda ultrasonora; E_d= módulo de elasticidade dinâmico.

TABELA 3. Valores de massa específica, velocidade de propagação das ondas ultrasonoras e módulo de elasticidade dinâmico para as amostras de lenho juvenil e adulto de *Araucaria angustifolia*.

TABLE 3. Values of specific gravity, speed of propagation of the waves ultrasound and dynamic modulus of elasticity for the samples of juvenile and mature wood of *Araucaria angustifolia*.

	Lenho Juvenil			Lenho Adulto		
	ME 12% (g cm ⁻³)	Vsom (m s ⁻¹)	E _d (MPa)	ME 12% (g cm ⁻³)	Vsom (m s ⁻¹)	E _d (MPa)
Mínimo	0,441	5.057	11.265	0,447	5.132	12.916
Máximo	0,579	5.556	16.907	0,591	6.334	22.525
Média	0,519	5.367	14.976	0,524	6.062	19.379
CV (%)	6,61	2,08	8,69	7,14	5,33	14,40

Em que: ME 12%= massa específica aparente a 12%; V_{som}= velocidade de propagação da onda ultrasonora; E_d= módulo de elasticidade dinâmico.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação dos módulos de elasticidade, determinados através de ensaios destrutivos de compressão paralela.

TABELA 4. Módulo de elasticidade obtido por meio de ensaio de compressão paralela às fibras das madeiras de *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia*.

TABLE 4. Obtained modulus of elasticity by means of test of parallel compression of wood of *Patagonula americana* and *Araucaria angustifolia*.

	<i>Patagonula Americana</i>		<i>Araucaria angustifolia</i>	
	Lenho Juvenil	Lenho Adulto	Lenho Juvenil	Lenho Adulto
	E _{c0} (MPa)	E _{c0} (MPa)	E _{c0} (MPa)	E _{c0} (MPa)
Mínimo	10.560	12.000	8.344	9.631
Máximo	16.400	16.188	12.360	16.712
Médio	13.570	14.616	10.897	14.367
CV (%)	13,21	7,13	8,89	14,02

Em que: E_{c0}= Módulo de elasticidade estático.

Através das Tabelas 2, 3 e 4, pode-se verificar que os valores do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para os lenhos juvenil e adulto de *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia*, foram mais elevados que os valores do módulo de elasticidade estático (E_{c0}), confirmando os resultados apresentados por Bodig e Jayne (1993) - método da vibração transversal ou ressonância - os valores de módulos de elasticidade dinâmico 5% a 15% são de superiores aos módulos de elasticidade estático. Os

resultados deste trabalho mostram, que para a madeira de *Patagonula americana* o E_d foi entre 14,53% e 16,46% superior ao E_{c0} . Por sua vez, para a madeira de *Araucaria angustifolia* o E_d foi entre 25,86% e 27,24% superior, conforme poderia ser esperado. De fato, conforme Ouis (2002), e considerando a natureza viscoelástica da madeira, quanto maior a frequência de excitação da fonte, maior é o valor inferido para o módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados obtidos são compatíveis com os de Bartholomeu (2001), Nogueira e Ballarin (2002) e Puccini (2002) que encontraram relações E_d/E_{c0} na direção longitudinal entre 1,06 e 1,38.

Na Tabela 5, são apresentadas as equações ajustadas para a estimativa do módulo de elasticidade estático em função do módulo de elasticidade dinâmico.

TABELA 5. Equações ajustadas para a estimativa do módulo de elasticidade estático em razão do módulo de elasticidade dinâmico para os diferentes tratamentos (espécie e tipo de lenho).

TABLE 5. Equations adjusted for the estimate of the static modulus of elasticity in reason of the dynamic modulus of elasticity for the different treatments (species and type of wood).

Espécie e Tipo de Lenho	Função	Equação de regressão	R_{aj}^2 (%)	S_{yx}	F
PA - LJ	$E_{c0} = f(E_d)$	$E_{c0} = -2154,89 + 0,96802 * E_d$	84,45	707,14	104,16**
PA - LA	$E_{c0} = f(E_d)$	$E_{c0} = -348,77 + 0,87507 * E_d$	87,98	361,61	140**
AA - LJ	$E_{c0} = f(E_d)$	$E_{c0} = 240,685 + 0,71155 * E_d$	91,08	289,36	327,58**
AA - LA	$E_{c0} = f(E_d)$	$E_{c0} = 716,634 + 0,70435 * E_d$	94,99	450,82	551,16**

Em que: PA= *Patagonula americana*; AA= *Araucaria angustifolia*; LJ= lenho juvenil; LA= lenho adulto; R_{aj}^2 = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F= valor de F calculado; f= função; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 5, pode-se verificar que as quatro regressões foram significativas a 1% de erro em termos dos parâmetros da regressão e dos coeficientes de determinação. Observa-se, com as regressões lineares para a madeira juvenil e adulta de *Patagonula americana*, respectivamente, que 84,45% e 87,98% da variação do módulo de elasticidade avaliado por meio de compressão paralela pode ser explicada pela variação do módulo de elasticidade dinâmico. A mesma análise, realizada para a

madeira juvenil e adulta de *Araucaria angustifolia*, aponta valores de 91,08% e 94,99%, respectivamente (Figuras 2, 3, 4 e 5).

A análise dos resíduos das quatro regressões e os valores dos coeficientes de determinação permitem afirmar que o módulo de elasticidade dinâmico determinado através do método ultra-sonoro é um bom estimador para o módulo de elasticidade estático obtido por meio de ensaios de compressão paralela.

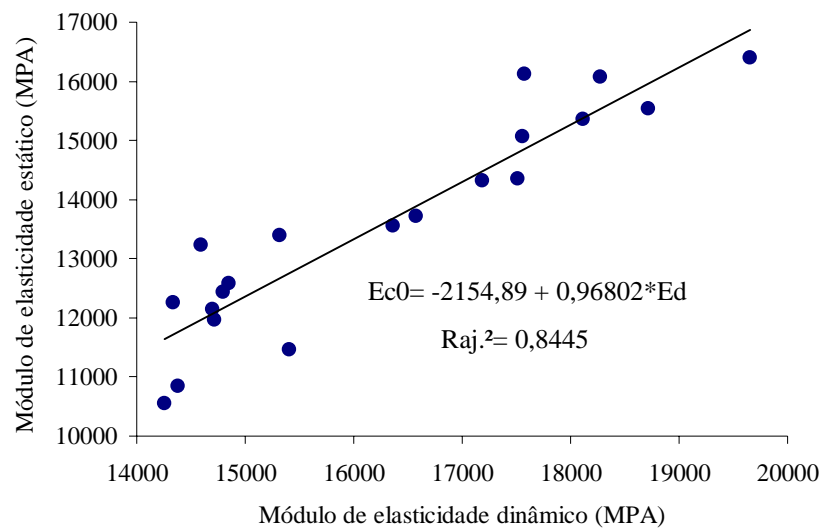


FIGURA 2. Módulo de elasticidade estático (E_{c0}) em função do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para a madeira juvenil de *Patagonula americana*.

FIGURE 2. Correlation between dynamic modulus of elasticity (E_d) and static modulus of elasticity (E_{c0}) for juvenile wood of *Patagonula americana*.

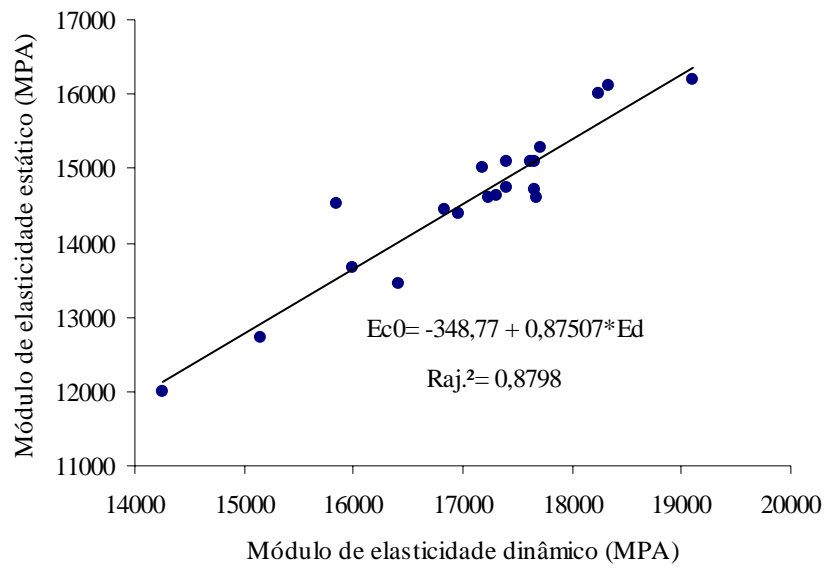


FIGURA 3. Módulo de elasticidade estático (E_{c0}) em função do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para a madeira adulta de *Patagonula americana*.

FIGURE 3. Correlation between dynamic modulus of elasticity (E_d) and static modulus of elasticity (E_{c0}) for mature wood of *Patagonula americana*.

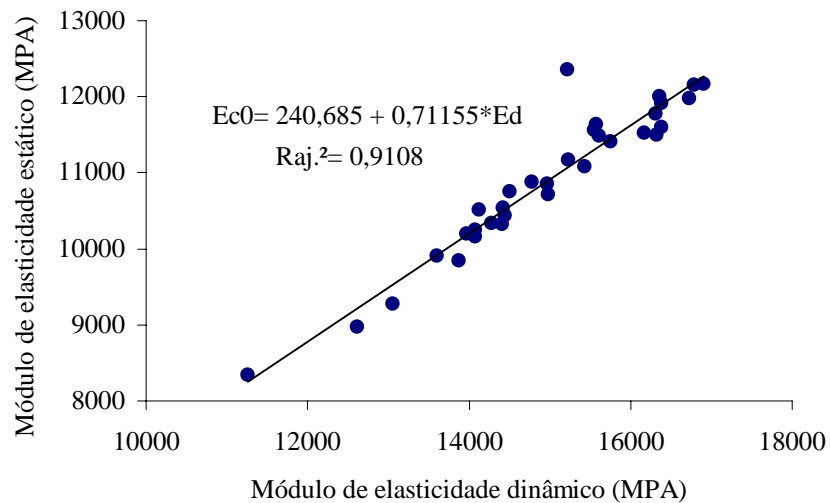


FIGURA 4. Módulo de elasticidade estático (E_{c0}) em função do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para a madeira juvenil de *Araucaria angustifolia*.

FIGURE 4. Correlation between dynamic modulus of elasticity (E_d) and static modulus of elasticity (E_{c0}) for juvenile wood of *Araucaria angustifolia*.

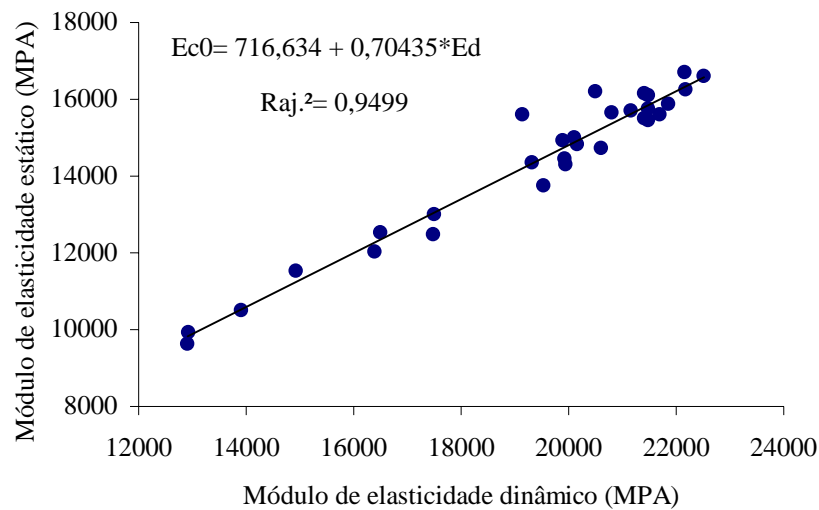


FIGURA 5: Módulo de elasticidade estático (E_{c0}) em função do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para a madeira adulta de *Araucaria angustifolia*.

FIGURE 5: Correlation between dynamic modulus of elasticity (E_d) and static modulus of elasticity (E_{c0}) for mature wood of *Araucaria angustifolia*.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- ◆ O método ultra-sonoro é uma importante ferramenta para inferência não-destrutiva do módulo de elasticidade da madeira.
- ◆ A velocidade de propagação ultra-sônica mostrou-se sensível à diferenciação entre os lenhos juvenil e adulto das amostras.
- ◆ Apesar dos valores absolutos dos módulos de elasticidade obtidos pelos métodos destrutivo e não-destrutivo serem diferentes em razão da natureza viscoelástica da madeira, o método ultra-sonoro é eficiente por avaliar, de forma rápida e eficaz, as diferenças relativas à qualidade da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**, D 143-94. Philadelphia, 1995.

BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.19-28, 2005.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som**. UNICAMP, 2001. 105p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, 2001.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar: Krieger, 1993. 712p.

BUCUR, V. **Acoustics of wood**. New York, CRC Press Inc. 1995.

BUCUR, V.; BÖHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. **Ultrasonics**. v.32, n.5, p.385-390, 1994.

CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira**. Santa Maria: UFSM, 2006. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

CARRASCO, E.V.M.; AZEVEDO JÚNIOR, A.P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne**, Lavras, v.9, n.2, p.178-191, 2003.

COSTA, O.A.L. da. **Velocidade de propagação de ultra-som na madeira para diferentes condições de umidade**. Campinas: UNICAMP, 2004. 47p. (Relatório de pesquisa).

FEENEY, F.E. *et al.* The influence of inhomogeneity on the propagation of ultrasound in wood. **Ultrasonics**, v.36, n.1/5, p.449-453, 1998.

JANG, S.S. Evaluation of lumber properties by applying stress waves to larch logs grown in Korea. **Forest Products Journal**, Madison, v.50, n.3, p.44-48, 2000.

JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood. As indices of quality. **Forest Products Journal**, Madison, v.9, n11, p.413-416, 1959.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Correlação entre módulos de elasticidade estático (flexão) e dinâmico (ultra-som) para algumas espécies de eucalipto. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 2002. 1 CD ROM.

OUIS, D. Dispersion of wood as a consequence of its viscoelasticity. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 13., 2002, Berkeley. **Proceedings ...** Berkeley: University of California, 2002. p.8.

PELLERIN, R.F.; ROSS, R.J. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Society**, Madison, ed. 2002.

PUCCINI, C.T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultrassom**. Campinas: UNICAMP, 2002. 139p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ROCHA, R.R. da. **Avaliação não-destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários**. Botucatu: UNESP, 2003. 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2003.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R.J.; BRASHAW. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials – a path to increased profitability. **Forest Products Journal**, Madison, v.57, n.5, p.6-14, 2007.