

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DE *Pinus taeda* POR ULTRA-SOM

ADRIANO W. BALLARIN¹, MARCELO NOGUEIRA²

RESUMO: A madeira de *Pinus* sp. tem utilização crescente na indústria madeireira brasileira. O decréscimo constante do suprimento de árvores adultas com grandes diâmetros, provenientes de florestas naturais, tornou comum a produção de madeira em ciclos curtos, com grande proporção de madeira juvenil. Resultados de diversas pesquisas têm reportado que o módulo de elasticidade e a resistência a diferentes solicitações mecânicas são seriamente afetados pela presença de madeira juvenil. Este trabalho teve por objetivo determinar o módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. a partir da constante dinâmica C_{LL} , obtida em ensaios não-destrutivos de ultra-som. A madeira de *P. taeda* era originária de plantios da Estação Experimental de Itapeva - SP, sendo amostrados seis indivíduos arbóreos com 34 anos de idade. Os corpos-de-prova (4 cm x 4 cm x 45 cm) foram obtidos separadamente das regiões de madeira juvenil e adulta da prancha central, previamente submetida à secagem industrial (umidade final de 12%), para a determinação da constante dinâmica por meio de ensaios de ultra-som. Para avaliar a sensibilidade do método do ultra-som, os corpos-de-prova foram ensaiados destrutivamente à compressão paralela. Os resultados mostraram boa sensibilidade do método do ultra-som ($R^2 \approx 0,90$) na avaliação desse parâmetro mecânico da madeira juvenil e adulta.

PALAVRAS-CHAVE: ultra-som, *Pinus taeda* L., madeira juvenil.

DETERMINATION OF THE MODULUS OF ELASTICITY OF JUVENILE AND MATURE WOOD OF *Pinus taeda* L. WITH ULTRASONIC METHOD

ABSTRACT: *Pinus* sp. wood has an increasing importance on supplying brazilian wood industry. The diminution of adult and large diameter trees supply deriving from natural tropical forests, became usual the production of wood on short rotation plantation, with considerable proportion of juvenil wood. Results from several researches have been demonstrated that MOE and mechanical strength are strongly affected by juvenile wood occurrence. This research was developed with the main objective of correlating dynamic modulus of elasticity (non-destructive ultrasound tests) and MOE. Six trees of *Pinus taeda*, 34 years old from the controlled plantations of the Estação Experimental de Itapeva - SP, Brazil, were randomly chosen for the experimental program. Each tree resulted on four logs (3.75 m long), and from each log the central board was used (80 mm thick). Boards were dried to 12% moisture content and from them longitudinal specimens (4 cm x 4 cm x 45 cm) were sawed. All specimens were submitted to non-destructive tests (ultrasonic method) and destructive conventional compression tests. Results had shown good sensitivity of the method of the ultrasound ($R^2 \approx 0,90$) on evaluating MOE of juvenile and mature wood.

KEYWORDS: ultrasonic method, *Pinus taeda* L., juvenile wood.

¹ Eng^o Civil, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (0XX14) 6802.7194, awballarin@fca.unesp.br.

² Eng^o Florestal, Prof. Assistente, Departamento de Engenharia Agrônômica, UFS, São Cristóvão - SE.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 6-6-2003

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 17-2-2005

INTRODUÇÃO

As características da madeira formada próxima à medula (madeira juvenil) diferem das características daquela próxima à casca (madeira adulta). Esse fenômeno é mais notado nas coníferas que nas folhosas, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, devido ao crescimento muito rápido das árvores, atingindo tamanhos comerciais muito jovens.

Independentemente da idade da árvore, a região de madeira juvenil ocorre desde o topo até a base da árvore e dentro de um determinado número de anéis de crescimento desde o centro. Assim, a zona de madeira juvenil é semelhante a um cilindro localizado no centro da árvore, em que a ponta do tronco é constituída principalmente de madeira juvenil e a base contendo maior porcentagem de madeira adulta (Figura 1). As proporções relativas entre madeira juvenil e adulta variam de acordo com a idade da árvore.

A demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara, devido às mudanças graduais nas células. De fato, o número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente, por exemplo, o comprimento dos traqueídes pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede celular (BENDTSEN & SENFT, 1986).

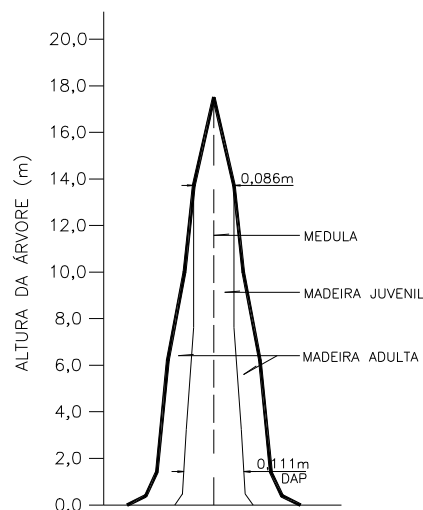


FIGURA 1. Representação esquemática de uma árvore de *Pinus* de 17 anos de idade, evidenciando a ocorrência de madeira juvenil e adulta. Fonte: BENJAMIN (2002).

LARA PALMA & BALLARIN (2002), estudando a demarcação e a densidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. com 37 anos de idade, concluíram que a região compreendida entre o 14º e o 18º anel de crescimento é considerada de transição, ficando definidas a região de madeira juvenil desde o centro até o 14º anel e a região de madeira adulta desde o anel 18 até o anel 37, como ilustra a Figura 2.

A madeira juvenil, de forma geral, caracteriza-se por menor densidade, maior ângulo das microfibrilas na camada S2 da parede celular, traqueídes mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemicelulose, menor conteúdo de celulose e menor resistência, em relação à madeira adulta (BENDTSEN, 1978; ZOBEL, 1984; SENFT et al., 1985; ROWELL et al., 2000).

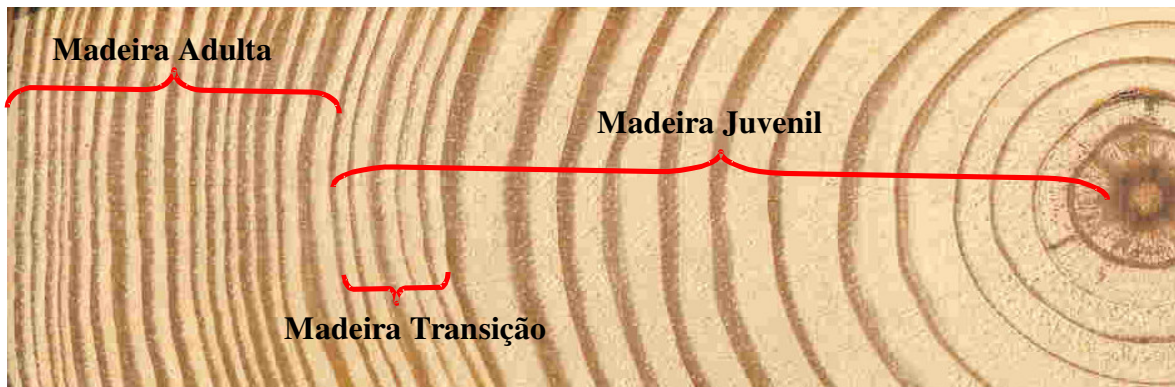


FIGURA 2. Demarcação de madeira juvenil, adulta e transição da madeira de *Pinus taeda* L.

Tanto os módulos de elasticidade, como as resistências à compressão paralela e normal à flexão estática e à tração paralela são seriamente afetados pela presença de madeira juvenil (KRETSCHMANN & BENDTSEN, 1992; KRETSCHMANN, 1997; McALISTER et al., 1997; EVANS et al., 2000).

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de madeira juvenil apresentam classes de resistências inferiores, sendo esse o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades da madeira juvenil e adulta são importantes para a utilização racional da madeira (McALISTER & CLARK, 1991 e GEIMER et al., 1997).

Diversos métodos podem ser empregados na avaliação dos parâmetros de qualidade da madeira, e a avaliação não-destrutiva tornou-se, nos últimos anos, uma importante ferramenta na inferência de propriedades físicas e mecânicas da madeira, devido, principalmente, ao baixo custo dos equipamentos, rapidez e praticidade dos testes.

A técnica do ultra-som, mais avançada e de maior potencial que as demais, permite maior controle das fontes emissoras de pulsos, sobretudo no que diz respeito às frequências das emissões. Além disso, parece ser mais promissora, na medida em que sua extensão à indústria - objetivo maior de um trabalho científico-investigativo - se daria de forma mais imediata e direta, conforme mostram os exemplos internacionais.

As ondas acústicas de frequência superior a 20.000 Hz são chamadas ondas de ultra-som. O método ultra-sonoro apóia-se na análise de propagação de uma onda e sua relação com as constantes elásticas da madeira. As ondas propagam-se com velocidades que dependem da direção de propagação e das constantes elásticas do material (NOGUEIRA & BALLARIN, 2003). Diversos trabalhos nacionais (GONÇALVES & BARTHOLOMEU, 2000; BARTHOLOMEU, 2001; NOGUEIRA & BALLARIN, 2002, entre outros) têm demonstrado as relações existentes entre os parâmetros elásticos e mecânicos da madeira (notadamente seu módulo de elasticidade) e a constante dinâmica C_{LL} , obtida a partir da velocidade de propagação da onda de ultra-som, conforme segue:

$$C_{LL} = V_{LL}^2 \rho \quad (1)$$

em que,

C_{LL} - constante dinâmica na direção longitudinal (paralela às fibras) do material, Pa;
 V_{LL} - velocidade de propagação da onda no material na direção longitudinal, $m s^{-1}$, e
 ρ - densidade do material, $kg m^{-3}$.

MATERIAL E MÉTODOS

As toras para a determinação dos módulos de elasticidade da madeira de *Pinus taeda* L. eram provenientes de plantios tecnicamente conduzidos da Estação Experimental de Itapeva - SP. Foram amostradas seis árvores com 34 anos de idade de um talhão com densidade populacional de 162 árvores por hectare. De cada árvore, retiraram-se quatro toras, com cerca de 3,75 m de comprimento cada uma, totalizando 24 toras.

A partir desse material, e de acordo com os conceitos apresentados na Revisão Bibliográfica, confeccionaram-se corpos-de-prova de madeira juvenil (quatro corpos-de-prova por tora) e de madeira adulta (quatro corpos-de-prova por tora) nas dimensões nominais de 4 cm x 4 cm x 45 cm (garantindo-se que os corpos-de-prova pertencessem às regiões de interesse), para a determinação de módulos de elasticidade por meio de ensaios não-destrutivos com ultra-som. Os ensaios convencionais de compressão paralela às fibras foram realizados em corpos-de-prova de 4 cm x 4 cm x 12 cm (obtidos por redução do comprimento original do corpo-de-prova de 45 cm para 12 cm), seguindo-se, no geral, as prescrições da NBR 7190 (ABNT, 1997). Todo material ensaiado foi previamente submetido à secagem industrial até a umidade de equilíbrio de 12%.

O equipamento de ultra-som utilizado neste trabalho foi da marca Steinkamp, modelo BP-5, de fabricação alemã, e transdutores piezoelétricos de face plana de frequência 45 kHz. A precisão do equipamento, segundo o fabricante, é de 0,001%. Isso significa que, para as faixas de velocidades utilizadas neste trabalho (4.000 a 6.000 m s⁻¹), a incerteza foi de aproximadamente 4 a 6 cm s⁻¹.

Foram utilizados dois transdutores equivalentes: um para emissão e outro para recepção das ondas ultra-sonoras. O equipamento de ultra-som foi calibrado no início de cada série de ensaios, utilizando-se do corpo-de-prova acrílico. Após a calibração, aplicou-se uma fina camada de gel medicinal às faces dos transdutores - material de interface - e os ensaios foram realizados medindo-se o tempo de propagação da onda de ultra-som nos corpos-de-prova (4 cm x 4 cm x 45 cm), calculando-se a velocidade de propagação para cada corpo-de-prova e, a partir dela, a constante dinâmica C_{LL} (eq.1).

Os ensaios de compressão paralela foram executados em máquina universal de ensaios DL 10000, eletromecânica, servocontrolada e com sistema de aquisição de dados computadorizados, com capacidade de 100 kN, fabricada pela EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda. As deformações específicas foram avaliadas com “clip-gage” com sensibilidade de 0,001 mm, acoplado ao computador de controle da máquina de ensaio.

Todos os procedimentos de ensaio, relativamente às dimensões dos corpos-de-prova, velocidade de carregamento, programa de ensaio e obtenção dos resultados seguiram, no geral, as especificações da NBR 7190 (ABNT, 1997). Na Figura 3, apresentam-se aspectos da execução dos ensaios de ultra-som e de compressão paralela.

Na avaliação da acurácia do método do ultra-som, foi aplicado ajuste de regressão em que a variável independente foi a constante elástica obtida em ensaio de ultra-som (C_{LL}), e a variável dependente foi o módulo de elasticidade obtido em ensaio convencional de compressão paralela (E_{c0}).

Partindo da premissa de que, no geral, havia diferenças significativas entre os resultados (de ensaios destrutivos e não-destrutivos) para madeira juvenil e adulta, em todas as análises, foi executado o teste de comparação de médias, por meio do “software” SAS. Os estudos eram apresentados considerando, *a priori*, o universo como única população. Se a análise revelasse que os dados provinham de duas populações distintas, complementarmente, os resultados eram processados considerando-se essas duas populações separadamente, adotando-se nível de significância de 5%.

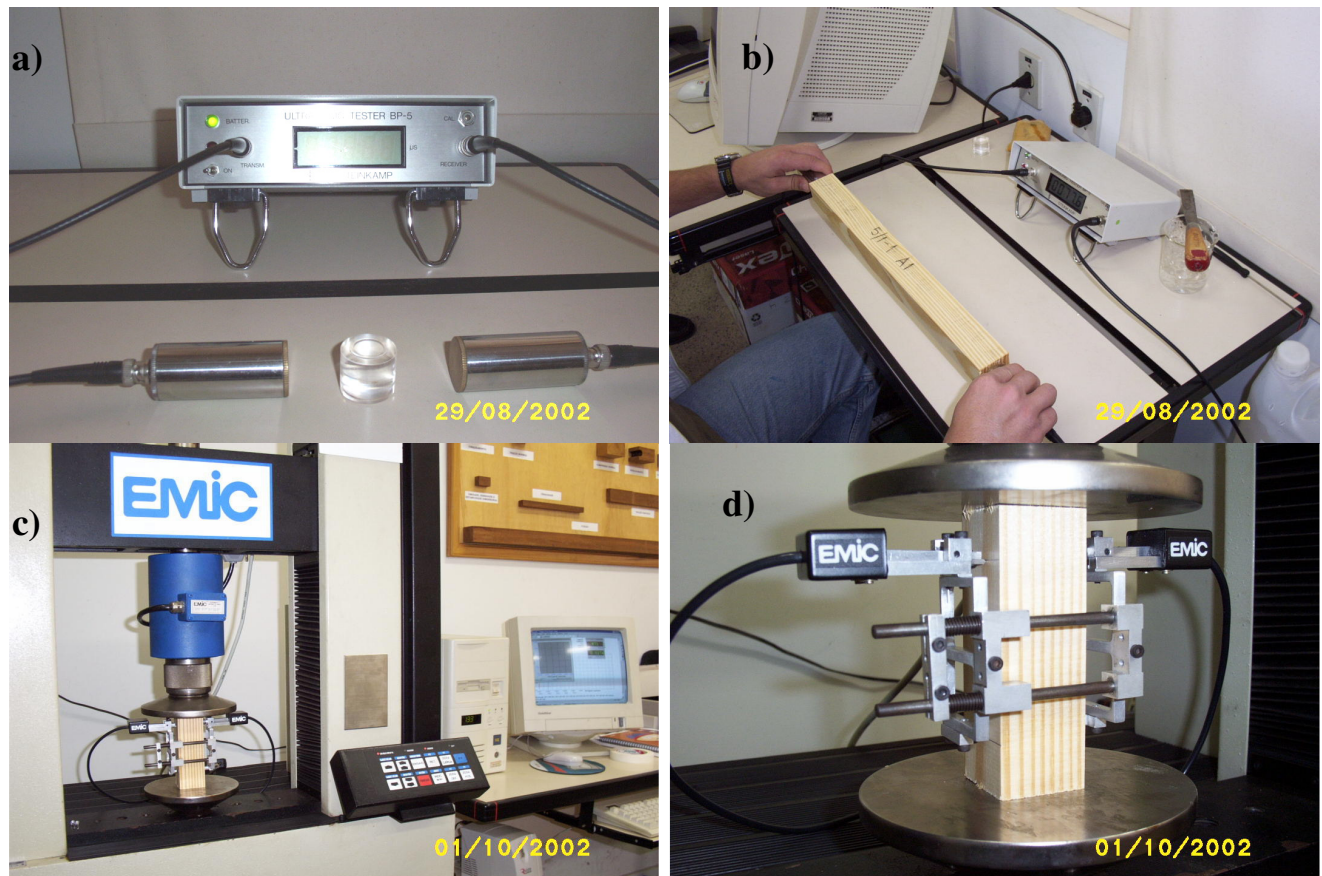


FIGURA 3. Equipamento de ultra-som Steinkamp, modelo BP 5 (a); obtenção da leitura do tempo de propagação da onda ultra-sonora no corpo-de-prova (b); ensaio de compressão paralela (c), e detalhe do acoplamento do “clip-gage” (d).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresenta-se o resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos com a utilização de ultra-som nos corpos-de-prova da madeira adulta e juvenil de *Pinus taeda* L., utilizando transdutores planos de 45 kHz de frequência.

Os valores médios da velocidade de propagação longitudinal das ondas resultaram bastante próximos daqueles obtidos por outros pesquisadores ($5.000 \text{ m s}^{-1} < v_{LL} < 6.000 \text{ m s}^{-1}$). PUCCINI (2002), avaliando a sensibilidade do método do ultra-som na detecção de defeitos na madeira de *Pinus taeda* L., obteve velocidade média de 5.368 m s^{-1} para madeira isenta de defeitos. BARTHOLOMEU (2001) obteve, para a madeira de *Pinus eliottii* na condição seca ao ar, velocidade média de 4.919 m s^{-1} .

Comparando-se os valores médios de velocidade de propagação na região de madeira adulta e juvenil, observa-se que, nos corpos-de-prova de madeira adulta, foram superiores aos de madeira juvenil em 12,3%.

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação dos módulos de elasticidade estáticos, avaliados por meio de ensaios convencionais destrutivos de compressão paralela.

TABELA 1. Valores de densidade, velocidade de propagação das ondas de ultra-som e módulo de elasticidade dinâmico para os corpos-de-prova de madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*.

	Madeira Juvenil			Madeira Adulta			Madeira Juvenil e Adulta		
	Dens.	Vel. ⁽¹⁾	C _{LL} ⁽²⁾	Dens.	Vel. ⁽¹⁾	C _{LL} ⁽²⁾	Dens.	Vel. ⁽¹⁾	C _{LL} ⁽²⁾
	(g cm ⁻³)	(m s ⁻¹)	(MPa)	(g cm ⁻³)	(m s ⁻¹)	(MPa)	(g cm ⁻³)	(m s ⁻¹)	(MPa)
mínimo	0,402	3.731	6.534	0,531	4.344	11.218	0,402	3.731	6.534
máximo	0,619	5.402	15.522	0,721	5.945	25.013	0,721	5.945	25.013
médio	0,504	4.827	11.816	0,605	5.421	17.914	0,555	5.124	14.865
d.-padrão	0,036	332	1.827	0,042	349	3.059	0,064	452	3.957
C.V. (%)	7,14	6,89	15,46	6,90	6,43	17,07	11,47	8,82	26,62

¹ velocidade obtida com uso de transdutores planos de 45 kHz;

² C_{LL} - constante dinâmica avaliada na direção longitudinal.

TABELA 2. Resumo dos módulos de elasticidade obtidos através de ensaios convencionais destrutivos de compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus taeda* L.

	Madeira Juvenil	Madeira Adulta	Madeira Juvenil e Adulta
	E _{c0} ⁽¹⁾ (MPa)	E _{c0} ⁽¹⁾ (MPa)	E _{c0} ⁽¹⁾ (MPa)
Mínimo	3.948	5.561	3.948
Máximo	12.720	21.070	21.070
Médio	8.418	13.376	10.897
Desvio-Padrão	1.791	3.021	3.509
C.V. (%)	21,28	22,59	32,20

¹E_{c0} - Módulo de elasticidade avaliado por meio de ensaio de compressão paralela.

O valor médio do módulo de elasticidade apresentado pela NBR 7190, para a espécie estudada, é 13.304 MPa. Nota-se que, no caso de madeira juvenil, quando tomada exclusivamente, sequer atinge esse valor, sendo 37% inferior ao valor de referência, mesmo tratando-se de uma amostragem com árvores de 34 anos. Já no caso de madeira adulta, a média aproxima-se muito do referencial teórico apresentado.

Das Tabelas 1 e 2, pode-se verificar, ainda, que os valores de C_{LL} são sempre mais elevados que os valores dos módulos de elasticidade à compressão (E_{c0}), confirmando os resultados apresentados por BODIG & JAYNE (1993) - método da vibração transversal ou ressonância - com valores de módulos de elasticidade dinâmico 5 a 15% superiores aos módulos de elasticidade estáticos. Os resultados deste trabalho mostram que a constante dinâmica C_{LL} foi entre 34% e 40% superior ao módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}), conforme poderia ser esperado. De fato, de acordo com 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 PUCCINI (2002), que encontrou a relação C_{LL} ≈ 1,28 E_{c0} na direção longitudinal.

Na Figura 4, ilustra-se a correlação linear obtida entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático, não fazendo distinção entre madeira juvenil e adulta, e apresentando os valores individualizados de todos os 192 corpos-de-prova ensaiados.

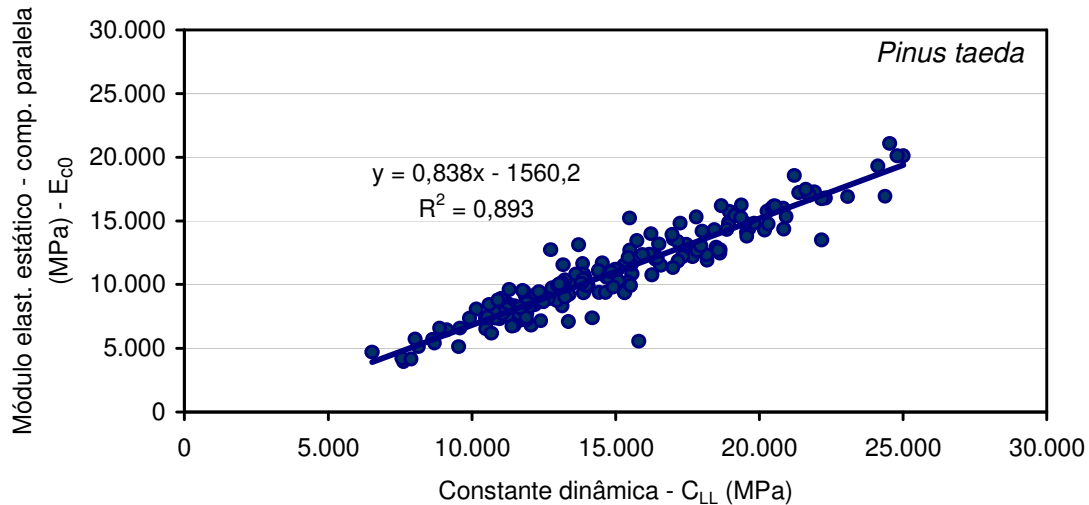


FIGURA 4. Correlação entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}) da madeira de *Pinus taeda* L.

Como a análise de variância revelou diferenças significativas a 5% de probabilidade entre os corpos-de-prova de madeira adulta e juvenil, a análise foi conduzida considerando-se diferenciadamente os corpos-de-prova retirados da região de madeira adulta e juvenil. Nas Figuras 5 e 6, ilustram-se as regressões obtidas quando correlacionados valores médios de C_{LL} e E_{c0} para cada uma das 24 toras (tratamentos) amostradas.

Da análise dos resultados, nota-se que todas as regressões foram significativas a 5% em termos dos parâmetros da regressão α_1 e α_2 (coeficiente angular da reta) e dos coeficientes de determinação (R^2).

Considerando-se que, de maneira geral, assumem-se como satisfatórias regressões com $R^2 \geq 0,70$, pode-se dizer que todas as regressões encaminhadas estiveram bastante próximas de 0,90, valor considerado muito bom.

Observa-se, com a regressão linear assumida, que 89% da variação do módulo de elasticidade avaliado por meio de ensaio de compressão paralela pode ser explicada pela variação da constante dinâmica para o *Pinus taeda* na direção longitudinal às fibras. A mesma análise, conduzida separadamente para a madeira adulta e juvenil, apontou valores de 94% e 89%, respectivamente.

NOGUEIRA & BALLARIN (2002), em estudo semelhante com três espécies de eucalipto, obtiveram coeficientes de determinação que variaram entre 0,76 e 0,89.

A análise de resíduos encaminhada para as três regressões e os valores dos coeficientes de determinação permitem afirmar que a constante dinâmica obtida com o ultra-som é boa estimadora para o módulo de elasticidade avaliado por meio de ensaios de compressão paralela.

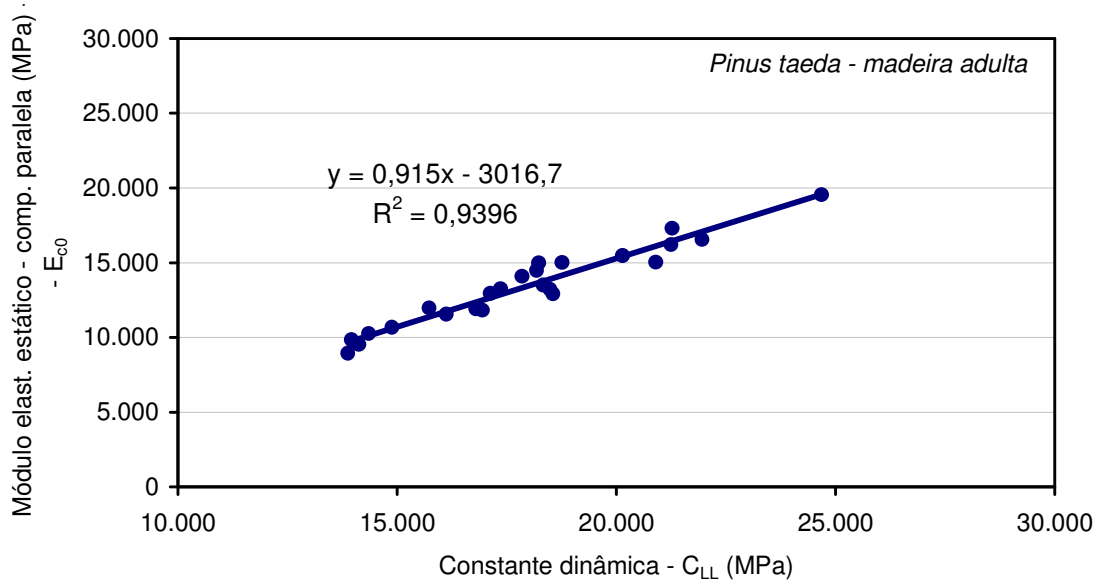


FIGURA 5. Correlação entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}) da madeira adulta de *Pinus taeda* L.

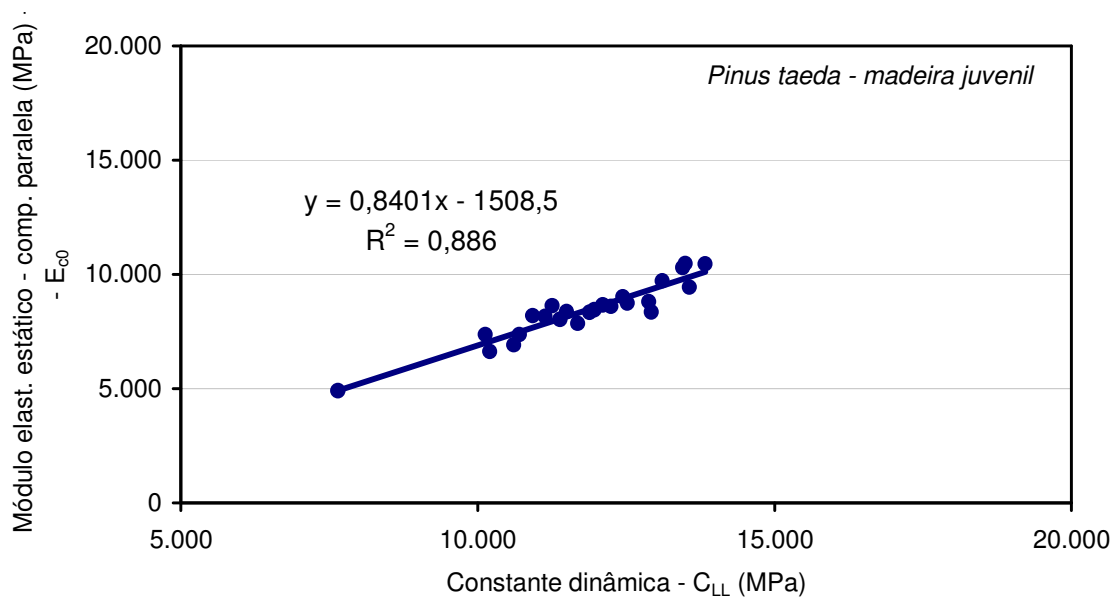


FIGURA 6. Correlação entre a constante dinâmica e o módulo de elasticidade à compressão paralela da madeira juvenil de *Pinus taeda* L.

CONCLUSÕES

O método do ultra-som revela-se como importante ferramenta para inferência não-destrutiva do módulo de elasticidade da madeira.

Os coeficientes de determinação das regressões realizadas entre a constante dinâmica e o módulo de elasticidade à compressão paralela foram sempre superiores a 89%, atingindo o valor máximo de 94% para a madeira de *P. taeda* L. Essas correlações podem ser consideradas altamente significativas.

Os valores da constante dinâmica, obtidos com uso do método do ultra-som, foram superiores àqueles dos ensaios convencionais destrutivos de compressão em 34% para a madeira adulta e 40% para a madeira juvenil. Os valores das constantes dinâmicas foram cerca de 36% superiores aos correspondentes módulos de elasticidade estáticos, conforme poderia ser esperado, considerando a natureza viscoelástica da madeira.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7190*: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997, 107 p.
- BARTHOLOMEU, A. *Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som*. 2001. 105 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2001.
- BENDTSEN, B. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal*, Madison, v.28, n.10, p.61-72, 1978.
- BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.18, n.1, p.21-38, 1986.
- BENJAMIN, C.A. *Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos*. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- BODIG, J; JAYNE, B.A. *Mechanics of wood and wood composites*. Malabar: Krieger, 1993. 712 p.
- EVANS II, J.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Products Journal*, Madison, v.50, n.7/8, p.75-87. 2000.
- GEIMER, R.L.; HERIAN, V.L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.29, n.2, p.103-20, 1997.
- GONÇALVES, R.; BARTHOLOMEU, A. O uso do ultra-som na determinação de constante elástica da madeira. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, 19., 2000, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABENDE, 2000. p.135-40.
- KRETSCHMANN, D.E. Effect of juvenile wood on shear parallel and compression perpendicular-to-grain strength for loblolly pine. In: CTIA/IUFRO INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Quebec. *Proceedings...*Quebec: Forintek Canada, 1997. p.23-30.
- KRETSCHMANN, D.E.; BENDTSEN, B.A. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation loblolly pine lumber. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.24, n.2, p.189-203, 1992.
- LARA PALMA, H.A.; BALLARIN, A.W. Demarcação e densidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L.. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. *Anais...*Uberlândia: IBRAMEM, 2002. 1 CD ROM.

- McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature loblolly pine. *Forest Products Journal*, Madison, v.41, n.9, p.39-41. 1991.
- McALISTER, R.; CLARK, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40. *Forest Products Journal*, Madison, v.47, n.7/8, p.107-9. 1997.
- 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.
- NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Sensibilidade dos ensaios de ultra-som à ortotropia elástica da madeira. In: CONFERÊNCIA PAN-AMERICANA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, 3., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABENDE, 2003. 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.
- PUCCINI, C.T. *Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som*. 2002. 72 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.
- ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. Characterization and factors effecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C. (Ed.). *Natural polymers and agrofibers composites*: São Carlos: IQSC/USP, 2000. p.115-33.
- SENF, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. *Journal of Forestry*, Washington, v.83, n.8, p.476-85, 1985.
- ZOBEL, B.J. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*, New York, n.18, n.1, p.1-17, 1984.