

# CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO EM VIGAS DE MADEIRA DE *Eucalyptus citriodora* E *Pinus elliottii*

Raquel Gonçalves<sup>1</sup> & André Bartholomeu<sup>2</sup>

### RESUMO

A madeira sempre foi e continua sendo importante material, quer seja para uso na construção civil ou na confecção de móveis; entretanto, o Brasil sempre foi marcado pelo desmatamento indiscriminado e pela falta de preocupação com a preservação e recuperação das espécies nativas. Esta devastação se deve a vários fatores, dentre eles, a falta de preparo técnico da indústria madeireira. Aliado a isto, a falta de conhecimento do material, por parte dos profissionais que se utilizam da madeira, faz com que haja tendência de se utilizar as mesmas espécies até seu total desaparecimento. Neste cenário, surge a perspectiva do uso das espécies de reflorestamento e, com ela, um desafio: conhecer e divulgar suas características e possibilidades de emprego. Neste contexto, a proposta deste trabalho avalia a utilização do ultra-som como método auxiliar na determinação de propriedades mecânicas da madeira, com vistas à classificação; para isto, verificou-se a existência de correlação entre os resultados obtidos em ensaios estáticos de flexão e aqueles obtidos em ensaios dinâmicos, utilizando-se a técnica do ultra-som, em vigas de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. As correlações obtidas mostram que esta metodologia poderia ser utilizada na avaliação de peças estruturais e apontam para a possibilidade de implementação da técnica em métodos de classificação da madeira.

**Palavras-chave:** ensaios não destrutivos, ultra-som, caracterização da madeira, eucaliptus, pinus

### ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF NON DESTRUCTIVE TESTS IN BEAMS OF *Eucalyptus citriodora* AND *Pinus elliottii* WOOD

### ABSTRACT

Wood has always been an important material for the civil construction industry and for furniture manufacturers. Nevertheless, Brazil has been noted for its indiscriminate deforestation and lack of preoccupation in preservation and reclamation of the native species. The reason for this deforestation is due to several factors, among them the lack of technology in the wood industry. Besides this, the lack of knowledge of the material properties induce the users to utilise always the same species until its exhaustion. To remedy this, it is necessary to promote the use of reforestation wood. The challenge is to know its characteristics and applications. The proposal of this work was to evaluate the ultrasonic methodology as a way to determine the mechanical properties of reforestation wood for classification purposes. The correlation between the results obtained in bending static tests in ultrasonic tests, using *Eucalyptus citriodora* and *Pinus elliotti* was verified. The results show that this methodology can be used in evaluation of structural pieces and indicate the viability of this method for wood classification.

**Key words:** non-destructive tests, ultrasonic, wood characterization, eucalyptus, pinus

Recebido em 19/08/1999, Protocolo 094/99

<sup>1</sup> Prof. Dr, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP. Fone: (0xx19) 788 1034. E-mail: raquel@agr.unicamp.br

<sup>2</sup> Prof. Ms. Universidade São Francisco, USF, Itatiba, SP. Fone: (0xx11) 780 48019 e Doutorando da Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP

## INTRODUÇÃO

O Brasil se caracteriza por ser um país de grandes dimensões e por possuir vastas florestas produtoras de madeira das mais diversas espécies, para o uso na construção civil. A madeira sempre foi e continua sendo importante material utilizado na construção, seja como material estrutural, de fechamento, de decoração etc; entretanto, a produção nacional de madeira sempre foi caracterizada pelo desmatamento indiscriminado das espécies de maior importância, desde a época da colonização portuguesa. Esse desmatamento, todavia, não se deve somente ao setor madeireiro voltado para a construção civil. Segundo dados publicados na revista *Arquitetura e Construção* de julho de 1992, este segmento é responsável por apenas 20% do total extraído, enquanto os 80% restantes se dividem entre os setores de celulose, mobiliário, pecuário (formação de pastos) e o comércio exportador.

A devastação indiscriminada das florestas brasileiras se deve a vários fatores, dentre eles a falta de preparo técnico da indústria da madeira no Brasil composta, em sua maioria, por pequenos ou médios grupos alheios à tecnologia construtiva e sem visão nem preparo para aspectos ligados ao meio ambiente.

O mesmo atraso tecnológico que se constata na extração da madeira observa-se, também, no que se refere à transformação e à classificação mecânica. Embora contemplada na nova Norma NBR 7190/97 (ABNT, 1997), na prática a classificação da madeira usada para fins estruturais no Brasil, não existe e isto significa que o consumidor, ao adquirir o produto nas madeireiras, nunca sabe, com certeza, que espécie está adquirindo, muito menos a que classe de resistência elas pertencem. Esta realidade cria uma enorme dificuldade para os engenheiros, arquitetos e construtores que, via de regra, também não estão aptos a trabalhar com a madeira. Acostumados às madeiras tradicionalmente usadas em estruturas, em geral esses profissionais adotam determinados valores conhecidos, de resistência e elasticidade, em seus projetos.

De maneira geral, as estruturas de madeira são ainda executadas de maneira artesanal, seguindo padrões de bitolas e espaçamentos que, por anos e anos, têm sido utilizadas. Este procedimento torna essas estruturas obsoletas, em face à realidade tecnológica dos nossos dias, além de levar ao uso inadequado das espécies e ao super-dimensionamento das peças. Como conseqüência, o material perde sua competitividade ante outros cuja tecnologia já está estabelecida, torna-se oneroso e gera grandes desperdícios.

É imperativa, portanto, a modificação desta realidade para que a madeira volte a ser vista como material competitivo para a aplicação estrutural. A proposta de uma classificação prática das peças estruturais poderia auxiliar na minoração dos desperdícios e contribuir para um emprego mais racional da madeira no Brasil; além disso, a classificação permitirá, aos profissionais, a utilização de um material normalizado em seus projetos e os consumidores passarão a visualizar a madeira como um produto de alta tecnologia.

Em diversos países a classificação da madeira utilizando métodos não destrutivos é bastante usual.

A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar suas capacidades de

uso (Ross et al., 1998). Várias técnicas podem ser consideradas como não destrutivas, desde o exame visual até os ensaios químicos e o uso de técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas, raio X etc.

A avaliação visual é utilizada para indicar a qualidade por meio, por exemplo, da cor, da quantidade e posição dos nós etc, enquanto os ensaios químicos podem avaliar a presença e composição dos tratamentos preservativos ou ignífugos.

Bucur (1983) mostra que muitas pesquisas foram destinadas ao desenvolvimento das técnicas para a avaliação não destrutiva da qualidade e das constantes elásticas da madeira.

Em materiais homogêneos e isotrópicos, como aço, plásticos e cerâmicos, a avaliação não destrutiva tem sido utilizada para detectar a presença de descontinuidades, vazios ou impurezas. Na madeira, essas irregularidades ocorrem naturalmente e as investigações têm sido orientadas para avaliação da qualidade (presença de nós, ataques de microrganismos, direção das fibras etc.) e determinação dos aspectos ligados à rigidez e resistência.

A classificação visual utilizada na Comunidade Européia e nos EUA, é o primeiro e o mais tradicional método não destrutivo de classificação utilizado, que consiste em uma análise das peças estruturais por um profissional de larga experiência, visando à detecção de nós, distorção das fibras, fungos, insetos e demais defeitos. A classificação é feita com base no número de defeitos e as classes são as determinadas pelo Eurocode-5, na Europa, ou nos EUA, pela Norma que cada Estado federativo adota.

As técnicas não destrutivas podem ser muito úteis na classificação mecânica da madeira, assim como para separar, inicialmente, a madeira em classes de resistência. O processo executado nas máquinas classificadoras consiste na passagem das peças pelo equipamento, onde sofrem uma deflexão conhecida ou onde recebem uma carga conhecida. Automaticamente, o equipamento faz a leitura da carga (no caso da deflexão aplicada) ou da deflexão (no caso da carga aplicada). De acordo com a faixa que caracteriza as classes de resistência, essas peças são marcadas.

Melo (1984) produziu um trabalho para o Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA/DIREN, em Brasília, sobre a classificação de peças estruturais, utilizando uma máquina classificadora (Computermatic MK P Iva) de origem australiana. Sua pesquisa demonstrou a viabilidade da utilização desse equipamento na classificação de peças. A ressalva que se faz com relação ao equipamento, refere-se à bitola única fixada pelo mesmo.

Pesquisadores como Waubke (1988), Sandoz (1993) e Steiger (1997) propuseram o Método de Classificação, utilizando-se do ultra-som (processo mecânico-dinâmico). Sandoz (1993) enfatiza o uso do ultra-som como elemento auxiliar no emprego das normas que utilizam o conceito dos estados limites.

Este método apresenta grandes vantagens, como rapidez, simplicidade de execução, possibilidade de utilização do material posteriormente ao ensaio, tendo em vista que se trata de método não destrutivo, e possibilidade de utilização direta no setor produtivo; pode, ainda, ser um método bastante econômico, beneficiando sobremaneira a indústria madeireira.

Bucur (1984) determinou as equações fundamentais da propagação das ondas de ultra-som na madeira, o que significou um avanço importante nesse campo. Os resultados de suas pesquisas mostraram a influência do teor de umidade, da

densidade, da anatomia da espécie e da forma do corpo de prova na propagação do ultra-som.

Estudos do austríaco Waubke (1988) utilizando o fichte (pinus) convalidam as teorias de Bucur. Este pesquisador ensaiou 68 vigas de 14 x 16 x 425 cm e 68 vigas de 10 x 12 x 425 cm com teores de umidade de 20% e 10%, à flexão estática utilizando o ultra-som. Com os resultados obtidos, o autor determinou as correlações entre os dois tipos de ensaio e demonstrou a validade do uso do ultra-som na determinação da resistência e na rigidez da madeira, mas não propôs nenhum método para classificação das peças.

Sandoz (1998) apresentou trabalhos semelhantes ensaiando 341 vigas de diversas bitolas da espécie spruce, com teores de umidade de 14% e 22%, à flexão estática, utilizando o método visual e o ultra-som. Com os resultados obtidos, o autor determinou correlações entre os três tipos de ensaio e, utilizando essas correlações, ele propôs um método de classificação utilizando, como parâmetro, a velocidade de propagação do ultra-som nas peças estruturais, relacionando-as com as classes determinadas na Norma Suíça (SAI).

Steiger (1997) ensaiou 809 peças de fichte suíço de diversas bitolas, com teores de umidade de 12% e saturadas, à flexão estática, compressão e tração paralelas às fibras, utilizando o ultra-som e, também, o método visual. Trata-se de um trabalho bastante completo e recente sobre o tema. Utilizando os resultados obtidos, ele propôs um método de classificação pela velocidade de propagação do ultra-som, relacionando-as com as classes de resistência do Eurocode-5. Para os ensaios utilizando o ultra-som, o autor usou dois equipamentos: o Sylvatest e o Steinkamp e apresenta, parâmetros de comparação de velocidade x classe para os dois equipamentos.

Dentre as Normas para ensaios de peças estruturais à flexão estática, pode-se destacar as Normas prEN-408, européia, e a Norma ASTM D 198-84, americana. Basicamente, as duas Normas são muito parecidas, diferenciando-se apenas no aparato de leitura das deformações.

O grande desafio para o uso do ultra-som como método de classificação da madeira é a confiabilidade, aspecto este diretamente relacionado à pesquisa científica. Esta confiabilidade estará diretamente relacionada à obtenção de correlações válidas entre o ensaio direto (estático) e o ensaio dinâmico (ultra-som).

Neste sentido é fundamental que estudos semelhantes aos citados sejam realizados para as espécies brasileiras ou de reflorestamento, crescidas no Brasil.

O objetivo deste trabalho foi, portanto, a obtenção de correlações entre ensaios dinâmicos e estáticos em vigas (peças estruturais) visando ao estudo da viabilidade de aplicação do método do ultra-som na avaliação de propriedades da madeira das espécies *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*, ambas no estado saturado para, posteriormente, repeti-lo para as mesmas espécies no estado seco ao ar, comparando os resultados.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Para este trabalho utilizou-se a madeira de Eucalipto Citriodora (*Eucalyptus citriodora*) de toras retiradas da região de Campinas, SP, e Pinus elliottii (*Pinus elliottii*) de toras retiradas da região de Jarinu, SP, com teor de umidade acima do ponto de

saturação das fibras. A madeira de Eucalipto citriodora enquadra-se na classe C 40 – dicotiledônea da norma brasileira (NBR 7190/97) e a de Pinus elliottii na classe C 30 - coníferas. No total, foram obtidos, para cada espécie, 50 corpos de prova de seção nominal 6 x 12 x 250 cm, no estado verde.

Os ensaios foram realizados utilizando-se os seguintes equipamentos :

- equipamento de emissão de ondas de ultra-som marca Steinkamp BP-5, com dois transdutores de 45 kHz
- máquina de ensaio para aplicação de carregamento para realização de ensaio de flexão estática nas vigas, marca EMIC para 10 t
- relógios comparadores com sensibilidade de 0,01 mm
- balança eletrônica de precisão
- estufa para determinação do teor de umidade.

### Metodologia

**Retirada dos corpos de prova de *Eucalypto citriodora*:** De uma tora de aproximadamente 100 cm de diâmetro e 500 cm de comprimento, foram retiradas 25 vigas seção 6 x 12 cm e comprimento 500 cm. Estas vigas foram cortadas ao meio, no sentido longitudinal, e numeradas adequadamente, de maneira a possibilitarem a localização, ao longo do diâmetro, de cada peça no tronco. Para a localização das peças ao longo do comprimento foram adicionadas, à numeração, as letras “a” e “b”, indicando o topo e a base do tronco, respectivamente. As vigas foram mantidas na condição saturada.

**Retirada dos corpos de prova de *Pinus elliottii*:** De 11 toras de aproximadamente 30 cm de diâmetro e 500 cm de comprimento, foram retiradas 25 vigas seção 6 x 12 cm e comprimento 500 cm. Estas vigas foram cortadas ao meio, no sentido longitudinal. Tendo em vista o pequeno diâmetro das toras, as vigas foram retiradas de maneira a serem obtidas peças com anéis de crescimento posicionadas adequadamente na seção transversal. Para a localização das peças ao longo do comprimento foram adicionadas, à numeração, as letras “a” e “b”, indicando a base e o topo, respectivamente. Tendo em vista que os corpos de prova foram retirados de diferentes toras, a numeração foi adotada com dois dígitos, o primeiro indicando a tora e o segundo dígito a numeração do corpo de prova. As vigas foram mantidas na condição saturada.

**Ensaio de flexão estática:** Com os corpos de prova de seção 6 x 12 x 200 cm, foram realizados os ensaios de flexão estática para a obtenção do módulo de elasticidade à flexão estática ( $E_s$ ). Os ensaios foram realizados com a viga colocada na posição de menor inércia. Este procedimento foi executado para simplificar o esquema de ensaio, tendo em vista que era necessário garantir a estabilidade lateral da viga durante o ensaio; além disso, o objetivo era calcular o módulo de elasticidade da viga sendo, portanto, indiferente, a posição da seção transversal durante o ensaio.

Esses ensaios foram realizados de acordo com a Norma ASTM D 198-84, visto que a Norma 7190/97 não prevê ensaios de flexão estática em peças estruturais.

Para a execução do ensaio, as vigas de seção 12 x 6 cm e vão entre apoios de 144 cm (24 h) foram submetidos a duas cargas

iguais, aplicadas nos terços do vão entre apoios.

Em cada ensaio 10 deformações centrais foram lidas no trecho elástico. Com esses valores, o gráfico de carga x deformação foi construído e o valor do módulo de elasticidade aparente à flexão ( $E_m$ ) calculado.

**Ensaio dinâmico por ultra-som:** Utilizando-se as mesmas peças do ensaio de flexão estática (vigas) foram realizados os ensaios dinâmicos com a utilização do equipamento de ultra-som e obtida a velocidade de percolação longitudinal das ondas ( $V_v$ ).

Conhecidas esta velocidade e a densidade do material, calculou-se o Módulo de Elasticidade Longitudinal Dinâmico, por:

$$E_d = \rho V_v^2 \cdot 10^{-6} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

com:

$$V_v = d/t \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (2)$$

em que:

- $\rho$  - massa volumétrica saturada ( $\text{kg m}^{-3}$ )
- $V_v$  - velocidade de propagação da onda na viga ( $\text{m s}^{-1}$ )
- $d$  - distância percorrida pela onda (m)
- $t$  - tempo transcorrido no percurso (s)

Antes da realização dos ensaios dinâmicos, o equipamento foi calibrado utilizando-se um corpo de prova acrílico para o qual a velocidade de propagação da onda é conhecida e normalizada. Este corpo de prova acrílico é fornecido pelo fabricante do equipamento como acessório de calibração.

Os resultados obtidos para cada peça foram posteriormente correlacionados com os resultados dos ensaios estáticos de flexão estática.

**Cálculo do teor de umidade:** O teor de umidade (H) foi determinado retirando-se, da viga principal, corpos de prova testemunhas. Este teor foi calculado com base na massa anidra obtida na condição seca, em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , segundo a norma NBR 7190/97, anexo B.5.

**Cálculo da densidade:** A densidade aparente foi definida retirando-se da viga principal corpos de prova testemunhas. Esta determinação baseou-se na massa e no volume do corpo de prova no teor de umidade. Os valores foram determinados conforme a norma NBR 7190/97, anexo B.6.

**Equações de correlação para os ensaios estático e dinâmico:** De cada ensaio foram obtidos os respectivos resultados dinâmicos e estáticos, tratados utilizando-se análise de regressão, de forma a serem obtidas correlações entre os ensaios estáticos normalizados e os ensaios dinâmicos através da técnica do ultra-som. Na adoção dos modelos de regressão foram verificados os valores obtidos para o coeficiente de correlação, coeficiente de variação da regressão, análise de resíduos da regressão, teste T e teste F; os testes de normalidade dos resultados foram realizados antes da adoção dos modelos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores das médias, desvio-padrão e coeficiente de variação de  $E_m$  e  $E_{dm}$  e da velocidade de percolação do ultra-som, obtidos nos ensaios madeira de eucalipto e pinus, respectivamente.

Tabela 1. Média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos valores de  $E_m$ ,  $E_{dm}$  e velocidade, obtidos nos ensaios mecânicos, utilizando-se o ultra-som para o Eucalipto citriodora e Pinus elliottii

	$E_m$	$E_{dm}$	Velocidade
	kN cm <sup>-1</sup>		m s <sup>-1</sup>
A. Eucalipto citriodora			
Média	1762	2440	4432
Desvio	218	144	143
CV (%)	12,4	5,9	3,2
B. Pinus elliottii			
Média	630	1687	3475
Desvio	175	528	399
CV (%)	27,8	31,3	11,5

Utilizando-se os resultados experimentais, foram estabelecidas as correlações entre o ensaio estático e seu correspondente dinâmico, para cada uma das situações estudadas.

A Tabela 2 apresenta os modelos de regressão, o coeficiente de correlação (r) e de variação da regressão (CV) para a madeira de eucalipto e pinus, respectivamente.

Tabela 2. Modelo e Análise de regressão (r e CV) para o Eucalipto citriodora e Pinus elliottii.  $E_m$ ,  $E_{dm}$  em kN cm<sup>-2</sup> e  $V_v$  em m s<sup>-1</sup>

Modelo	r	CV (%)
A. Eucalipto citriodora		
$E_m = 1,285 E_{dm} - 1373$	0,85	6,7
$E_m = 1,31 V_v - 4042$	0,80	1,8
B. Pinus elliottii		
$E_m = 0,45 E_{dm} + 99,8$	0,88	13,9
$E_m = 0,37 V_v - 669$	0,85	6,1

Para melhor visualização dos resultados, são apresentados, na Figura 1A e B, os gráficos representativos das correlações entre os resultados obtidos nos ensaios estáticos de flexão ( $E_m$ ) e os obtidos nos ensaios dinâmicos ( $E_{dm}$ ) utilizando-se o ultra-som, segundo a metodologia descrita, para a madeira de eucalipto e pinus, respectivamente.

Observe-se que a variação dos resultados obtidos para os ensaios estáticos na madeira de eucalipto foi pequena, ou seja, os coeficientes de variação foram em torno de 12,4% para o ensaio de flexão estática e de 5,9% para o ensaio dinâmico.

A variação dos resultados obtidos para os ensaios estáticos na madeira de pinus foi bem maior, isto é, os coeficientes de variação encontrados foram em torno de 27,8% para os ensaios de flexão estática e de 31,3%, para o ensaio dinâmico.

A maior variabilidade dos resultados obtidos para o pinus pode ser explicada pela procedência da madeira utilizada para a confecção dos corpos de prova. Os corpos de prova de eucalipto foram retirados de uma só árvore, enquanto os corpos de prova de pinus foram retirados de onze diferentes árvores, embora todas procedentes de uma mesma região.

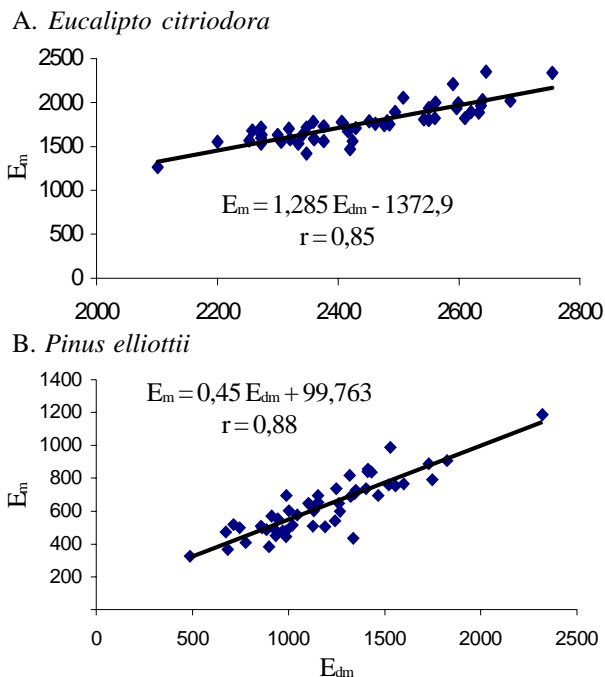


Figura 1. Correlação entre o módulo de elasticidade à flexão, obtido nos ensaios de flexão estática ( $E_m$ ) e o módulo de elasticidade dinâmico obtido no ensaio não destrutivo, utilizando-se ultra-som – A. *Eucalypto citriodora* e B. *Pinus elliottii*. Unidade:  $kNc\ m^{-2}$

É importante notar que o ensaio dinâmico acompanhou esses resultados apresentando, também, maior variação para a madeira de pinus.

No ensaio dinâmico, a velocidade obtida no sentido longitudinal é bastante sensível às diferenças anatômicas, sensibilidade esta diretamente relacionada à continuidade dos elementos estruturais, com reflexos na amplitude encontrada entre os valores máximos e mínimos de velocidade. Os resultados apresentados neste trabalho mostram que, para o caso do Eucalypto citriodora, a variação de velocidade foi bastante pequena. Este resultado se mostra coerente, pois o lote ensaiado, além de homogêneo, não apresentava, visualmente, distorções de fibras, nós ou outros defeitos. No caso do pinus, a avaliação visual mostrou que o lote de vigas a ser ensaiado apresentava muitas peças com desvio de fibras, inúmeros nós etc. Tendo em vista que o intuito da pesquisa é exatamente a análise do comportamento do ultra-som visando à classificação da madeira, somente foram descartadas as vigas cujos defeitos visuais mostraram incompatibilidade com o uso estrutural. Estas observações se refletiram diretamente nos valores das velocidades lidas durante o ensaio dinâmico. A velocidade para o Pinus elliottii apresentou grandes variações, acompanhando a estrutura das peças.

Embora a Tabela 2 apresente somente a expressão final da regressão (modelo) e os coeficientes de correlação e de variação da regressão, é importante salientar que testes de normalidade foram realizados para todos os resultados ( $E_m$ ,  $E_{dm}$  e  $V_v$ ) e para toda análise estatística da regressão (testes F e T, e análise de resíduos). Os testes de normalidade indicaram não ser possível se rejeitar a hipótese de normalidade dos dados e as análises da regressão apontaram para a significância dos modelos adotados, a nível de 5%.

No caso específico deste trabalho, analisar a significância dos coeficientes de correlação obtidos nos modelos adotados é fundamental, ou seja, é necessário que se avalie se o valor obtido para o coeficiente de correlação reflete ou não uma correlação real e significativa entre os parâmetros analisados, e isto não pode ser feito levando-se em consideração tão somente o valor numérico encontrado. É necessário, inclusive, que se avalie este valor dentro do contexto geral, isto é, tamanho da amostra e nível de significância desejado. Uma das maneiras de se efetuar esta análise é consultando uma tabela proposta por R.A. Fisher que, empregando a distribuição t para diferentes tamanhos de amostras, permite verificar a significância do coeficiente de correlação r. Esta tabela admite o número de graus de liberdade (n) como sendo igual ao número total da amostra (n) – 2; desta forma, consultando-se a tabela do referido autor para n = 48 (cinquenta ensaios) verificar-se-á que é necessário que o coeficiente de correlação seja de valor pelo menos igual a 0,2875, para ser aceito como significativo, se o padrão de significância for P = 0,05, ou seja, 5%, mas se o padrão de significância for P = 0.01, aceitar-se-á como significativo da relação real, um r de 0,3721, obtido da mesma amostra. O valor mínimo de r encontrado na avaliação estatística dos modelos foi o de 0,80 (correspondente ao coeficiente de correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a velocidade para a espécie Pinus elliottii). Com esses valores, conclui-se pela significância dos coeficientes de correlação obtidos para os modelos adotados.

A literatura indica, também, a importância do coeficiente de variação da regressão na análise de modelos que se pretende utilizar para a predição de valores. No caso deste coeficiente, admite-se que devam estar abaixo de 15%. A Tabela 2 mostra que, em todos os casos, os valores se situam abaixo deste limite.

Finalmente, a análise de resíduos das regressões mostram que os mesmos se encontram uniformemente distribuídos em torno do zero, indicando a boa adequação dos modelos.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e a análise desses resultados, nas condições adotadas neste trabalho, permitem concluir que:

1. Os modelos encontrados para se correlacionar ensaios estáticos com ensaios dinâmicos para as espécies Eucalypto citriodora e Pinus elliottii, foram adequados e significativos, indicando que há possibilidade de utilização de ensaio não destrutivo utilizando-se a técnica do ultra-som para complementar ou auxiliar a avaliação de peças estruturais de madeira, deve ser considerada.

2. Os modelos encontrados para se correlacionar módulo de elasticidade estático à flexão com a velocidade de percolação da onda no ensaio de ultra-som para as espécies Eucalypto citriodora e Pinus elliottii, foram adequados, indicando que há possibilidade de se estudar a classificação de peças de madeira em serraria, adequando-se esta técnica; para que isto seja possível, o estudo deve ser continuado, visando à verificação da possibilidade de serem obtidos intervalos de variação de velocidade correspondentes às classes de resistência da NBR 7190/97.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190/97. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997. 247 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard method of static tests of timber in structural sizes. ASTM designation D198-84, 1984.
- BUCUR, V. Wood failure testing in ultrasonic methods. In: Nondestructive testing of wood symposium, 4, 1978, Washington. Proceedings..., p. 223-226
- BUCUR, V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees. Ultrasonics, v. 21 n. 1, p. 116-126, 1983.
- BUCUR, V. La vitesse des ultrasons et la qualité du bois. In: Colloque du Groupe Français de Rhéologie, 19, Anais... 1984, Paris.
- COMITÉ EUROPEEN DE NORMALISATION. Determination of some physical and mechanical properties of structural timber and glued laminated timber. CEN: prEN-408, 1994.
- HERNÁNDEZ, R.A.; KOUBA, A.M.; BEAUDOIN Y.F. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science, v. 30, n. 2, p. 138-147, 1998.
- KOUBAA, A.R.; HERNÁNDEZ, M.; BEAUDOIN, Y.F.; POLIQUIN, J. Nondestructive evaluation of physical, mechanical and anatomical properties of fast growing poplar hybrid clones. In: CTIA/IUFRO International wood quality workshop "Timber management toward wood quality and end-product value", 1997, Quebec, Proceedings... 1997. p.47-53.
- MELO, J.E. Classificação mecânica de peças estruturais de madeira. São Carlos: EESC/USP, 1984. 120p. Dissertação Mestrado
- ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. Forest Products Journal, v. 48, n. 1, p.14-19, 1998.
- SANDOZ, J.L. Grading of construction timber by ultrasound. Wood Science and Technology. v.23, n.2. p.95-108, 1989.
- SANDOZ, J.L. Valorisation of forest products as building material using nondestructive testing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NON DESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 9, 1993, Proceedings... September, 1993.
- STEIGER, R. Sortierung von Rund-und Schnittholz mittels Ultraschall. Holzforschung und Holzverwertung, v.49, n.2, p.28-35, 1997.
- WAUBKE, N.V. Impuslaufzeitmessung fur die Sortierung von Bauholzenm. Holzbauforschung. p.152-154. 1988.