

## DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS PELO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO

**Álefe Lopes Viana<sup>1</sup>, José Cordeiro Neto<sup>2</sup>, Marcele de Freitas Lopes<sup>3</sup>, Claudete Catanhede Nascimento<sup>4</sup>**

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro

(alefe.viana@ifam.edu.br)

2 Eletrobrás Distribuição Amazonas

(jcn.cordeiro@gmail.com)

3 Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas

(mar.florestal@gmail.com)

4 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

(catanhed@inpa.gov.br)

### RESUMO

A utilização de técnicas não destrutivas (NDT) para o estudo da madeira e de seus subprodutos é bastante difundida. Essa técnica NDT pode ser definida como sendo aquela que identifica propriedades físicas e mecânicas de materiais sem alterar a capacidade de uso final, para em seguida usar essa informação na tomada de decisão, com relação a uma aplicação apropriada. A metodologia tradicional (destrutiva) demanda altos custos e extenso período para execução dos ensaios. Poucos são os estudos relacionados ao uso de mensurar a qualidade da madeira pelos métodos não destrutivos na região amazônica, mas atualmente vêm sendo empregados devido às suas vantagens. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou as propriedades das madeiras de *Dipteryx odorata* (Aublet.) Willd, *Hymenaea courbaril* L. e *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich. obtidos por meio de ensaios não destrutivos com *Stress Wave Timer*. Foram utilizadas dez amostras de cada espécie e classificadas visualmente, pois a presença de defeitos poderia afetar no resultado, ou seja, na propagação das ondas. O Teste de *Tukey* apontou diferenças significativas entre as espécies apenas para a propriedade de densidade. Sobretudo, as propriedades de velocidade e modo de elasticidade não diferiram estatisticamente entre si.

**Palavras chaves:** Metodologia não destrutiva, caracterização tecnológica, madeiras da Amazônia.

1 Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Professor do Dep. de Química, Ambiente e Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro.

2 Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Eletrobrás Distribuição Amazonas.

3 Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas.

4 Doutora em Ciências Biológicas (Botânica). Pesquisadora do Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

## ABSTRACT

The use of non-destructive techniques (NDT) for the study of wood and its by-products is widespread; The NDT technique is the one that identifies physical and mechanical properties of materials without changing their final suitability, , so that it can be used in decision making, in relation to an appropriate application. The traditional methodology (destructive) demands high costs and an extended period for tests execution. There are few studies related to the use of wood quality measuring by non-destructive methods in the Amazon region, but are currently adopted because of its advantages. In this context, the present work evaluated the properties of the wood of *Dipteryx odorata* (Aublet.) Willd, *Hymenaea courbaril* L. and *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich, obtained by non-destructive tests with Stress Wave Timer. Ten samples of each species were used and visually classified, because the presence of defects could affect the result, that is, in the wave propagation. The Tukey test showed significant differences among species only for density property. Above all, the properties of velocity and mode of elasticity did not differ statistically from each other.

**Keywords:** Non-destructive methodology, technological characterization, Amazonian woods.

Submetido em: 13/10/2018

Aceito em: 20/12/2018

## INTRODUÇÃO

A Amazônia contém um dos maiores estoques de madeira do mundo (SILVA, 2012). Nossas florestas são recursos extremamente valiosos. Além de seu valor estético e recreacional, a floresta serve como fonte de matéria-prima para uma lista sempre crescente de produtos utilizados pela sociedade (PUEHRINGER, 1999).

Conhecer as características e propriedades tecnológicas de cada espécie é fundamental para o seu uso e aproveitamento racional.

As avaliações destrutivas em geral, são os principais métodos utilizados para o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira. O uso dessa metodologia é totalmente válido, mas classifica-se como um método oneroso em razão do tempo consumido com a confecção dos corpos-de-prova e custo do material (SILVA, 2012).

Por sua vez, as avaliações não destrutivas permitem a obtenção de informações mais precisas e mais amplas, medindo-se um maior número de amostras, em função da rapidez dos testes (STANGERLIN et al., 2008; Ross et al., 1998).

A utilização de técnicas não destrutivas (NDT) para o estudo da madeira e de seus subprodutos é bastante difundida, e remonta desde a década de 1960. A técnica NDT pode ser definida como sendo aquela que identifica propriedades físicas e mecânicas de materiais sem alterar sua capacidade de uso final, para em seguida usar essa informação na tomada de decisão com relação a uma aplicação apropriada (WANG et al., 2007; PELLERIN & ROSS, 2002).

Destacamos dentre tais técnicas os testes de *stress wave*, ultrassom, deflexão, espectroscopia no infravermelho próximo e método de raios X (MORALES, 2006 *apud* MENDES et al., 2012).

Na técnica do *stress wave*, são geradas ondas através de uma vibração produzida por impacto na peça em estudo. Mede-se a velocidade do som, cujo valor é utilizado na determinação da constante dinâmica (BUCUR, 2006; BODIG, 2001).

Poucos são os estudos relacionados ao uso de mensurar a qualidade da madeira pelos métodos não destrutivos na região amazônica, mas atualmente vêm sendo bastante empregados devido às suas vantagens.

Dessa forma, no presente trabalho é mostrado as avaliações das propriedades das madeiras de Cumaru *Dipteryx odorata* (Aublet.) Willd., Jatobá *Hymenaea courbaril* L. e Ipê *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich., obtidos por meio de ensaios não destrutivos com Stress Wave Timer.

## MÉTODO OU FORMALISMO

### Local de coleta

As amostras foram coletadas de uma indústria de produtos madeireiros da cidade de Manaus, Amazonas. A empresa dispõe de moderna estrutura de produção, com plainas moldureiras e perfiladeiras, estufas computadorizadas que permitem a fabricação de pisos macheados, *decking* e S4s, com secagem artificial, atendendo ao padrão de qualidade exigido pelo mercado internacional, fazendo uso de matéria-prima certificada, oriunda de manejo florestal. As amostras foram retiradas do processo produtivo destinado à fabricação de pisos.

### Espécies estudadas

As três espécies foram identificadas preliminarmente na empresa pelo nome comum, sendo Cumaru, Ipê e Jatobá. Posteriormente foram identificadas no Laboratório de Anatomia da Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), como segue:

Tabela 1 - Identificação das espécies.

Nome Comum	Nome Científico	Família
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd	Fabaceae
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nich.	Bignoniaceae
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Caesalpiniaceae

A condição de umidade das amostras foi de 12% e foram escolhidas de forma aleatória.

## Avaliação da qualidade das amostras

### Visual

As amostras foram analisadas previamente a fim de verificar a ocorrência de fungos, trincamentos, rachaduras, brocas, nó, dentre outros defeitos que venham interferir na propagação das ondas de tensão pela peça.

### Densidade aparente

Foram medidas a espessura, largura e comprimento das amostras analisadas com paquímetro digital e o seu peso aferido em balança de precisão.

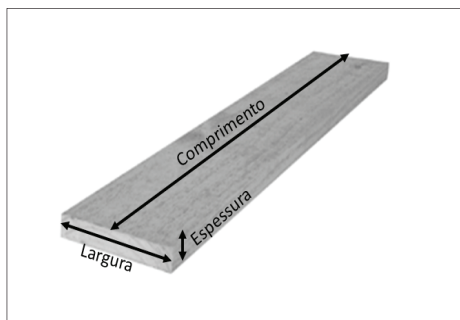


Figura 1: Procedimento de medição das amostras para volume.

O cálculo da densidade aparente foi feito através da equação a seguir:

$$D = \frac{P}{V} \quad (\text{g/cm}^3)$$

Em que:

D = Densidade aparente;

P = Peso da amostra (g);

V = Volume das amostras (cm<sup>3</sup>).

## NDE – Método não destrutivo

O aparelho utilizado para medir a propagação das ondas de tensão foi o “Stress Wave Timer”, modelo 239-A, da marca Metriguard (Figura 02).

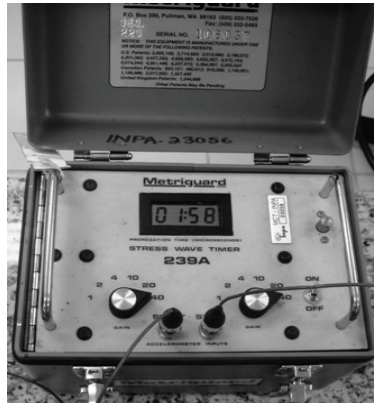


Figura 2: Aparelho *Stress wave timer* (SWT). Fonte: Os autores.

É um equipamento composto por dois transdutores acelerômetros dispostos sobre o material a ser medido e um relógio registrador da velocidade da onda. O processo de medição por meio desse equipamento consistiu na disposição das amostras entre os dois sensores com vão livre; zerando-se o relógio registrador e, liberando um pêndulo metálico que entra em choque com o sensor que emite a onda na face transversal da amostra, fazendo com que a onda percorra a amostra longitudinalmente até o receptor. Dessa forma, determinou-se a velocidade de propagação da onda.

### Cálculo da velocidade de propagação da onda

A velocidade de propagação das ondas de tensão foi calculada através da distância de um sensor para outro do aparelho que consiste no comprimento das peças mostradas e o tempo de propagação do emissor até o receptor; foram tomadas 5 (cinco) leituras, com base nos estudos de Wang et al., (2007) e Bucur (2006).

A equação abaixo foi a utilizada para o cálculo:

$$V_0 = \frac{L}{t \times 10^{-6}}$$

Onde:

$V_0$  = Velocidade de propagação da onda (m/s);

L= Distância entre os sensores (cm);

t = Tempo de propagação ( $\mu$ s).

### Módulo de elasticidade – MOE

O MOE dinâmico das amostras foi calculado pela equação abaixo:

$$E_d = \frac{v_o^2 \times D}{g} \times 10^{-5} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

$E_d$  = módulo de elasticidade dinâmico ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );

$V_o$  = Velocidade de propagação da onda (m/s);

D = densidade da madeira ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

g = aceleração da gravidade ( $9,804 \text{ m}/\text{s}^2$ ).

### Análise estatística

Os dados coletados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA), seguida de teste de Tukey a 5% para verificar a existência de diferenças significativas entre as espécies.

Em seguida, foi feita análise de correlação de Pearson (r) entre todas as propriedades para se avaliar a adequação do modelo linear de regressão. Posteriormente os dados de  $E_d$ ,  $v_o$ , EM, fM, Pmáx, Plim, Tlim foram utilizados para gerar um modelo de regressão linear simples ( $y = a + bx$ ).

Essa análise de regressão foi feita para cada espécie individualmente ( $N=10$ ) e também entre as três espécies de madeira ( $N=30$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Propriedades das Madeiras

Na Figura 3 estão apresentados os resultados das propriedades não destrutivas, Velocidade e Módulo de Elasticidade Dinâmico das três espécies estudadas.

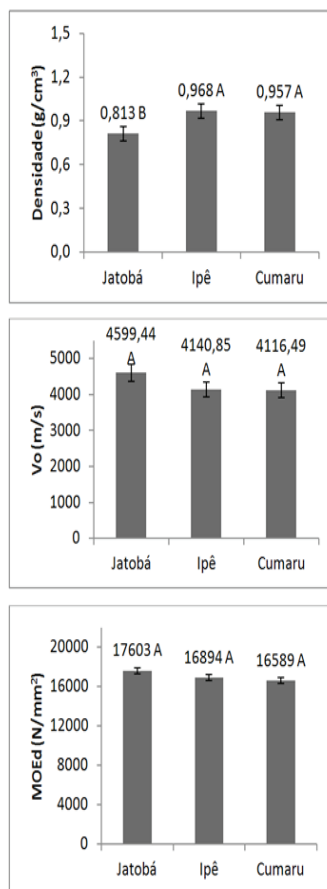


Figura 3: Propriedades não-destrutivas, densidade e módulo de elasticidade para as três espécies estudadas.

O teste de Tukey apontou diferenças significativas entre as espécies apenas para a propriedade de densidade; as propriedades de velocidade e módulo de elasticidade não diferiram estatisticamente entre si. A diferença entre as espécies quanto à densidade pode ser explicada, pois mesmo as espécies estando na mesma classe de densidade (classificadas como pesadas) possuem valores de peso específico diferentes; tais valores de densidade são corroborados por outros autores, como FUNTAC (1987), que classifica a densidade do cumaru entre 0,89 e 1,18 g/cm<sup>3</sup>, 0,89 e 1,00 g/cm<sup>3</sup> para o ipê e 0,71 e 1,01 g/cm<sup>3</sup> para o jatobá; INPA/CPPF (1991) também encontrou resultados similares para o cumaru (0,97 g/cm<sup>3</sup>), 0,87 g/cm<sup>3</sup> para o ipê e 0,71 g/cm<sup>3</sup> para o jatobá.

Devido às espécies pertencerem a mesma classe de densidade (pesadas), os resultados para velocidade e módulo de elasticidade não tiveram diferenças significativas. Mesmo sendo equivalentes. Para o cálculo do módulo de elasticidade a velocidade de propagação exerceu influência, pois em cada espécie esta se

propaga diferente, devido aos fatores inerentes à madeira, como por exemplo, caracteres anatômicos.

Tabela 2 - Valores atribuídos às propriedades não-destrutivas.

		D (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo (μs)	Vo (m/s)	MOEd
Cumaru	Mín.	0,886	164,000	3719,388	138,0366
	Máx.	1,046	196,000	4445,122	204,7582
	Média	0,957	177,440	4116,492	165,8916
	CV (%)	6,060	5,593	5,533	12,456
Ipê	Mín.	0,795	112,800	3724,359	140,2792
	Máx.	1,033	156,000	5150,709	271,9723
	Média	0,972	138,727	4232,656	178,3073
	CV (%)	6,939	10,007	10,769	20,498
Jatobá	Mín.	0,715	146,200	3970,588	135,6081
	Máx.	0,886	183,600	4979,480	215,1658
	Média	0,813	159,020	4599,445	176,0348
	CV (%)	7,525	7,408	6,998	15,445

Dessa forma, os valores encontrados nessa pesquisa são corroborados por outros autores que fizeram, para as mesmas espécies, o teste destrutivo, como os resultados encontrados por FUNTAC (1987), que encontrou para o cumaru um MOE de 175,4 Kgf/cm<sup>2</sup>, 177,5 kgf/cm<sup>2</sup> para o ipê e 150 kgf/cm<sup>2</sup> para o jatobá e INPA/CPPF (1991) que encontrou 161 kgf/cm<sup>2</sup> para o cumaru, 169 Kgf/cm<sup>2</sup> para o ipê e 151 kgf/cm<sup>2</sup> para o jatobá. Tais resultados validam o método não destrutivo, pois a variação entre os valores de cada método é mínima, sendo que no método não destrutivo, temos a vantagem de realizarmos os ensaios em um curto período de tempo e ainda não danificar as amostras, reduzindo-se os custos; ao passo que o método destrutivo requer mais tempo, perdem-se as amostras e ainda requer certo de grau de domínio para operar a máquina de ensaio.

### Análise de Variância

Pôde-se avaliar que o Módulo de Elasticidade Dinâmico e a velocidade de propagação da onda não tiveram diferença significativa entre as espécies conforme as Tabela 1 e Tabela 2, porém quando se avalia a densidade aparente se nota uma diferença significativa entre as espécies, conforme a Tabela 3, mas essa diferença na densidade não influencia no modo de elasticidade dinâmico.



Tabela 3 - Análise Variância em relação ao Modo de Elasticidade Dinâmica.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Espécies	2	5417317,858	2708658,929	0,515	0,6033 ns
Erro	27	142045334,5	5260938,315		
Total	29	147462652,4			

ns= Não significativo

Tabela 4 - Análise Variância em relação à Velocidade.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr > Fc
Espécies	2	68704507,78	34352253,89	0,914	0,4129 ns
Erro	27	1014628690	37578840,39		
Total	29	1083333198			

ns= Não significativo

Tabela 5 - Análise Variância em relação à densidade aparente da madeira.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Espécies	2	0,155317	0,077659	19,097	0,000*
Erro	27	0,109796	0,004067		
Total	29	0,265113			

\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

A Tabela 4 mostra que apesar de o Jatobá possuir uma diferença significativa na densidade, não influencia nem na velocidade da onda e nem no módulo de elasticidade. Isto pode estar relacionado a essas espécies por pertencerem ao mesmo grupo de madeiras muito pesada.

Quadro 1 - Tabela das médias obtidas.

Espécie	Densidade	Velocidade	MoED
Jatobá	0,8128 B	4599,444 A	17603,52 A
Ipê	0,9683 A	7540,851 A	16894,08 A
Cumaru	0,9624 A	4116,492 A	16589,17 A

## Modelos Matemáticos

Foram testados modelos lineares utilizando a velocidade da onda para se encontrar o modo de elasticidade dinâmico, para cada espécie e para todas elas. Todos os modelos foram significativos com 95% de probabilidade, assim como também obtiveram o coeficiente de variação satisfatório com destaque para o Ipê

com 5,41% e o maior coeficiente foi o modelo que reuniu todas as espécies com 8,37%. Além disso, os coeficientes de determinação que se destacaram foram do Ipê com o melhor resultado  $R^2$  de 82% e quando se reúnem as espécies o resultado fica abaixo com o  $R^2$  de 61,37%, conforme a tabela 06.

Tabela 6 - Parâmetros dos modelos matemáticos.

Espécie	$R^2$ (%)	CV (%)	F
Jatobá	74,09	8,34	22,8771*
Ipê	82,00	5,41	36,4554*
Cumarú	74,75	6,64	23,6897*
Todas	61,37	8,37	44,4953*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

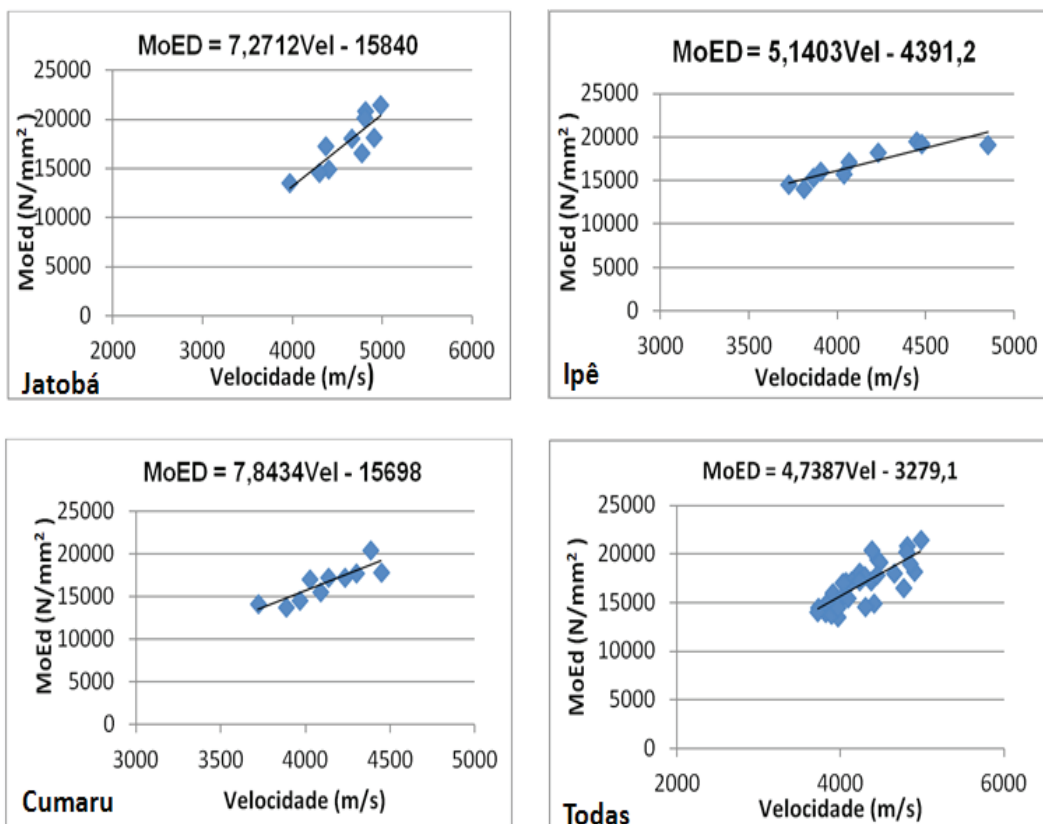


Figura 4: Equações com o modelo para cada espécie.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As avaliações da qualidade da madeira através de métodos não destrutivos permitem a obtenção de informações mais precisas e mais amplas, medindo-se um maior número de amostras, em função da rapidez dos testes e pelo fato de não ter que destruir a peça para poder avaliá-la, torna o processo menos oneroso.

Dessa maneira, pode-se calcular o módulo de elasticidade das espécies. Esta propriedade mecânica da madeira é um ótimo estimador das propriedades de flexão de madeiras tropicais, quando há variabilidade entre as espécies, mas neste caso não houve variabilidade entre as espécies, todas tiveram o mesmo comportamento.

A única propriedade que apresentou diferença significativa estatisticamente foi a densidade básica do jatobá, as demais espécies não apresentaram diferenças estatísticas.

## REFERÊNCIAS

BODIG, J. The process of NDE research for Wood and Wood composites. **The journal of nondestructive testing**. V.6 (3), 2006.

BUCUR, V. **Acoustics of wood**. 2 ed. Basileia, Birkhäuser, 2006. FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE - FUNTAC. **Caracterização e índices qualificativos de 20 espécies florestais do Acre**. Rio Branco, 1987.

INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas: Área da Hidrelétrica de Balbina**. CPPF/INPA, Manaus, 1991.

MORALES, E. A. M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB [tese]**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2006.

MENDES, R. F. et al. Determinação do Módulo de Elasticidade de Painéis Aglomerados por stress wave timer. **Floresta e Ambiente**, 19 (2): 117-122, 2012.

PELLERIN, R.F.; ROSS, J.R. **Nondestructive evaluation of wood**. FPS. Madison. P.210, 2002.

PUEHRINGER, C. A. Caracterização de propriedades de madeira pelo uso de emissão de ondas acústicas. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - UFPR, 7., 1999, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: UFPR, 1999.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, US, v. 48, n. 1, p. 14 – 19, 1998.

SILVA, F. **Métodos não destrutivos como ferramenta de apoio aos planos de manejo florestal sustentado na Amazônia**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação de Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 169 p., 2012.

STANGERLIN, D. M. et al. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008.

WANG, X. et al. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials – a path to increased profitability. **Forest Products Journal**, v.57, n.5, p.6-14, 2007.