

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE ATRAVÉS DA ESPESSURA DE PAINÉIS OSB UTILIZANDO ONDAS ULTRA-SÔNICAS

Elen Ap. Martines Morales
Francisco A. Rocco Lahr
Maria Fátima do Nascimento

Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM),
Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Universidade de São Paulo (USP),
Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP

Resumo

Dentre os painéis derivados de madeira, o que tem despertado maior interesse da construção civil e maior incremento de aplicação em todo o mundo é o *Oriented Strand Board* (OSB). O objetivo deste trabalho foi estudar a sensibilidade do ultra-som na avaliação de propriedades de painéis OSB de duas espessuras diferentes. Tendo em vista que a propagação da onda se deu no sentido da espessura, a avaliação foi realizada comparando-se a variação da velocidade de propagação das ondas e das constantes dinâmicas com a variação da densidade, da absorção de água, do inchamento em espessura e da tração perpendicular às faces, obtidas em ensaios destrutivos. A experimentação foi conduzida utilizando-se equipamento de ultra-som modelo STEINKAMP, modelo BP-7, com transdutores de 45 kHz e gel medicinal como acoplante. Foram avaliados painéis OSB nas espessuras de 15 mm e 25 mm. Os valores de absorção de água, de inchamento em espessura e de tração perpendicular apresentaram diferença entre os painéis estudados, tanto nos ensaios mecânicos quanto nos ensaios com ultra-som, demonstrando que essas propriedades não são diferentes nos painéis estudados, embora possuam espessuras diferentes, e que ambos os métodos apresentaram o mesmo resultado.

Palavras-chave: *Oriented Strand Board*, painéis derivados de madeira, ultra-som.

Introdução

Dentre os painéis derivados de madeira, um deles tem se destacado, em especial na construção civil: o OSB (*Oriented Strand Board* ou aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas).

Segundo a Norma Portuguesa EN 300 (2002), o OSB é composto por várias camadas constituídas por partículas de madeira longas, de determinado formato e espessura, aglutinadas por uma resina colante (adesivo).

A Figura 1a mostra exemplos de painéis OSB. As partículas longas de madeira das camadas exteriores encontram-se alinhadas e dispostas preferencialmente na direção paralela ao comprimento ou à largura do painel e as partículas da, ou das, camadas interiores podem encontrar-se orientadas aleatoriamente ou alinhadas, geralmente, na direção perpendicular à das partículas de madeira longas das camadas exteriores. A Figura 1b mostra a orientação em camadas dos painéis OSB.

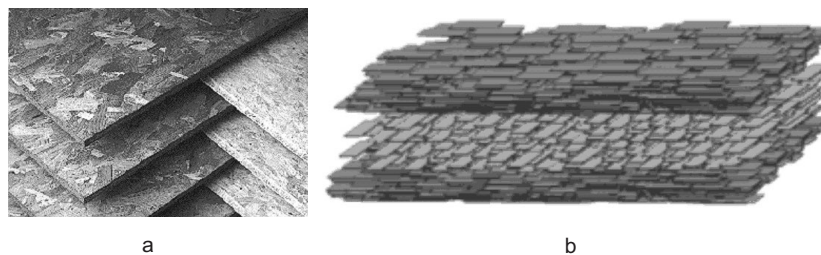


Figura 1 Painéis OSB. (a) Exemplos de painéis OSB e (b) orientação das camadas dos painéis OSB. Fonte: <<http://www.osb-info.org/html/POset.html>>.

As suas principais aplicações são: produção de divisórias de ambientes; fechamento de paredes, contrapisos e forros de coberturas; produção de vigas I estruturais; fabricação de móveis (Einsfeld *et al.*, 1998); tapumes e barracões de obras; corpos de *motor-home*; carrocerias de caminhões; *pallets* tipo contêiner; embalagens; *displays*; decoração; e *design* (site Masisa, 2002).

A avaliação não-destrutiva de materiais (*nondestructive evaluation* – NDE) consiste na identificação de propriedades físico-mecânicas de parte do material sem alterar suas propriedades de utilização, com a finalidade de tomar decisões apropriadas a respeito de suas aplicações. Tais avaliações são feitas através de testes não-destrutivos (*nondestructive testing* – NDT) para prover informação a respeito das propriedades, desempenho ou condição do material em questão (Ross, 1998).

Tem-se relatado o emprego de técnicas não-destrutivas na determinação de propriedades físicas e mecânicas, seja na madeira serrada, em produtos à base de madeira ou em árvores em pé (Bartholomeu, 2001; Ballarin & Gonçalves, 2001).

Dentre os NDT, em especial, tem-se o ultra-som, um interessante instrumento para a estimativa das propriedades da madeira. O manuseio dos equipamentos de ultra-som é simples e seu custo não é alto, o que tem disseminado o seu uso em várias partes do mundo. Paralelamente a isso, cresce o interesse por ensaios não-destrutivos para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de toda sorte de materiais, o que se coaduna com a visão deste novo século, pautada pelos cuidados com a preservação ambiental (Bartholomeu, 2001).

A principal vantagem desta técnica é a flexibilidade em medir a velocidade e a atenuação de ondas ultra-sônicas.

A aplicação e a medição pelo teste de ultra-som consistem no posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre o material a ser avaliado. A onda ultra-sônica é introduzida por um dos transdutores e captada pelo outro, sendo a contagem do tempo, em microssegundos, efetuada pelo próprio equipamento de ultra-som. Os tempos registrados são empregados no cálculo de V, utilizando-se a equação 1.

$$V = \frac{d}{t} \quad (1)$$

em que:

V = velocidade de propagação da onda (m/s)

d = distância entre os transdutores (m)

t = tempo de propagação da onda (s)

Calculado o valor V, o teste de ultra-som permite avaliar o valor da constante dinâmica (C) segundo qualquer eixo, de acordo com o posicionamento dos transdutores,

dada pela Segunda Lei de Newton, conforme a equação 2, já mencionada anteriormente.

A partir do cálculo de V este teste permite avaliar o valor da constante dinâmica (C), dada pela Segunda Lei de Newton (equação 2):

$$C = \rho \cdot V^2 \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

em que:

C = constante dinâmica (MPa)

ρ = densidade do material (kg/m³)

V = velocidade de propagação da onda (m/s).

Quanto à determinação da correlação entre os resultados obtidos com um procedimento alternativo e os obtidos com o procedimento normalizado, deve-se realizar a amostragem aleatória de, pelo menos, 32 painéis do mesmo tipo de produto.

Se o valor calculado do coeficiente de correlação for superior ou igual a 0,70, que equivale a R² igual a 0,49, a equação de regressão pode ser utilizada para ajustar os resultados do ensaio pelo procedimento alternativo aos obtidos pela aplicação do procedimento normalizado (EN 326-2, 2002).

Estudos, apesar de poucos e recentes, principalmente no Brasil, têm sido realizados com o método não-destrutivo de ultra-som para a estimativa de propriedades físico-mecânicas de derivados de madeira, em especial o OSB. A seguir serão considerados alguns dos citados estudos que apresentam dados específicos para a presente pesquisa.

Vun *et al.* (2000) estudaram painéis OSB produzidos em laboratório, com medições de tempo de propagação de ondas através da espessura, utilizando método de ultra-som. Os autores obtiveram, dentre outras conclusões, que a velocidade e a atenuação correlacionam-se não linearmente com a densidade e a correlação entre a densidade do painel e a velocidade provê um meio para determinar a variação da densidade do painel utilizando técnicas baseadas em ultra-som.

Encontraram em painéis OSB, de uma camada, na espessura 12,7 mm, com densidade próxima a 600 kg/m³, utilizando o método de ultra-som (contato direto), valores de velocidades próximos a 700 m/s.

Morales *et al.* (2004) apresentaram estudo da eficiência da utilização do método não-destrutivo de ultra-som para estimar propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB comerciais na espessura de 15 mm, obtendo valores médios de velocidade e coeficiente de variação, respectivamente, iguais a 1116 m/s e 8%. Verificaram que ao longo da espessura os painéis apresentaram menor homogeneidade do que ao longo das direções principais e os valores obtidos no ensaio de ultra-som não se correlacionaram com os obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade do ultra-som na avaliação de propriedades de painéis OSB de duas diferentes espessuras: 15 e 25 mm. As propriedades consideradas foram: a densidade, a absorção de água, o inchamento em espessura e a tração perpendicular às faces, uma vez que a propagação da onda se deu no sentido da espessura.

Materiais e Métodos

Foram ensaiados painéis OSB/3 (painéis para fins estruturais utilizados em ambiente úmido, segundo a EN 300/2002), fabricados pela Masisa do Brasil, nas espessuras nominais de 15 e 25 mm.

Os referidos painéis são constituídos de três camadas, sendo as externas com os *strands* paralelos entre si, na direção do comprimento do painel, e a camada interior com os *strands* dispostos na direção perpendicular aos

das camadas externas. A proporção face-miolo-face destes painéis é de 1:2:1.

Inicialmente, os painéis foram demarcados em suas larguras e comprimentos, de 50 em 50 mm, e foi esquematizado o maior número possível de corpos-de-prova para os ensaios físico-mecânicos posteriores, por painel, seguindo as prescrições da EN 326-1/2000. Adotou-se o critério de ter no mínimo 30 corpos-de-prova em cada tipo de ensaio, para obter grandes amostras, como consta nas Figuras 2a e b, em representações dos painéis seccionados.

Posteriormente foram conduzidos ensaios não-destrutivos com o equipamento de ultra-som nos painéis, no Laboratório de Acustoelástica, da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O aparelho utilizado foi o STEINKAMP, modelo BP-7, com transdutores planos de frequência 45 kHz, com gel medicinal como acoplante, pertencentes a esse laboratório.

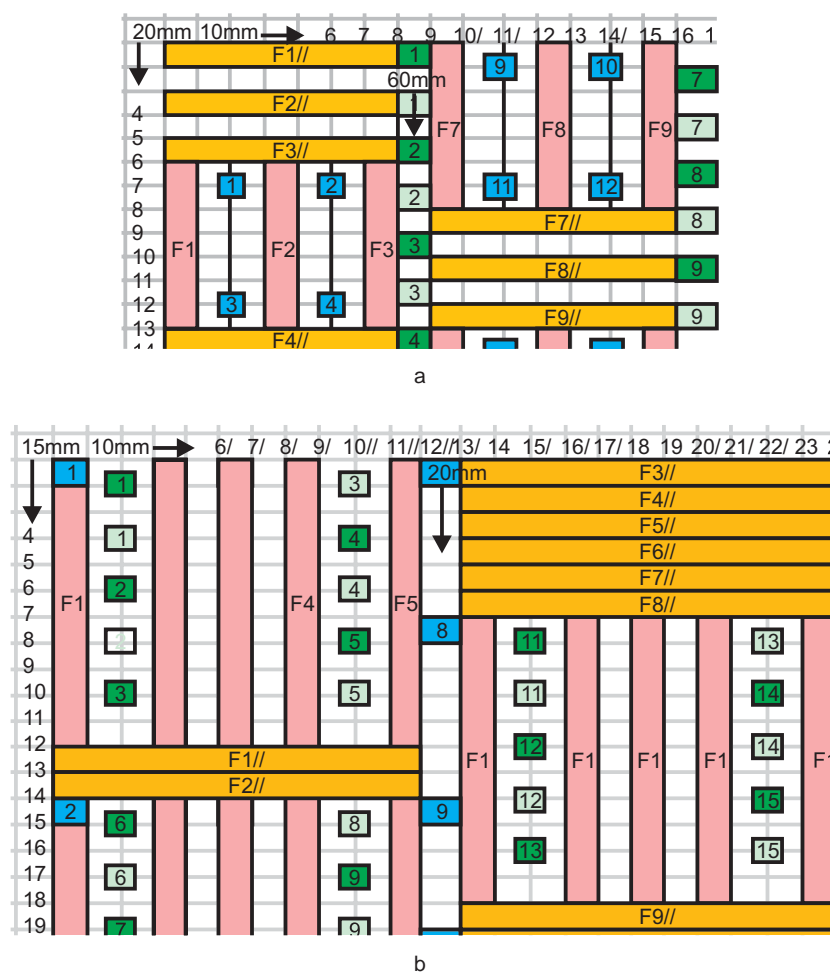


Figura 2 Esquema de plano de corte para os painéis OSB. (a) Espessura 15 mm e (b) espessura 25 mm.

Procedeu-se à medição do tempo de propagação da onda na espessura dos painéis (Figura 3), nos locais correspondentes aos corpos-de-prova de tração perpendicular às faces, densidade, inchamento e absorção de água, para posterior correlação com os valores obtidos nos ensaios destrutivos correspondentes.

Em seguida, em corpos-de-prova retirados dos mencionados painéis, foram realizados ensaios destrutivos para a determinação do inchamento (G_t), da absorção de água (A_m), do teor de umidade (H), da densidade (ρ) e da resistência à tração perpendicular às faces (AI), conduzidos de acordo com as recomendações das EN 317, 322, 323 e 319, respectivamente. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Carlos.

Resultados e Discussão

Os resultados médios das propriedades físico-mecânicas são apresentados na Tabela 1. Nesta, t representa a espessura do painel e $F_{\max AI}$, a força de ruptura na tração perpendicular às faces. O painel de 15 mm de espessura alcançou e até superou (no caso da resistência à tração perpendicular às faces) os valores estipulados pelo documento normativo EN 300/2002, para painéis OSB/3. Já o painel de espessura 25 mm não alcançou o valor mínimo de resistência à tração perpendicular às faces e superou o valor mínimo para inchamento em água (24 h).

Para estas duas propriedades, bem como para o inchamento em espessura, os painéis mostraram-se diferentes entre si e, por esta variabilidade, para o estudo de possíveis modelos de regressão e coeficientes de correlação entre valores de propriedades físico-mecânicas e ultra-sônicas, os valores dos dois painéis foram considerados em conjunto.

Tabela 1 Valores médios das propriedades físicas dos painéis OSB.

t (mm)		H (%)	ρ (kg/m ³)	G_t (%)	A_m (%)	AI (MPa)	$F_{\max AI}$ (N)
15	\bar{x}	9	595	15	71	0,44	1084
	S	0,1	44	3	9	0,1	324
	CV	1	7	21	13	30	30
EN 300/2002		–	–	15	–	0,32	–
25	\bar{x}	9	595	19	87	0,18	453
	s	0,2	21	1	6	0,1	207
	CV	2	4	7	7	46	46
EN 300/2002		–	–	15	–	0,30	–

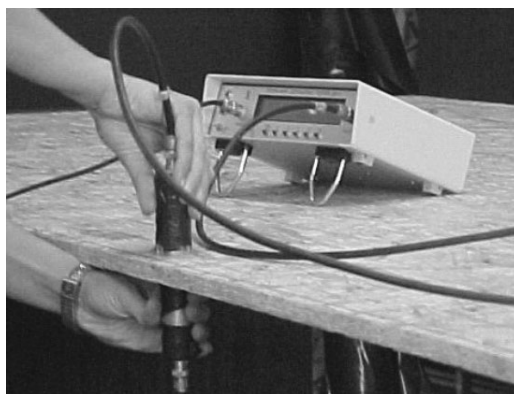


Figura 3 Medições de tempo na espessura do painel.

Os maiores coeficientes de variação (acima de 30%) foram obtidos para os valores de resistência à tração perpendicular às faces.

Os valores médios referentes às velocidades e constantes dinâmicas obtidas por medições do tempo de propagação, pelo aparelho de ultra-som, na espessura dos painéis, nos locais correspondentes aos corpos-de-prova de tração perpendicular às faces, densidade, inchamento em espessura e absorção de água, estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Os valores das velocidades medidas na espessura foram maiores para o painel de 15 mm de espessura do que no de 25 mm, para o qual a atenuação de ondas é mais significativa. O coeficiente de variação para esta propriedade foi de 6%, um valor muito baixo.

O valor da velocidade do painel de 15 mm de espessura (1093 m/s) foi em média 36% maior do que o obtido por Vun *et al.* (2002). Essa diferença pode estar associada à diferença metodológica e do material analisado, uma vez que os autores avaliaram para painéis de 12,7 mm de espessura, de uma camada, produzidos em laboratório e com medições realizadas através de transdutores sem contato direto.

Já em relação ao obtido por Morales *et al.* (2004) foi 2% menor. O valor da constante dinâmica média correspondente foi de 718 MPa. Para o painel de 25 mm de espessura os valores médios da velocidade e constante dinâmica foram, respectivamente, de 965 m/s e 555 MPa.

A Tabela 4 apresenta os modelos de regressão (equações) e coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2) encontrados entre os valores obtidos nos ensaios destrutivos e nos ensaios não-destrutivos, quando foram retirados alguns valores discrepantes obtidos.

Apesar de os ensaios terem sido realizados em caráter preliminar, em apenas um painel de cada espessura, para efeito de comparação, utilizou-se o documento normativo EN 326-2/2002. Assim, para os painéis estudados, nas propriedades resistência à tração perpendicular às faces, inchamento em espessura e absorção de água, que apresentaram diferenças de valores significativas entre os painéis, foram obtidos valores de R superiores a 0,70, estipulado pelo documento normativo supra citado. Para a densidade, que não apresentou diferença significativa de valor entre os painéis, o que é confirmado pelos coeficientes de variação, não se obteve um bom modelo de regressão e respectivo coeficiente de correlação (0,39).

Tabela 2 Velocidades de propagação das ondas: espessura dos painéis.

t (mm)		V_{AI} (m/s)	V_d (m/s)	$V_{Gt/Am}$ (m/s)
15	\bar{x}	1086	1091	1102
	S	80	108	76
	CV	7	10	7
25	\bar{x}	963	965	966
	s	71	50	55
	CV	7	5	6

Tabela 3 Constantes dinâmicas de propagação de ondas: espessura dos painéis.

t (mm)		C_{AI} (MPa)	C_d (MPa)	$C_{Gt/Am}$ (MPa)
15	\bar{x}	706	722	726
	S	104	174	99
	CV	15	24	14
25	\bar{x}	554	555	556
	s	81	66	62
	CV	15	12	11

Tabela 4 Equações, R e R² entre os valores dos ensaios físico-mecânicos e não-destrutivos pelo método de ultra-som (sem valores discrepantes).

R	R ²	Equação	R	R ²	Equação
0,39	0,15	$d = 0,1286V_d + 460,93$	0,71	0,50	$G_t = -0,0213V_{G_t} + 39,169$
0,74	0,54	$AI = 0,0012V_{AI} - 0,9395$	0,72	0,52	$G_t = -0,0173C_{G_t} + 28,265$
0,74	0,55	$AI = 0,001C_{AI} - 0,328$	0,74	0,55	$A_m = -0,0856V_{A_m} + 168,01$
0,74	0,55	$F_{\max AI} = 3,0126V_{AI} - 2344,4$	0,74	0,55	$A_m = -0,0686C_{A_m} + 123,53$

Quanto menores os valores para as propriedades físicas absorção de água e inchamento em espessura, melhores são os painéis. Para os dados considerados, quanto menor o valor de cada uma destas propriedades, maior o valor da velocidade, o que é comprovado pelos modelos de regressão que são de gráficos decrescentes. O inverso ocorre para a propriedade tração perpendicular às faces.

A Figura 4 mostra um exemplo gráfico de velocidade *versus* os valores correspondentes de inchamento em espessura para a determinação dos modelos de regressão e seus respectivos coeficientes de correlação.

Conclusões

A propagação das ondas de ultra-som na direção da espessura dos painéis se correlaciona com propriedades relativas à coesão das camadas, ou seja, densidade, absorção de água, inchamento em espessura e tração perpendicular.

Para avaliar propriedades relativas à resistência dos painéis a esforços que atuam na direção paralela às faces

(módulo de elasticidade e tração paralela) é necessário que a propagação das ondas se dê também nessa direção.

Quando se consideram propriedades relacionadas com a direção perpendicular às faces dos painéis OSB/3, tanto os ensaios físicos e mecânicos quanto os ensaios de propagação de ondas (velocidade e constantes dinâmicas) demonstraram haver diferenças entre os painéis de 15 e 25 mm de espessuras quanto às propriedades absorção de água, inchamento em espessura e tração perpendicular às faces, através dos coeficientes de correlação obtidos, acima de 0,70. Já para a propriedade densidade, tanto os ensaios destrutivos quanto os não-destrutivos evidenciaram a equivalência entre os painéis estudados.

Desta forma pode-se concluir que, para os painéis estudados, há correlação entre as propriedades físico-mecânicas e as do ensaio não destrutivo de ultra-som quando os painéis são estudados com a propagação das ondas através de suas espessuras. Assim, mostra-se a necessidade de estudo mais amplo em relação a esse tema.

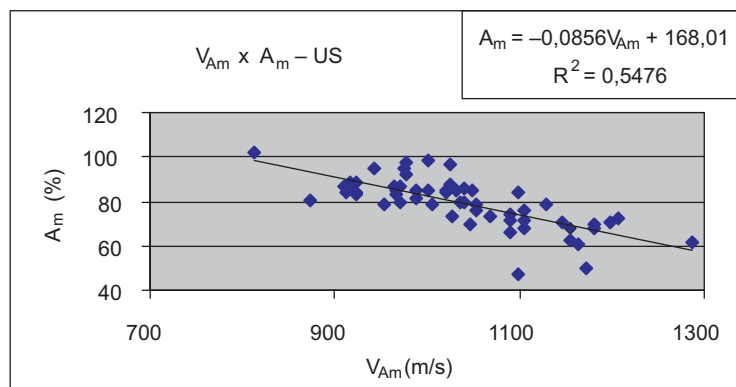


Figura 4 Velocidade × Valores de inchamento em espessura: modelo de regressão.

Referências Bibliográficas

- BALLARIN, A. W.; GONÇALVES, R. Ensaios não destrutivos aplicados aos produtos à base de madeira: a situação brasileira. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 5., 2001, São Paulo. *Anais...* São Paulo, SP, 2001. 11 p. CD ROM, arquivo digital.
- BARTHOLOMEU, A. *Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som*, 2001. 105 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- EINSFELD, R. A. *et al.* Manufatura e características das chapas OSB (ORIENTED STRAND BOARD). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, UFSC, 1998. v. 3, p. 387-93.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *European Standard – EN 300*. Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) – Definições, classificação e especificações. Portugal, 2002.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *European Standard – EN 319*. Particleboards and Fiberboards – Determination of internal adhesion. Bruxelas, 1993.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *European Standard – EN 317*. Particleboards and Fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *European Standard – EN 323*. Placas de derivados de madeira. Determinação da massa volúmica. Portugal, 2000.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *European Standard – EN 326-2*. Placas de derivados de madeira. Amostragem, corte e inspeção. Parte 2: Controle de qualidade em fábrica. Portugal, 2002.
- MASISA Brasil. Disponível em: <<http://www.masisa.com.br>>. Acesso em: 5/11/2002.
- MORALES, E. A. M.; ROCCOLAH, F. A.; NASCIMENTO M. F.; GONÇALVES R. Estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB (Oriented Strand Board) através de ultra-som. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 9., Cuiabá, 2004. *Anais...* Cuiabá, MT: UFMT, 2004. CD ROM.
- ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. *Forest Products Journal*, v. 48, n. 1, p. 14-19, 1998.
- VUN, R. Y.; WU, Q.; BHARDWAJ, M.; STEAD, G. Through-thickness ultrasonic transmission properties of oriented strand board. In: SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12., 2000, Sopron. *Anais...* Western Hungary, Sopron, 2000. p. 77-86.