

## Propagação de ondas ultrasônicas através da espessura de chapas OSB e correlação com suas propriedades físico-mecânicas

**Elen Aparecida Martines Morales**, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Experimental de Itapeva, Engenharia Industrial Madeireira, Itapeva/SP. E-mail: [elen@itapeva.unesp.br](mailto:elen@itapeva.unesp.br)

**Francisco Antonio Rocco Lahr e Maria Fátima do Nascimento**, Universidade de São Paulo (USP), EESC, Departamento de Estruturas, LaMEM, São Carlos/SP. E-mails: [frocco@sc.usp.br](mailto:frocco@sc.usp.br) e [fati@sc.usp.br](mailto:fati@sc.usp.br)

**Raquel Gonçalves**, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), FEAGRI, Campinas/SP.  
E-mail: [raquel@feagri.unicamp.br](mailto:raquel@feagri.unicamp.br)

**Resumo:** Dentre os painéis derivados de madeira, o que tem tido maior interesse para a construção civil e maior crescimento de aplicação em todo o mundo é o Oriented Strand Board (OSB). Foram avaliados dez painéis OSB tipo 3, com 15mm de espessura, pertencentes a duas diferentes categorias de propriedades físicas e mecânicas (grupos 1 e 2). O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade da técnica de ultra-som, em relação a espessura, na detecção de diferenças em chapas OSB do tipo 3, com espessura 15 mm, de duas diferentes categorias. 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, da atenuação e de constantes dinâmicas correspondentes com a variação da densidade, inchamento, absorção d'água e da tração perpendicular às faces. Embora os resultados de resistência e rigidez na direção paralela às fibras tenham apresentado grandes variações (chapa 1 maior que na chapa 2), os valores das propriedades físico-mecânicas considerados, tanto nos ensaios convencionais quanto nos de ultra-som, não apresentaram diferença estatística, demonstrando que essas propriedades não são diferentes nas chapas das duas categorias e que ambos métodos apresentaram o mesmo resultado.

**Palavras-chave:** oriented strand board, painéis derivados de madeira, ultra-som

**Abstract:** Among all wood-based panels, the one that has been most attractive for civil construction is Oriented Strand-Board (OSB). Ten type-3 OSB panels belonging to two different categories of physical and mechanical properties (groups 1 and 2) were evaluated. This research aims to analyze ultrasound sensitivity to detect differences in properties between those categories by propagating wave along thickness direction. Wave propagation velocity, attenuation and the corresponding dynamic constants variations were compared to specific gravity, swelling in thickness, water absorption and tension perpendicular to faces variations. Although strength and stiffness results in parallel to fibers direction showed large variations (larger for board 1 than for board 2), the physical-mechanical values herein considered did not show any statistical difference, which allows one to conclude that such properties are similar for both categories and that both ultrasound and conventional methods give the same results.

**Keywords:** oriented strand board, wood-based panels, ultrasound

## 1. Introdução

Uma das tendências mais evidentes na indústria madeireira é o crescimento da produção dos chamados painéis (ou chapas) à base de madeira. Estes têm se mostrado uma alternativa interessante em relação à madeira serrada pois, por exemplo, viabilizam a utilização de praticamente cem por cento de uma tora; não impõem restrições ao emprego de espécies de reflorestamento, de rápido crescimento e de densidade média; alguns deles podem ser fabricados com resíduos de madeireiras; propiciam diminuição da anisotropia e apresentam poucas limitações dimensionais.

Entre esses produtos, o que tem mostrado crescente aplicação mundialmente, em especial na construção civil, incluindo telhados, paredes, pisos, contrapisos e vigas de edificações com até três andares, é o OSB (Oriented Strand Board). No Brasil a sua utilização tem sido mais expressiva na área do design, móveis, decoração e embalagens.

Um cuidado especial, que necessita urgentes investimentos de pesquisa, se refere ao desenvolvimento de tecnologia para permitir a avaliação mais expedita das propriedades mecânicas dos derivados de madeira.

Em indústrias nacionais de produtos derivados de madeira, até o presente momento, essa avaliação normalmente tem se baseado em procedimentos de amostragem estatística, nos quais partes desses produtos são testadas destrutivamente, em geral horas depois de sua produção.

Neste contexto fica plenamente evidenciada a importância de se investigar a adequação do uso de técnicas não-destrutivas de ensaio (NDT – Nondestructive Testing), a do ultra-som, para a adequada estimativa de propriedades de painéis derivados da madeira. Essas técnicas são de fácil e rápida implementação, bem como de custo competitivo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade do ultra-som na detecção de diferenças de propriedades, em relação a espessura, de chapas OSB do tipo 3, com 15 mm de espessura, de duas diferentes categorias em valores de propriedades-físico mecânicas.

As propriedades adotadas para tal avaliação foram a densidade, inchamento, absorção d'água e a tração perpendicular à face, uma vez que a propagação da onda se deu no sentido da espessura. Para avaliar as propriedades na direção paralela, a propagação da onda deve se dar no sentido do comprimento.

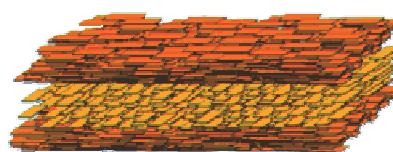
## 2. Revisão Bibliográfica

Segundo a EN 300/ 2002 (1), o OSB (aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas) é composto por várias camadas constituídas por partículas de madeira longas, de determinado formato e espessura, aglutinadas por uma resina colante (adesivo). A fig. 1(a) mostra exemplos deste tipo de painéis.

As partículas longas de madeira das camadas exteriores encontram-se alinhadas e dispostas preferencialmente na direção paralela ao comprimento ou a 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 fig. 1(b) mostra a orientação em camadas dos painéis OSB.



(a)



(b)

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>.

Segundo a EN 300/2002 (1) são especificados quatro tipos de painéis OSB:

- a) **OSB/1:** Painéis para usos gerais e painéis para componentes interiores (incluindo mobiliário) utilizados em ambiente seco.
- b) **OSB/2:** Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco.
- c) **OSB/3:** Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente úmido.
- d) **OSB/4:** Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambiente úmido.

Os requisitos em termos de valores limites para as propriedades mecânicas dos painéis OSB tipo 3 definidos neste documento normativo são apresentados na tab. 1 onde  $f_m$ ,  $E_m$ ,  $AI$  e  $G_t$  representam, respectivamente, os módulos de resistência e de elasticidade na flexão estática, resistência à tração perpendicular às faces e inchamento em espessura. Caracteriza-se por teor de umidade no material correspondente à umidade relativa de 65% e à temperatura de 20°C.

Segundo a EN 326-2/2002 (2) se o valor calculado de coeficiente de correlação entre os resultados obtidos com um procedimento alternativo e os obtidos com procedimento normalizado for superior a 0,70, que equivale a  $R^2$  igual a 0,49, a equação de regressão pode ser utilizada.

Tabela 1 – Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambiente úmido – Requisito para as propriedades mecânicas e de inchamento

Painel tipo OSB / 03  Propriedade	Método de Ensaio  Unidade	Requisitos			
		Espessura do Painel (nominal, mm)			
		6 a 10	10 a 18	18 a 25	
$f_m$ – Direção longitudinal	EN 310	N/mm <sup>2</sup>	22	20	18
$f_m$ – Direção transversal	EN 310	N/mm <sup>2</sup>	11	10	9
$E_m$ – Direção longitudinal	EN 310	N/mm <sup>2</sup>	3500	3500	3500
$E_m$ – Direção transversal	EN 310	N/mm <sup>2</sup>	1400	1400	1400
AI	EN 319	N/mm <sup>2</sup>	0,34	0,32	0,30
$G_t$ (24h)	EN 317	%	15	15	15

Fonte: EN 300, 2002.

Vun *et al* (2000) (3) 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.

Morales (2005) (4) apresentou estudo da eficiência da utilização do método não-destrutivo de ultra-som para estimar propriedades físicas e mecânicas de dois painéis OSB comerciais na espessura 15mm e, posteriormente, nas espessuras 15mm e 25mm (3), obtendo valores médios de velocidade e coeficiente de variação, respectivamente iguais a 1116 m/s e 8% (primeiro estudo), 1096m/s e 8% (15mm) e 965 m/s e 6% (25mm). Verificaram que ao longo da espessura os painéis apresentaram menor homogeneidade do que ao longo das direções principais, os valores obtidos no ensaio de ultra-som não se correlacionam com os obtidos nos ensaios físicos e mecânicos e os valores das velocidades medidas na espessura foram maiores para o painel de menor espessura.

Bektha, Niemz e Kucera (2000) (5) utilizaram a freqüência de ressonância e velocidade da propagação de ondas, dois métodos de caracterização não-destrutiva, em chapas de partículas, MDF e OSB de produção industrial, de 16, 17 e 18 mm de espessura, respectivamente, nas direções paralela e perpendicular à direção da produção da chapa, sendo que a velocidade do som foi medida também através da espessura da chapa. Encontraram as seguintes faixas de velocidades em relação à direção de propagação das ondas: Direção paralela: 2271 a 3294 m/s e Direção perpendicular: 2118 a 2991 m/s. Os valores das velocidades de propagação das ondas foram menores ao longo da direção perpendicular do que os valores correspondentes na direção longitudinal para o MDF, OSB e chapas de partículas, indicando as propriedades anisotrópicas dos produtos. Para o MDF as diferenças foram menos significativas, indicando propriedades mais uniformes entre as duas direções principais.

Morales, Silva e Gonçalves (2008) (6) avaliaram a sensibilidade do ultra-som na detecção de diferenças de propriedades de chapas OSB/3 de espessura 15mm pertencentes a duas diferentes categorias. Concluíram que a técnica de ultra-som se mostrou sensível a detecção de chapas OSB pertencentes a lotes com valores de propriedades mecânicas distintas entre si, em relação à flexão estática. Na direção em que os valores dos módulos de resistência e de elasticidade foram menores, os valores de velocidades e constantes dinâmicas também o foram.

### 3. Material e Métodos

Foram adquiridos dois grupos de 11 painéis OSB/3, de procedência nacional, na espessura 15mm. Previamente foi ensaiado um painel de cada grupo com a finalidade de caracterizá-los em dois níveis de qualidade: 1, para o grupo em que os painéis apresentaram todos os valores de propriedades físico-mecânicas de acordo com os estipulados pela EN 300 (1) e 2, para o grupo em que os painéis apresentaram pelo menos um valor de propriedade físico-mecânica em desacordo aos normalizados.

Esses painéis eram constituídos de três camadas, sendo as externas com partículas orientadas paralelas entre si, na direção do comprimento da chapa, e a camada interior com os strands dispostos na direção perpendicular aos das camadas externas, com proporção face-miolo-face 1:2:1.

Inicialmente os painéis foram demarcados em suas larguras e comprimentos, de 50 em 50 mm e foi desenhado, por painel, o maior número possível de corpos-de-prova para os

ensaios físicos e mecânicos a serem realizados posteriormente. Adotou-se, ainda, o critério de ter, no mínimo, 30 corpos-de-prova em cada tipo de ensaio, para ser possível a caracterização de grande amostra, como mostra esquematicamente a fig. 2.

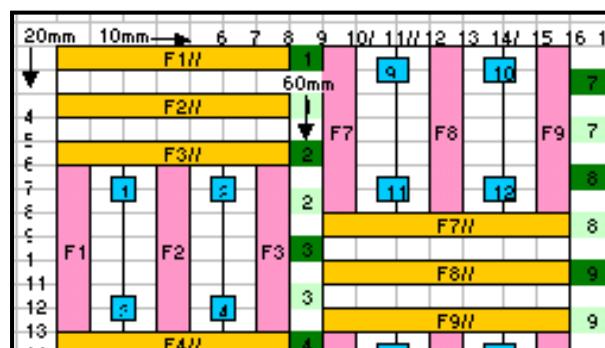


Figura 2: Esquema de plano de corte para os painéis OSB/3 de espessura 15mm.

Posteriormente foram conduzidos ensaios não-destrutivos com o equipamento de ultra-som (fig. 3), com os transdutores posicionados na direção da espessura de dez painéis de cada grupo, nos locais referentes aos corpos-de-prova de umidade ( $H$ ), densidade ( $\rho$ ), tração perpendicular às faces ( $AI$ ), inchamento ( $G_t$ ) e absorção d'água ( $A_m$ ). Esses resultados separados por localização foram utilizados para futuras comparações com os respectivos ensaios mecânicos destrutivos.



Figura 3 – Medições de tempo na espessura do painel.

Foi utilizado o equipamento de ultra-som da Panametrics, modelo EPOCH 4, do Laboratório de Acustoeleástica, da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Os transdutores utilizados foram planos, de freqüência 80 kHz, com gel medicinal como acoplante. Além do tempo da propagação da onda foram realizadas medições da amplitude do sinal, o que permitiu o cálculo das velocidades de propagação ( $V$ ), das constantes dinâmicas e das Atenuações ( $A_{tn}$ ), respectivamente, em cada ponto de medição.

Na continuação, foram realizados os ensaios para a obtenção dos valores da resistência à tração perpendicular às faces na Máquina Universal de Ensaios EMIC (30 toneladas), no Laboratório de Construção Civil, do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Bauru.

Os ensaios para a determinação dos valores da densidade, inchamento e absorção de água, bem como os ensaios não-destrutivos desta fase, foram conduzidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM), do SET-EESC-USP.

Os resultados obtidos nos ensaios físico-mecânicos foram utilizados para o estudo de possíveis correlações com os valores de velocidades, constantes dinâmicas e atenuações obtidos nos ensaio não-destrutivo de ultra-som.

#### 4. Resultados e Discussão

A tab. 2 apresenta os resultados médios obtidos nos ensaios de propriedades físicas para os painéis amostrados dos grupos 1 e 2.

Tabela 2 - Propriedades físicas dos painéis OSB amostrados dos grupos 1 e 2

<b>Grupo Amostrado</b>		H (%)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	G <sub>t</sub> (%)	A <sub>m</sub> (%)
<b>Média</b>		7,6	601,3	12,5	45,8
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1</b>	1,4	33,6	1,7	4,7
<b>CV</b>		0,18	0,06	0,13	0,10
<b>Média</b>		7,3	598,1	19,0	51,5
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2</b>	0,4	39,4	4,2	3,5
<b>CV</b>		0,06	0,07	0,22	0,07

\* Os valores de G<sub>t</sub> devem ser menores que 15% (EN 300, 2002).

Observa-se que, considerando os desvios-padrão de cada painel, todas as propriedades, exceto G<sub>t</sub>, não podem ser considerados diferentes nos painéis amostrados dos grupos 1 e 2. Os resultados obtidos nos ensaios de propriedades mecânicas para os painéis amostrados dos grupos 1 e 2 são apresentados na tab. 3.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas dos painéis OSB amostrados dos grupos 1 e 2

<b>Grupo Amostrado</b>		E <sub>m//</sub> (MPa)	E <sub>m⊥</sub> (MPa)	f <sub>m//</sub> (MPa)	f <sub>m⊥</sub> (MPa)	AI (MPa)
<b>Média</b>		5290,0	1601,1	30,5	11,4	0,33
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1</b>	783,4	272,9	6,8	2,8	0,2
<b>CV</b>		0,15	0,17	0,22	0,24	0,54
<b>Média</b>		<b>3400,5</b>	1793,9	<b>18,7</b>	12,9	<b>0,27</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2</b>	801,4	259,0	5,0	2,3	0,1
<b>CV</b>		0,24	0,14	0,27	0,18	0,32
<b>Valores segundo a EN</b>		3500	1400	20	10	0,32

\* E<sub>m//</sub>, f<sub>m//</sub>, E<sub>m⊥</sub> e f<sub>m⊥</sub> significam, respectivamente, módulos de elasticidade (E) e resistência (f) nas direções longitudinal e transversal das chapas.

Em relação às propriedades da tab. 3, considerando-se os desvios padrão obtidos, somente as propriedades da direção paralela (E<sub>m//</sub> e f<sub>m//</sub>) podem ser considerados diferentes, com maiores resistências no painel amostrado 1.

Os valores obtidos nos ensaios de caracterização físico-mecânica por amostragem dos painéis do grupo 1 atingiram, e até superaram, para o caso de algumas propriedades, os valores estipulados pelo documento normativo EN 300/ 2002 (4), para chapas OSB/3. Para os do grupo 2, isso não ocorreu para os valores referentes às propriedades inchamento, tração paralela às faces e módulos de resistência e elasticidade na direção longitudinal.

Os valores referentes aos ensaios de densidade, resistência à tração perpendicular às faces, inchamento e absorção d'água (24h), estão apresentados na tab. 4.

Tabela 4 – Valores de inchamento e absorção de água (24h), de força de ruptura e de resistência à tração perpendicular às faces, dos painéis OSB dos grupos 1 e 2

<b>Painéis</b> <b>Grupo 1</b>		<b>G<sub>t</sub></b> (%)	<b>A<sub>m</sub></b> (%)	<b>AI</b> (MPa)	<b>ρ</b> (kg/m <sup>3</sup> )	<b>Painéis</b> <b>Grupo 2</b>		<b>G<sub>t</sub></b> (%)	<b>A<sub>m</sub></b> (%)	<b>AI</b> (MPa)	<b>ρ</b> (kg/m <sup>3</sup> )
<b>11</b>	$\bar{x}$	10	41	0,46	574	<b>21</b>	$\bar{x}$	17	46	0,46	592
	s	2	4	0,1	39		s	4	6	0,1	22
	CV	19	10	17	7		CV	23	13	30	4
<b>12</b>	$\bar{x}$	10	39	0,40	573	<b>22</b>	$\bar{x}$	16	48	0,41	597
	s	6	5	0,2	52		s	4	7	0,1	18
	CV	1	10	44	9		CV	23	15	21	3
<b>13</b>	$\bar{x}$	13	39	0,49	583	<b>23</b>	$\bar{x}$	21	49	0,39	603
	s	5	4	0,1	21		s	5	5	0,1	56
	CV	41	11	23	4		CV	26	9	23	9
<b>14</b>	$\bar{x}$	12	42	0,52	565	<b>24</b>	$\bar{x}$	19	45	0,46	631
	s	2	4	0,2	26		s	4	5	0,1	22
	CV	18	9	28	5		CV	21	11	21	4
<b>15</b>	$\bar{x}$	16	39	0,55	594	<b>25</b>	$\bar{x}$	18	47	0,39	591
	s	5	7	0,2	32		s	2	9	0,1	35
	CV	31	17	28	5		CV	11	20	27	6
<b>16</b>	$\bar{x}$	14	43	0,58	559	<b>26</b>	$\bar{x}$	17	48	0,40	593
	s	3	7	0,2	34		s	4	6	0,1	21
	CV	22	16	37	6		CV	25	12	24	4
<b>17</b>	$\bar{x}$	12	44	0,55	582	<b>27</b>	$\bar{x}$	17	49	0,40	596
	s	2	4	0,1	35		s	4	6	0,2	32
	CV	16	9	16	6		CV	25	12	38	5
<b>18</b>	$\bar{x}$	13	42	0,43	570	<b>28</b>	$\bar{x}$	17	46	0,46	555
	s	2	6	0,1	30		s	4	6	0,1	30
	CV	19	14	24	5		CV	25	13	25	5
<b>19</b>	$\bar{x}$	13	48	0,53	563	<b>29</b>	$\bar{x}$	17	46	0,47	555
	s	5	7	0,2	32		s	2	7	0,1	36
	CV	36	15	27	6		CV	13	15	14	6
<b>110</b>	$\bar{x}$	15	42	0,51	594	<b>210</b>	$\bar{x}$	17	51	0,46	586
	s	3	3	0,1	55		s	4	9	0,1	22
	CV	22	7	24	9		CV	26	17	15	4

Os valores médios referentes às velocidades 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 e absorção de água estão apresentados na tab. 5.

Tabela 5 – Velocidades de propagação de ondas: espessuras dos painéis OSB dos grupos 1 e 2

Painéis Grupo 1			$V_d$ (m/s)	$V_{AI}$ (m/s)	$V_{Gt/Am}$ (m/s)	Painéis Grupo 2			$V_d$ (m/s)	$V_{AI}$ (m/s)	$V_{Gt/Am}$ (m/s)
11	$\bar{x}$	849	840	854		21	$\bar{x}$	843	862	856	
	s	90	75	67			s	80	97	106	
	CV	11	9	8			CV	9	11	12	
12	$\bar{x}$	927	855	841		22	$\bar{x}$	846	840	863	
	s	91	101	111			s	84	100	94	
	CV	10	12	25			CV	11	12	11	
13	$\bar{x}$	862	865	883		23	$\bar{x}$	904	896	895	
	s	76	90	82			s	95	97	73	
	CV	9	10	9			CV	10	11	8	
14	$\bar{x}$	880	904	911		24	$\bar{x}$	917	903	915	
	s	74	115	108			s	86	63	91	
	CV	8	13	12			CV	9	7	10	
15	$\bar{x}$	902	884	855		25	$\bar{x}$	874	860	829	
	s	96	85	71			s	104	57	75	
	CV	11	10	8			CV	12	7	9	
16	$\bar{x}$	874	881	873		26	$\bar{x}$	900	879	882	
	s	73	75	76			s	76	97	83	
	CV	8	9	9			CV	8	11	9	
17	$\bar{x}$	916	885	899		27	$\bar{x}$	881	855	896	
	s	56	94	105			s	66	76	58	
	CV	6	11	12			CV	7	9	6	
18	$\bar{x}$	836	842	851		28	$\bar{x}$	864	928	866	
	s	73	80	76			s	75	72	78	
	CV	9	9	9			CV	9	8	9	
19	$\bar{x}$	850	851	854		29	$\bar{x}$	851	860	873	
	s	73	71	95			s	96	59	70	
	CV	9	8	11			CV	11	7	8	
110	$\bar{x}$	921	872	892		210	$\bar{x}$	848	857	874	
	s	66	121	111			s	69	53	60	
	CV	7	14	12			CV	8	6	7	

Os valores de velocidades na espessura dos painéis, através do método de ultra-som, variaram de 836 a 928m/s.

Os valores médios referentes às atenuações 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 e absorção de água estão apresentados na tab. 6.

Tabela 6 – Atenuações de propagação de ondas: espessura dos painéis OSB dos grupos 1 e 2

Painéis	$Atn_d$	$Atn_{AI}$	$Atn_{Gt/Am}$	Painéis	$Atn_d$	$Atn_{AI}$	$Atn_{Gt/Am}$
---------	---------	------------	---------------	---------	---------	------------	---------------

Grupo 1		(dβ loss)	(dβ loss)	(dβ loss)	Grupo 2		(dβ loss)	(dβ loss)	(dβ loss)
<b>11</b>	$\bar{x}$	59	58	61	<b>21</b>	$\bar{x}$	59	58	60
	s	6	6	6		s	5	5	4
	CV	9	10	10		CV	9	9	7
<b>12</b>	$\bar{x}$	56	59	59	<b>22</b>	$\bar{x}$	58	59	58
	s	5	6	5		s	5	6	6
	CV	9	10	9		CV	9	10	10
<b>13</b>	$\bar{x}$	56	58	54	<b>23</b>	$\bar{x}$	57	59	56
	s	7	5	4		s	5	5	6
	CV	12	9	8		CV	9	8	10
<b>14</b>	$\bar{x}$	56	56	58	<b>24</b>	$\bar{x}$	57	57	56
	s	6	9	4		s	5	6	4
	CV	10	15	7		CV	9	10	8
<b>15</b>	$\bar{x}$	56	56	57	<b>25</b>	$\bar{x}$	58	59	59
	s	5	7	6		s	5	5	4
	CV	9	12	11		CV	8	8	6
<b>16</b>	$\bar{x}$	56	55	56	<b>26</b>	$\bar{x}$	56	58	56
	s	5	5	5		s	5	5	5
	CV	8	9	9		CV	8	9	8
<b>17</b>	$\bar{x}$	53	54	56	<b>27</b>	$\bar{x}$	58	57	58
	s	4	6	5		s	5	5	5
	CV	7	10	9		CV	9	8	8
<b>18</b>	$\bar{x}$	58	55	57	<b>28</b>	$\bar{x}$	58	56	59
	s	6	11	6		s	5	5	5
	CV	10	20	10		CV	9	10	8
<b>19</b>	$\bar{x}$	57	58	57	<b>29</b>	$\bar{x}$	58	59	58
	s	6	5	5		s	4	4	4
	CV	10	9	8		CV	6	7	6
<b>110</b>	$\bar{x}$	55	57	57	<b>210</b>	$\bar{x}$	59	58	58
	s	6	5	5		s	4	4	4
	CV	10	9	8		CV	7	6	7

Os valores de atenuação, referentes a medidas realizadas na espessura dos painéis estudados, variaram de 53 a 61 dβ loss.

Os valores médios referentes às 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 e absorção de água estão apresentados na tab. 7.

Tabela 7 – Constantes dinâmicas de propagação de ondas: espessura dos painéis OSB dos grupos 1 e 2

Painéis Grupo 1		C <sub>d</sub> (MPa)	C <sub>AI</sub> (MPa)	C <sub>Gt/Am</sub> (MPa)	Painéis Grupo 2		C <sub>d</sub> (MPa)	C <sub>AI</sub> (MPa)	C <sub>Gt/Am</sub> (MPa)
<b>11</b>	$\bar{x}$	418	408	421	<b>21</b>	$\bar{x}$	424	446	440
	s	85	71	63		s	81	98	99
	CV	20	17	15		CV	19	22	22

<b>12</b>	$\bar{x}$	497	424	441	<b>22</b>	$\bar{x}$	432	427	449
	$s$	98	96	111		$s$	94	99	97
	$CV$	20	23	25		$CV$	22	23	22
<b>13</b>	$\bar{x}$	437	441	458	<b>23</b>	$\bar{x}$	498	489	486
	$s$	77	91	84		$s$	103	102	77
	$CV$	18	21	18		$CV$	21	21	16
<b>14</b>	$\bar{x}$	440	465	475	<b>24</b>	$\bar{x}$	535	517	533
	$s$	75	76	104		$s$	97	72	102
	$CV$	17	16	22		$CV$	18	14	19
<b>15</b>	$\bar{x}$	489	469	437	<b>25</b>	$\bar{x}$	458	439	410
	$s$	104	88	74		$s$	108	57	74
	$CV$	21	19	17		$CV$	24	13	18
<b>16</b>	$\bar{x}$	430	437	429	<b>26</b>	$\bar{x}$	484	463	465
	$s$	72	71	77		$s$	81	102	88
	$CV$	17	16	18		$CV$	17	22	19
<b>17</b>	$\bar{x}$	491	461	477	<b>27</b>	$\bar{x}$	465	439	481
	$s$	62	98	105		$s$	69	78	64
	$CV$	13	21	22		$CV$	15	18	13
<b>18</b>	$\bar{x}$	401	407	416	<b>28</b>	$\bar{x}$	417	481	419
	$s$	71	77	75		$s$	71	76	72
	$CV$	18	19	18		$CV$	17	16	17
<b>19</b>	$\bar{x}$	410	410	415	<b>29</b>	$\bar{x}$	407	412	426
	$s$	78	65	94		$s$	85	56	70
	$CV$	19	16	23		$CV$	21	14	16
<b>110</b>	$\bar{x}$	506	459	480	<b>210</b>	$\bar{x}$	425	432	449
	$s$	72	125	108		$s$	69	53	62
	$CV$	14	27	22		$CV$	16	12	14

Os valores de constantes dinâmicas na espessura dos painéis, através do método de ultra-som, variaram de 407 a 535MPa.

A tab. 8 apresenta os modelos de regressão e coeficientes de correlação e de determinação encontrados entre os valores médios, obtidos nos ensaios destrutivos e nos não-destrutivos através do método de ultra-som, quando comparados os painéis dos grupos 1 e 2 em relação à espessura. O símbolo \* significa que as correlações, bem como os seus respectivos modelos de regressão, não foram significativos entre as propriedades estudadas.

Tabela 8 – Equações, R e  $R^2$  entre os valores obtidos nos ensaios físico-mecânicos e não-destrutivos pelo método de ultra-som – valores médios

R	$R^2$	Equação	R	$R^2$	Equação
0,43	0,18	$d = 0,2722V_d + 344^*$	0,42	0,18	$G_t = 0,0116V_{Gt} + 5,1193^*$
0,18	0,03	$d = 2,6555Atn_d + 486,54^*$	0,24	0,06	$G_t = 0,0211C_{Gt} + 5,4855^*$
0,26	0,07	$AI = 0,0006V_{AI} - 0,0896^*$	0,45	0,20	$G_t = 1,037Atn_{Gt} - 22,852^*$
0,26	0,07	$F_{maxAI} = 1,5895V_{AI} - 230,21^*$	0,35	0,13	$A_m = 0,0133V_{Am} + 33,434^*$
0,04	0,00	$AI = 9E-05C_{AI} + 0,4277^*$	0,06	0,00	$A_m = 0,0077C_{Am} + 41,324^*$
0,64	0,40	$AI = -0,0305Atn_{AI} + 1,5762$	0,57	0,32	$A_m = 1,7778Atn_{Am} - 20,089^*$

Os valores das velocidades e da atenuação da propagação das ondas de ultra-som na espessura não apresentaram diferença significativa entre os dois grupos. As velocidades foram cerca de 200m/s menores e o coeficiente de variação cerca de 5% maiores do que os encontrados por Morales (2005) (4) e Morales, Silva e Gonçalves (2008) (6), quando utilizou para a realização das medidas o aparelho de ultra-som Steinkamp BP-7 em painéis OSB/3 de espessura igual a 15mm.

Os valores das atenuações obtidos, em média 36 dβ, foram inferiores aos obtidos por Vun et al (2000) (3), em média iguais a 75 dβ. Essas diferenças podem estar associadas à diferença metodológica e do material analisado, uma vez que os autores avaliaram para painéis de espessura 15mm, de uma camada, produzidos em laboratório e com medições realizadas através de transdutores sem contato direto.

## 5. Conclusões

Os coeficientes de correlação obtidos entre os valores de velocidades, atenuações e constantes dinâmicas e os de propriedades físico-mecânicas, em corpos-de-prova correspondentes, nos dois grupos de painéis, em suas espessuras, não atingiram o valor 0,70, estipulado pela EN 326-2/ 2002 (2).

A propagação das ondas de ultra-som na direção da espessura das chapas se correlaciona com propriedades relativas à coesão das camadas, ou seja, densidade, inchamento, absorção d'água e tração perpendicular às faces. Para se avaliar propriedades relativas à resistência das chapas 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, como concluído por Morales, Silva e Gonçalves (2008) (6). Dessa forma pode-se concluir que, quando se consideram propriedades correlacionadas com a direção perpendicular às faces dos painéis OSB/3 (15 mm), tanto os ensaios físicos e mecânicos, quanto os ensaios de propagação de ondas (velocidade e atenuação), demonstraram não haver diferenças estatísticas entre as chapas dos grupos 1 e 2.

Os resultados obtidos mostram a necessidade de estudos entre painéis OSB de diferentes espessuras e de valores distintos de propriedades físico-mecânicas, como na flexão estática (direção transversal), na resistência à tração perpendicular às faces, densidade, inchamento em espessura e absorção de água – 24h, para subsequente determinação de modelos de regressão com o método não-destrutivo utilizado, de ultra-som ou de stress wave.

## 6. Agradecimentos

À CAPES pelo financiamento à pesquisa e ao Laboratório de Construção Civil, do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Bauru, pela utilização da Máquina Universal de Ensaios EMIC.

## 7. Referências Bibliográficas

1. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN 300.** Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) – Definições, classificação e especificações. Portugal, 2002.

2. 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.
3. 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, Sopron, 2000. In: **Anais**, Western Hungary, Sopron, p. 77 – 86.
4. MORALES, E. A. M. (2005). **Técnicas não destrutivas na estimativa de propriedades mecânicas de produtos derivados da madeira.** Exame de Qualificação, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
5. BEKHTA, P. A.; NIEMZ, P.; KUCERA, L. The study of sound propagation in the wood-based composite materials. In: Symposium on nondestructive testing of wood, 12, Sopron, 2000. **Anais**, Western Hungary, Sopron.
6. MORALES, E. A. M.; SILVA, S. A. M; GONÇALVES, R. Utilização da técnica de ondas ultrassônicas para estimativa de propriedades mecânicas de chapas MDF e OSB. In: LAHR, F. A. R. (Org.). **Produtos derivados da madeira.** São Carlos: EESC/USP, 2008. p. 137 – 158.