



Avaliação estatística da variação da velocidade de propagação de ondas de ultra-som na madeira em presença de defeitos



Carlos T. Puccini¹, Raquel Gonçalves² & Mariu E. A. Monteiro³

¹ FEAGRI/UNICAMP. C. P. 6011. Fone: (19) 3788-1050, Fax: (19) 3788-1010. E-mail: puccini@agr.unicamp.br (Foto)

² FEAGRI/UNICAMP. C. P. 6011. Fone: (19) 3788-1034, Fax: (19) 3788-1010. E-mail: raquel@agr.unicamp.br

³ IMECC/UNICAMP. E-mail: mariumonteiro@hotmail.com

Protocolo 173 - 5/12/2001

Resumo: Os métodos visuais para a detecção de defeitos na madeira, ainda que de grande utilidade, podem ser falhos e exigem a utilização de mão-de-obra relativamente bem treinada. Muitas vezes, a presença de nós, rachaduras ou, ainda, regiões com medula no interior de uma peça serrada, podem ser imperceptíveis na avaliação visual. Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto da qualidade, é a aplicação de técnicas que utilizam a propagação de ondas, destacando-se, dentre elas, o ultra-som. O objetivo deste trabalho é avaliar, estatisticamente, a possibilidade de se utilizar o método do ultra-som na detecção de defeitos em peças de madeira serrada. Para isto, foram utilizadas 180 peças de dimensões nominais: 0,027 m de espessura; 0,10 m de largura e 0,25 m de comprimento, retiradas de vigas de *Pinus sp* obtidas em serraria da cidade de Campinas. As peças foram ensaiadas na umidade de equilíbrio ao ar. Para a realização dos ensaios utilizou-se o equipamento de emissão de ondas de ultra-som marca Steinkamp BP-7 com transdutores de 45 kHz. Inicialmente foi realizada uma análise visual das peças e, posteriormente, a determinação da velocidade de propagação das ondas nas mesmas peças. Com os resultados, realizou-se uma análise exploratória das variáveis e obteve-se um modelo de regressão logística visando verificar a relação entre a presença ou não de defeitos e a velocidade de propagação da onda do ultra-som na madeira. Os resultados demonstram uma forte relação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-som e os defeitos detectados pela análise visual

Palavras-chave: análise visual, ultra-som, defeitos na madeira

Statistical evaluation of the ultrasonic wave velocity variation in defective wood

Abstract: Visual methods to detect wood defects, although of great utility, can lead to inaccurate results and demand a specialist to carry it out. The presence of knots, cracks or pith regions inside a sawed piece can be imperceptible in the visual evaluation. One of the greatest progress obtained in the last years in the characterization of materials - not only to determine its mechanical properties but also its quality - is the application of acoustic techniques like the ultrasound. The objective of this study is to evaluate, by statistical analysis, the sensibility of the ultrasonic method for detection of defects in pieces of sawed wood. For the trail, 180 pieces of *Pinus sp.* with 0.027 m of thickness, 0.10 m of width and 0.25 of length were used. These pieces tested under air dried condition (approximately 12% moisture content), were obtained at a saw mill in Campinas. The velocity of ultrasonic waves was measured by Steinkamp BP-7 ultrasound equipment with 45 kHz transducers. Initially the pieces were analyzed by visual method and later the velocity of ultrasonic waves through the wood pieces was measured. An exploratory analysis of the variables was done and a logistic regression model was obtained. The objective was to verify the relationship for the presence or absence of defects in the wood and the velocity of ultrasonic wave propagation. The results demonstrate a strong relationship between the ultrasonic wave propagation and the defects detected by the visual analysis

Key words: visual analysis, ultrasound, wood defects

INTRODUÇÃO

O uso da madeira para diversas finalidades construtivas é reconhecido e valorizado em diversas partes do mundo. Países como Canadá, França, Suíça, Japão e Estados Unidos, têm investido recursos financeiros e humanos na busca de conhecimento do material bem como de novas técnicas de aplicação.

Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas não destrutivas denominadas, internacionalmente, NDT (Non Destructive Testing) e NDE (Non Destructive Evaluation) destacando-se, dentre elas, o uso do ultra-som. Em relação à qualidade da madeira, sobretudo quanto a tipologia e frequência dos defeitos, no Brasil não existe uma norma de uso generalizado e, sim, normas visando aplicações específicas. Exemplo dessas normas são a NBR 9192/95 (ABNT, 1997) e a Norma para Classificação de madeira serrada de folhosas, do IBDF (IBDF, 1993). Estas normas não descrevem critérios de classificação, mas apenas especificações que definem a aceitação ou rejeição de determinado lote e se baseiam, tão somente, em métodos visuais.

Os métodos visuais, bastante utilizados no passado em normas de classificação, podem ser falhos e exigem a utilização de mão-de-obra relativamente bem treinada. Muitas vezes, a presença de nós, rachaduras ou, ainda, regiões com medula no interior de uma peça serrada, pode ser imperceptíveis na avaliação visual. No caso de peças com presença de madeira juvenil, o método visual é, também, pouco produtivo, pois exigiria grande experiência do avaliador para ser utilizado com sucesso.

A classificação visual é o mais tradicional método sendo bastante utilizada na Comunidade Européia e nos EUA. Este método consiste na análise de peças estruturais por um profissional de larga experiência, visando à detecção de nós, distorção das fibras, presença de fungos e insetos e demais defeitos nas mesmas. A classificação é feita com base no número de defeitos, sendo as classes determinadas pelo Eurocode-5.

A técnica utilizando o ultra-som, é mais recente e se trata de um fenômeno físico que auxilia na determinação da resistência e rigidez de peças de madeira bem como possibilita a detecção de aspectos de qualidade como, por exemplo, nós, medulas etc. Bucur (1995) determinou as equações fundamentais da propagação das ondas de ultra-som na madeira, o que significou um avanço importante nesse campo. O ensaio consiste na emissão de um sinal elétrico por um gerador, que é transformado em pulso de ultra-som por meio de um transdutor. Este pulso atravessa o corpo-de-prova e é recebido pelo transdutor receptor, onde é novamente transformado em sinal elétrico, o qual pode ser visualizado em um osciloscópio. Durante o ensaio é possível medir-se o tempo decorrido entre a saída e a chegada da onda, ou entre a emissão e a recepção. Trata-se de uma técnica muito simples e cuja precisão de leitura é realizada com menos de 1% de erro.

Objetivou-se com este trabalho, avaliar, estatisticamente, a sensibilidade do método do ultra-som na detecção de defeitos (presença de nós e desvio de fibras) e de características indesejáveis (presença de medula) em peças de madeira para

aplicação industrial, visando o estabelecimento de critérios que auxiliem na proposição de um método de classificação para a madeira, utilizando-se o ultra-som. No decorrer do trabalho, além de uma análise exploratória das variáveis utilizadas foi desenvolvido um modelo de regressão logística, visando comprovar a relação entre a presença ou não de defeitos na madeira e a velocidade de propagação da onda de ultra-som. Como análise secundária foram inferidos intervalos de velocidade de onda, nos quais os defeitos estão localizados, construindo-se intervalos de confiança. Os fundamentos utilizados para as avaliações estatísticas e para as interpretações dos resultados fornecidos pelos pacotes computacionais foram baseadas em publicações de Mood (1973), Conover (1980), Meyer (1983) e Agreste (1990).

MATERIAL E MÉTODOS

Material

A espécie de madeira adotada foi o *Pinus sp.* A adoção desta espécie se deu, principalmente, em função da grande quantidade de nós normalmente existente nas peças dessa espécie, o que facilitou o estudo. Além disso, em peças comerciais é comum a presença de medula e madeira juvenil, devido ao pequeno diâmetro das toras em função da idade de corte. Para os ensaios foram utilizadas 180 peças de 0,027 m de espessura, 0,10 m de largura e 0,25 m de comprimento. As peças foram retiradas de tábuas comerciais adquiridas em serraria e ensaiadas na umidade de equilíbrio ao ar (aproximadamente 12% na região de Campinas).

Para a realização dos ensaios utilizou-se o equipamento de emissão de ondas de ultra-som marca Steinkamp BP-7, com transdutores de 45 kHz e gel medicinal na interface transdutor-madeira.

Métodos

As 180 peças foram submetidas à análise visual, por meio de inspeção visual, a qual constou de detalhamento de cada peça, indicando-se por peça se aquela isenta de qualquer tipo de defeito; peças com desvio de grã aquelas que apresentavam inclinação grã superior a 6°; peças com nós e com presença de medula. Posteriormente, as mesmas peças foram submetidas ao ultra-som, no qual se mediu o tempo de propagação da onda para posterior cálculo da velocidade. Para a análise dos resultados, os dados obtidos da análise visual foram divididos em dois grupos: peças com defeito (D) e sem defeito (ND). Por não prejudicar significativamente a qualidade da madeira, as peças identificadas pela análise visual, apresentando somente pequenos desvios de fibra, foram consideradas não defeituosas (ND). Com esta caracterização, foram executados os Box-Plot, a análise do histograma e o teste de normalidade de Anderson Darling dos dois grupos, utilizando-se o MINITAB. Posteriormente, as médias de (D) e (ND) foram comparadas utilizando-se o teste não paramétrico, de Mann-Whitney. Visando-se a obtenção de intervalos de velocidade que caracterizassem a presença de defeitos, aplicaram-se modelos utilizando-se o programa SPSS. Finalmente, foram calculados os intervalos de confiança da velocidade para a média das peças com defeito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela análise visual e ensaio com ultra-som estão apresentados na Tabela 1.

O 'Box-Plot' indicou diferença significativa entre as duas medianas (5276 para D e 6510 para ND). O valor do terceiro quartil de D é menor que o do primeiro quartil do ND, evidenciando a grande diferença entre os dois grupos. A amplitude entre os quartis é maior para o D (1185 contra 726.5 do ND). Observa-se, para os ND, quatro possíveis outliers, enquanto para os D, apenas um.

Os histogramas para D e ND demonstraram que os valores do grupo D estão mais concentrados que os do grupo ND. Construindo-se o gráfico de normalidade para os dois grupos e se aplicando o teste de normalidade de Anderson Darling,

demonstra-se que nas peças com defeito a hipótese de normalidade não foi rejeitada (valor $p = 0,161$). Nas peças sem defeito, com um valor $p < 0,0001$, rejeitou-se a hipótese de normalidade.

Aplicando-se o teste de Mann-Whitney para comparação dos dois grupos, obteve-se um valor para a estatística do teste $T = 3879,0$. A hipótese de igualdade de média para os dois grupos é rejeitada com um valor $p < 0,0001$. Com isto, tem-se mais um indicador forte de que existe diferença entre o grupo de peças com e sem defeito.

Para a aplicação do modelo logístico, foram consideradas duas variáveis - Dependente e Independente. Para a variável dependente (De) atribuiu-se valor 1 para peças com presença de defeito e valor 0 para peças sem defeito. A velocidade obtida por meio do ultra-som (v em $m s^{-1}$) foi considerada variável independente.

Tabela 1. Observações da análise visual e resultados das velocidades obtidas utilizando-se equipamento de ultra-som

Peça	Análise Visual	Ultra-som $m s^{-1}$	Peça	Análise Visual	Ultra-som $m s^{-1}$	Peça	Análise Visual	Ultra-som $m s^{-1}$	Peça	Análise Visual	Ultra-som $m s^{-1}$
1	Desvio + nó	5130	46	Sem defeito	8453	91	Nó	3149	136	Sem defeito	6043
2	Desvio + nó	5734	47	Sem defeito	6964	92	Sem defeito	5907	137	Nó	6010
3	Desvio	5906	48	Sem defeito	6668	93	Nó	5151	138	medula	5568
4	Sem defeito	6862	49	Sem defeito	6775	94	Nó	4721	139	Medula	4875
5	Desvio	6739	50	Sem defeito	7123	95	Nó	4368	140	Desvio	6521
6	Desvio + nó	5900	51	Desvio	7042	96	Sem defeito	5109	141	Desvio	6734
7	Desvio	6717	52	Sem defeito	7070	97	Sem defeito	6714	142	Sem defeito	7171
8	Desvio	7205	53	Sem defeito	7184	98	Sem defeito	6432	143	Sem defeito	6394
9	Sem defeito	7230	54	Desvio	6868	99	Sem defeito	6328	144	Desvio + nó	5950
10	Desvio + nó	6932	55	Desvio	7284	100	Desvio	6272	145	Sem defeito	6478
11	Nó	3261	56	Sem defeito	7222	101	Desvio	6334	146	Sem defeito	6427
12	Nó	2765	57	Sem defeito	6887	102	Sem defeito	5995	147	Desvio + nó	5900
13	Medula	5473	58	Sem defeito	6782	103	Desvio	5480	148	Sem defeito	5750
14	Sem defeito	3383	59	Nó	6024	104	Desvio	5796	149	Desvio	6726
15	Sem defeito	4498	60	Sem defeito	6749	105	Sem defeito	5788	150	Desvio	6974
16	Medula	6010	61	Nó	6460	106	Sem defeito	6339	151	Desvio	6891
17	Medula	6008	62	Sem defeito	6974	107	Medula	4767	152	Nó	4857
18	Medula	6964	63	Sem defeito	7068	108	Medula	5548	153	Sem defeito	5968
19	Medula	6870	64	Desvio	7032	109	Medula	5981	154	Sem defeito	6684
20	Nó	5970	65	Sem defeito	6932	110	Nó	6010	155	Sem defeito	6925
21	Sem defeito	6944	66	Sem defeito	7156	111	Nó	5511	156	Sem defeito	6775
22	Desvio	6165	67	Desvio	6555	112	Sem defeito	5955	157	Sem defeito	6263
23	Desvio	6609	68	Sem defeito	6266	113	Sem defeito	6203	158	Nó	5605
24	Sem defeito	6906	69	Sem defeito	6631	114	Nós	6039	159	Sem defeito	6378
25	Sem defeito	6915	70	Sem defeito	6637	115	Desvio	5610	160	Sem defeito	6143
26	Desvio + nó	6849	71	Nó	6281	116	Medula	6005	161	Sem defeito	6474
27	Sem defeito	7159	72	Sem defeito	6944	117	Medula	5317	162	Nó	4786
28	Desvio	7418	73	Desvio	6925	118	Medula	4823	163	Medula	4409
29	Desvio	7353	74	Nó	6487	119	Nó	4331	164	Medula	4983
30	Desvio + nó	6438	75	Sem defeito	6638	120	Medula	5095	165	Medula	5187
31	Sem defeito	6839	76	Desvio	7089	121	Nó	4790	166	Medula	5276
32	Sem defeito	6120	77	Desvio	6626	122	Medula	4627	167	Medula	4974
33	Sem defeito	5766	78	Nó	4230	123	Medula	4806	168	Nó	4335
34	Desvio	6203	79	Sem defeito	6193	124	Medula	4633	169	Medula	4674
35	Desvio	6494	80	Medula	6550	125	Nó	4433	170	Medula	5243
36	Sem defeito	6472	81	Sem defeito	6465	126	Medula	5032	171	Medula	6187
37	Desvio	6039	82	Sem defeito	6429	127	Sem defeito	6620	172	Nó	5469
38	Nó	6447	83	Nó	4867	128	Sem defeito	6219	173	Medula	5345
39	Sem defeito	6200	84	Sem defeito	6250	129	Nó	5271	174	Medula	5133
40	Sem defeito	6148	85	Sem defeito	6376	130	Medula	5716	175	Medula	5102
41	Sem defeito	6317	86	Sem defeito	6438	131	Nó	5059	176	Medula	5088
42	Sem defeito	5244	87	Sem defeito	5924	132	Desvio	5697	177	Medula	5222
43	Sem defeito	5207	88	Nó	5190	133	Sem defeito	6399	178	Nó	4189
44	Nó	5464	89	Sem defeito	5869	134	Sem defeito	6510	179	Medula	5993
45	Nó	6010	90	Medula	6094	135	desvio	6492	180	Desvio	6938

Aplicando-se o modelo às variáveis definidas foram obtidos os seguintes resultados:

Modelo estimado:

$$\logit[\pi(v)] = \log\left(\frac{\pi(v)}{1 - \pi(v)}\right) = 12,4197 - 0,0021v$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: 'Goodness of fit' = 344,034; 'Log Likelihood Ratio' = 163,502; $X^2 = 81,007$ (valor $p < 0,0001$) e Razão de acerto entre observados e preditos: 78,89%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 2.

Os valores obtidos nos testes de significância demonstram que o modelo é altamente significativo. Com 79,89% de acerto dos valores observados para os preditos, diz-se que o modelo tem poder de predição satisfatório.

Ambos os parâmetros α e β foram significativos para o modelo. Para o α , a estatística do teste de Wald foi igual a 41,4454, com valor $p < 0,0001$. Para o parâmetro β , a estatística do teste de Wald foi igual a 44,4983, com valor $p < 0,0001$. Pode-se concluir, portanto, que a variável v é altamente significativa para o modelo.

O valor da $\text{Exp}(\beta)$ é igual ao incremento no 'odds' de presença de defeito para cada unidade acrescentada à variável independente. No modelo, o odds estimado de presença de defeito decresce 0,21% para cada unidade acrescentada a v .

O intervalo de confiança ($\alpha = 0,10$) para o parâmetro $\beta = -0,0021$ é:

$$[-0,0021 - 1,64 \times 0,0003 ; -0,0021 + 1,64 \times 0,0003] \\ [-0,00259 ; -0,001608]$$

O intervalo de confiança ($\alpha = 0,10$) para o parâmetro $\alpha = 12,4197$ é:

$$[12,4197 - 1,64 \times 1,9292 ; 12,4197 + 1,64 \times 1,9292] \\ [9,255812 ; 15,583588]$$

A variável independente v apresenta uma grande dimensão, acarretando um número elevado de níveis, dificultando a interpretação da $\text{Exp}(\beta)$ pois o incremento no 'odds' de presença de defeito é muito pequeno (0,21%) para cada nível a mais de v , esse problema pode ser resolvido categorizando-se a variável v ; para isto, a variável v foi dividida em dois intervalos, ou seja:

$$Z = \begin{cases} 0 & \text{se } v \leq 6000 \text{ m s}^{-1} \\ 1 & \text{se } v > 6000 \text{ m s}^{-1} \end{cases}$$

Tabela 2. Testes de significância do modelo

Variáveis	β	Desvio	Wald	GL	Sig	$\text{Exp}(\beta)$
$v(\beta)$	-0,0021	0,0003	44,4983	1	0,0000	0,9979
Constante (α)	12,4197	1,9292	41,4454	1	0,0000	

Tabela 3. Testes de significância do modelo utilizando a variável v categorizada

Variáveis	β	Desvio	Wald	GL	Sig	$\text{Exp}(\beta)$
$v(\beta)$	-2,5415	0,3639	48,0050	1	0,0000	0,0803
Constante (α)	1,0629	0,2661	15,9538	1	0,0001	

O valor de corte foi adotado com base nas estatísticas descritivas, ou seja, foi calculada a média entre o limite superior da média do grupo D mais dois desvios padrão e o limite inferior da média do grupo ND menos dois desvios padrões.

Aplicando o modelo usando a variável dependente (De) e a nova variável independente Z (categorizada), foram obtidos os seguintes resultados:

Modelo estimado:

$$\logit[\pi(v)] = \log\left(\frac{\pi(v)}{1 - \pi(v)}\right) = 1,0629 - 2,5215v$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: 'Goodness of fit' = 179,978; 'Log Likelihood Ratio' = 186,978; $X^2 = 57,531$ (valor $p < 0,0001$) e Razão de acerto entre observados e preditos: 78,33%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 3.

Os valores obtidos nesse teste de significância indicam que o modelo é altamente significativo. Com 79,33% de acerto dos valores observados para os preditos, pode-se dizer que o modelo tem poder de predição satisfatório.

Ambos os parâmetros, α e β , foram significativos. Para o α , a estatística do teste de Wald foi igual a 15,9538, com valor $p < 0,0001$. Para o parâmetro β , a estatística do teste de Wald foi igual a 48,0050 (maior que no modelo anterior, cujo valor foi $W = 44,4983$) com valor $p < 0,0001$. Pode-se concluir, então, que a variável Z é altamente significativa para o modelo.

Levando-se em conta o valor da $E(\beta)$ pode-se concluir que, quando o valor da velocidade muda do intervalo $Z < 6000 \text{ m s}^{-1}$ para o intervalo $Z > 6000$, a propriedade de defeito decresce 91,97%.

O intervalo de confiança ($\alpha = 0,10$) para o parâmetro β é:

$$[-2,5215 - 1,64 \times 0,3639 ; -2,5215 + 1,64 \times 0,3639] \\ [-3,118296 ; -1,924704]$$

O intervalo de confiança para ($\alpha = 0,10$) para o parâmetro α é:

$$[1,0629 - 1,64 \times 0,2661 ; 1,0629 + 1,64 \times 0,2661] \\ [0,626496 ; 1,499304]$$

Sendo assim, a probabilidade estimada de se ter uma peça defeituosa se a velocidade do ultra-som medida estiver contida no intervalo $Z < 6000$, é:

$$\pi(Z = 0) = \frac{\exp(1,0629 - 2,5215 \times 0)}{1 + \exp(1,0629 - 2,5215 \times 0)} = 0,7432 = 74,32\%$$

Calculando-se a mesma probabilidade para os limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança para α e β , tem-se o intervalo de confiança para $\pi(Z=0)$:

Para o limite inferior:

$$\pi(Z=0) = \frac{\exp(0,626496 - 3,118296 \times 0)}{1 + \exp(0,626496 - 3,118296 \times 0)} = 0,6517 = 65,17\%$$

Para o limite superior:

$$\pi(Z=0) = \frac{\exp(1,499304 - 1,924704 \times 0)}{1 + \exp(1,499304 - 1,924704 \times 0)} = 0,8175 = 81,75\%$$

De forma análoga, é possível se calcular a probabilidade estimada de se ter uma peça não defeituosa, se a velocidade do ultra-som medida estiver contida no intervalo $Z < 6000$:

$$\pi(Z=1) = \frac{\exp(1,0629 - 2,5215 \times 1)}{1 + \exp(1,0629 - 2,5215 \times 1)} = 0,1887 = 18,87\%$$

Calculando-se os intervalos de confiança para $\pi(Z=1)$:

$$\pi(Z=1) = \frac{\exp(0,626496 - 3,118296 \times 1)}{1 + \exp(0,626496 - 3,118296 \times 1)} = 0,0764 = 7,64\%$$

$$\pi(Z=1) = \frac{\exp(1,499304 - 1,924704 \times 1)}{1 + \exp(1,499304 - 1,924704 \times 1)} = 0,3952 = 39,52\%$$

Como já foi demonstrado, os valores das velocidades para as peças defeituosas têm distribuição normal, sendo assim, é possível calcular o intervalo de confiança $(1-\alpha)$ para a média (variância desconhecida) da seguinte forma:

$$[\bar{X} - n^{-1/2} \hat{\sigma} \times t_{n-1, 1-\alpha/2} ; \bar{X} + n^{-1/2} \hat{\sigma} \times t_{n-1, 1-\alpha/2}]$$

Calculando-se o intervalo de confiança de $\alpha = 0,10$ para a média das peças com defeito, tem-se:

$$[5359,3 - \frac{1}{\sqrt{180}} \times 843,1 \times 1,64 ; 5359,3 + \frac{1}{\sqrt{180}} \times 843,1 \times 1,64]$$

$$[5259,3; 5462,36]$$

Os testes estatísticos realizados nessa primeira etapa do trabalho não contemplaram questões ligadas às diferenciações de defeitos (nós, presença medula etc.), nem o detalhamento desses defeitos, tais como tamanho e posição dos nós, uma vez que o objetivo era avaliar-se, inicialmente, a sensibilidade do equipamento na detecção de algum tipo de defeito nas peças. O aprofundamento do estudo, com a avaliação dos intervalos de velocidade representativos de cada tipo de defeito, bem como a quantificação de qual defeito tem maior influência na velocidade

de propagação das ondas é objetivo da próxima etapa, para a qual será necessária uma amostra maior do que a que foi utilizada nesse trabalho.

CONCLUSÕES

1. Comprovou-se estatisticamente que, em relação à velocidade de propagação da onda, o grupo de peças de madeira com defeitos foi significativamente diferente que o grupo de peças de madeira sem defeitos.

2. Foi possível estabelecer-se um intervalo de velocidade que, para as peças defeituosas, possibilita a chance de confirmação de defeito, de 74,32%. Para as peças sem defeito, a chance de o ultra-som indicar que a peça é defeituosa, é de 18,87%, ou seja, pode ser definido o seguinte critério:

$v < 6000 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow 74,32\%$ chance de presença de defeito IC (90%) = [65,17; 81,75]

$v > 6000 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow 18,87\%$ chance de presença de defeito IC (90%) = [7,64; 39,52]

LITERATURA CITADA

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9192/95 - Paletes de Madeira - Materiais. Rio de Janeiro, 1997. 6p.
- Agresti, A. Categorical data analysis. New York: John Wiley. 1990. 558p.
- Bucur, V. La vitesse des ultrasons et la qualité du bois. In: Actas du Colloque du Groupe Français de Rhéologie, Paris, v.19, 15p, 1984.
- Bucur, V. Acoustics of wood. New York: CRC Press, 1995. 284p.
- Chazelas, J.L.; Vergne, A.; Bucur, V. Analyse de la variation des propriétés physiques et mécaniques locales du bois autour des noeuds. In: Actes du Colloque Comportement Mécanique du Bois, Bordeaux, June, p.376-386, 1988.
- Conover, W.J. Practical nonparametric statistics. 2 ed. New York: John Wiley. 1980. 493p.
- IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Brasil. Norma para classificação de madeira serrada de folhosas. Ministério da Agricultura. 1983. 67p.
- Jayne, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. Forest Products Journal, Madison, v.9, n.11, p.413-416, 1959.
- McDonald, K.A. Lumber defect detection by ultrasonics. Forest Products Laboratory, Madison, Wis, 1978, 20p. Research paper FPL 311
- Meyer, P.L. Probabilidade aplicações à estatística. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2 ed., 1983. 426p.
- Mood, A.M. Introduction to the theory of statistics. New York: McGraw-Hill. 3 ed., 1974. 564p.
- Sandoz, J.L. Grading of construction timber by ultrasound. Wood Science and Technology, New York, v.23, n.2, p.95-108, 1989.
- Steiger, R. Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten-Bauholz bei Biege-Zug, Druck- und kombinierter M/N Beanspruchung. Zürich: Eidgenössischen Technischen Hochschule, 168p. Doktorarbeit in Technischen Wissenschaften