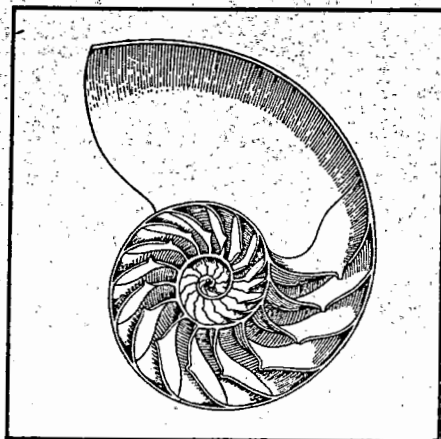


L.S. EV CO -26/3
TIT. MEMO
LOC. GEOG. ARG
2V. 1

COLLOQUIA 85

MEMORIAS "A" TECNOLOGIA DE MATERIALES



OCTUBRE 1985

TOMO III

SOCIEDAD ARGENTINA DE ENSAYO DE MATERIALES
ASOCIACION DE INGENIEROS ESTRUCTURALES
ASOCIACION ARGENTINA DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON
GRUPO LATINOAMERICANO DE LA RILEM

BUENOS AIRES
ARGENTINA

COLLOQUIA 85

-
- XXIII JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
-
- V JORNADAS ARGENTINAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
-
- 7a. REUNION TECNICA ARGENTINA DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON
-
- 1er. SIMPOSIO GLARILEM SOBRE TECNOLOGIA DE MATERIALES
-
- 1as. JORNADAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL DE LATINOAMERICA, ESPAÑA Y PORTUGAL - REUNION CONSTITUYENTE
-

OCTUBRE 1985

MEMORIAS "A"

TECNOLOGIA DE MATERIALES

TOMO III

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS

Sarmiento 1426 - 8º piso - tel. 46-3064
(1042) Buenos Aires

AMOSTRAGEM PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS
DE RESISTÊNCIA E DE ELASTICIDADE DA MADEIRA *

João Cesar Hellmeister **

RESUMO

No estudo experimental para a determinação dos parâmetros de resistência característica e de elasticidade característica das madeiras, a utilização de grande número de corpos de prova eleva o custo e a utilização de pequeno número de corpos de prova, reduz a validade e a confiabilidade dos resultados.

Neste trabalho é feita uma breve análise da validade da distribuição normal dos resultados de ensaios de corpos de prova de madeira.

Segue-se a análise de resultados obtidos em experimentos com grande número de corpos de prova, tendo em vista estimar um número mínimo de corpos de prova para obtenção de resultados estatisticamente equivalentes aos obtidos com grande número de ensaios.

A ampliação desta análise seria necessária, mas é dificultada pela impossibilidade prática da amostragem utilizando grande número de corpos de prova. No trabalho de doutoramento do autor foi feita a proposta de um modelo numérico para figurar a obtenção de um grande número de resultados em condições de representar os ensaios e de permitir sua análise como se estivessem disponíveis os resultados da experimentação.

A análise destes dados simbólicos facilita a compreensão do problema básico da amostragem: a possibilidade da redução do número de corpos de prova sob a condição imprescindível de aleatoriedade na amostragem e sem prejuízo da validade dos resultados.

* Este trabalho condensa resultados experimentais e de análise numérica apresentados em 1973, na Tese de Doutorado do autor e outros obtidos a seguir, atualizados para atender aos conceitos da determinação semi-probabilística da resistência e da elasticidade da madeira

** Professor Titular da EESC - USP

075 1042

SYSNO	0751042
PROD	603550
ACERVO EESC	

A natureza não se repete. Nunca um ser vivo é exatamente igual a outro. As semelhanças são muito frequentes, mas as medidas mostram sempre pequenas e até grandes diferenças entre indivíduos de uma mesma espécie, às vezes sem razões aparentes.

No estudo das características das madeiras, sabe-se da influência de muitos fatores capazes de promover variação nas suas propriedades e consequentemente, nos valores característicos de compressão, tração, flexão, cisalhamento, densidade, retratibilidade, módulo de elasticidade, etc. . .

Havendo dispersão natural de valores, é de grande importância saber quantas determinações devem ser feitas para o levantamento destas grandezas e da variabilidade dos resultados.

Até há relativamente pouco tempo atrás, os cálculos estruturais eram feitos com base em valores médios. Atualmente, considerações estatísticas mais aprimoradas e preocupação mais técnica com a segurança das estruturas, estão conduzindo a aplicação de conceitos probabilísticos, com a consideração da dispersão natural encontrada na repetição dos ensaios para a determinação de uma dada resistência característica e para a fixação da resistência a ser adotada no cálculo estrutural.

2. DISTRIBUIÇÃO NORMAL:

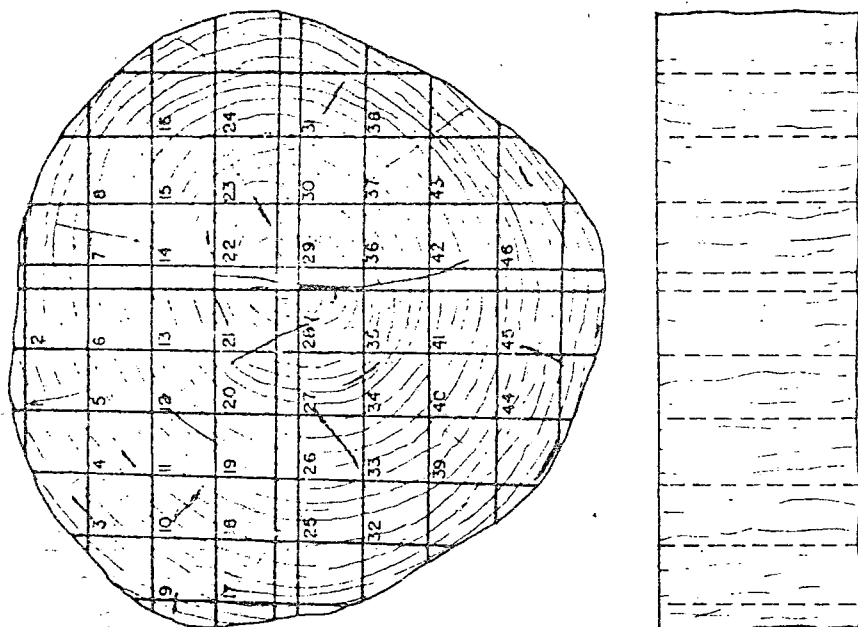
Nos ensaios para a caracterização das madeiras, vem sendo destacada e usualmente aceita a distribuição normal de resultados, pois a maior parte dos resultados experimentais se distribui em torno da média e ocorrem valores inferiores e superiores, configurando a distribuição estudada por Gauss (1), conhecida como normal.

Em 1935, Markwardt (2), publicou resultados obtidos no Forest Products Laboratory de Madison, Wisconsin, USA: centenas de valores obtidos na determinação da densidade básica (specific gravity) da madeira de Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco), conforme tabela apresentada a seguir e a sua configuração gráfica no histograma preparado a partir dos dados da tabela.

MÉDIA DO INTERVALO	N.º DE OBSERV.	CADA ASTERISCO CORRESPONDE A 2 OBSERVAÇÕES
0.305	2	*
0.315	7	***
0.325	6	**
0.335	15	*****
0.345	13	*****
0.355	23	*****
0.365	25	*****
0.375	38	*****
0.385	47	*****
0.395	64	*****
0.405	75	*****
0.415	85	*****
0.425	76	*****
0.435	99	*****
0.445	100	*****
0.455	90	*****
0.465	96	*****
0.475	74	*****
0.485	76	*****
0.495	56	*****
0.505	46	*****
0.515	41	*****
0.525	30	*****
0.535	23	*****
0.545	12	*****
0.555	9	*****
0.565	10	*****
0.575	4	**
0.585	1	*
0.595	3	*

3. EXPERIMENTAÇÃO NO BRASIL:

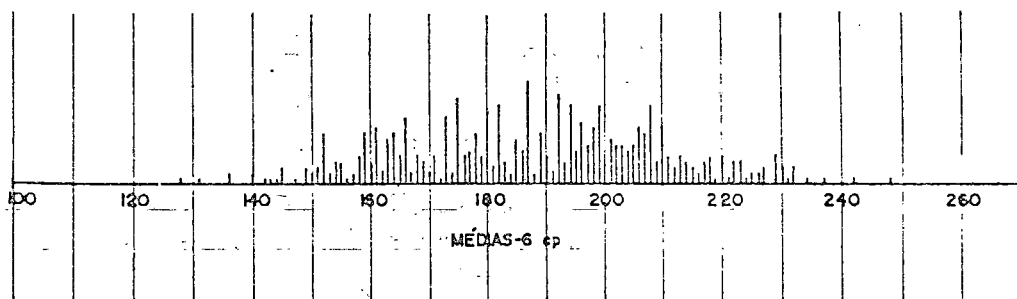
Resultados divulgados por Hellmeister (3) em 1973, no estudo de três discos da madeira de Eucalipto Citriodora [Eucalyptus citriodora - Hook] permitem concluir pela aceitação da distribuição normal. Os discos foram integralmente transformados em corpos de prova e todos foram ensaiados:



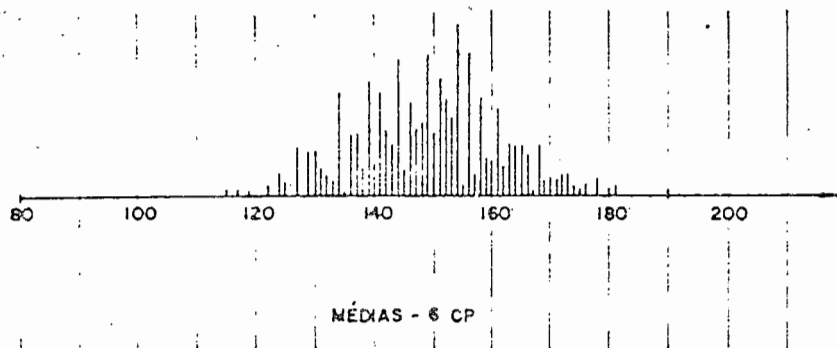
Seis resultados obtidos de cada disco, selecionados ao acaso, em 500 amostragens, apresentaram distribuição plenamente aceitável como normal para cada disco.

EUCALIPTO CITRIODORA
COMPRESSÃO PERPENDÍCULA
AMOSTRAGEM

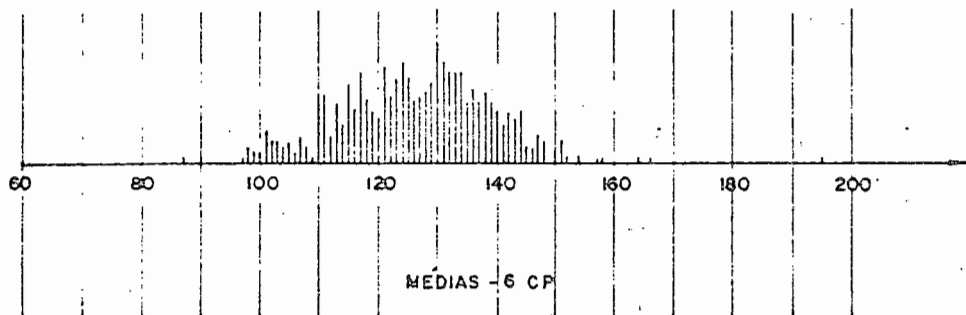
TORA-I
46 CP



EUCALIPTO CITRIODORA
 COMPRESSION PERPENDICULAR
 AMOSTRAGEM 56 CP

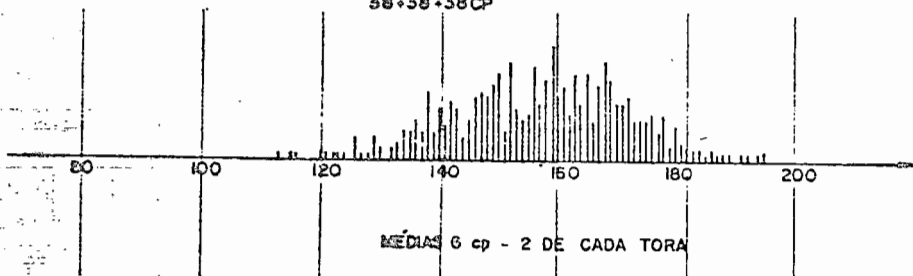


EUCALIPTO CITRIODORA
 COMPRESSION PERPENDICULAR
 AMOSTRAGEM
 TORA-III
 38 CP



Seis resultados, ao acaso, dois a dois de cada disco, e 500 amostras, apresentaram distribuição normal. Os resultados seriam ainda melhores para 3 ou 4 corpos de prova de cada disco.

TORA I+II+III
 38+38+38 CP



em análise recente, revelaram perfeita adequação da amostragem ocasional com a distribuição normal dos resultados obtidos ensaiando os corpos de prova, então propostos, para o estudo da resistência da madeira tracionada paralelamente às fibras (5).

Resultados mais recentes, em continuação ao estudo da tração paralela, obtidos por amostragem ocasional, com madeiras nacionais, continuaram a apresentar distribuição normal (5).

Estudo experimental de compressão paralela, flexão e cisalhamento, conduzido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), com a preocupação de amostragem ocasional, confirmam a ocorrência da distribuição normal (6), (7), (8).

4. MODELO NUMÉRICO:

Na impossibilidade de estender o estudo da amostragem ocasional a todos os tipos de ensaios, a todas as espécies de madeira e a grande número de corpos de prova, o autor apresentou, em 1973, um modelo numérico (3) no qual se condensou a vantagem da escolha ocasional dos corpos de prova, a possibilidade de reduzir o número de ensaios e simultaneamente, de aumentar a validade, a repetibilidade e a confiabilidade dos resultados.

Não tendo sido suficientemente divulgado até o presente momento, este modelo foi retomado e atualizado neste trabalho, com a utilização da calculadora Hewlett Packard, Modelo HP 9825T e impressora Modelo HP 9631G.

5. VALOR MÉDIO:

No cálculo do valor médio, utilizado na determinação das tensões admissíveis, um mínimo de 3 resultados, obtidos ao acaso, já permite a obtenção de valores estatisticamente válidos (3), (7). Este número geralmente tende a crescer por não se ter plena segurança na seleção ocasional dos corpos de prova e portanto, dos resultados correspondentes.

Mesmo com maior número de corpos de prova, está se tornando usual a análise de normalidade da distribuição dos resultados, através dos testes de precisão e de normalidade, destacando-se entre eles. Pearson, Nscore e Kolmogorov-Smirnov.

6. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA:

É tendência atual não se considerar mais as tensões admissíveis, determinadas como fração das tensões médias, através ensaios normalizados, como, por exemplo, $\sigma = 0,20 \sigma$ isto é, a tensão admissível para a compressão paralela, ser um quinto da tensão média de ruptura dos corpos de prova de ensaios convencionais (6).

A obtenção da tensão média continua válida, entretanto, há maior preocupação com a amostragem ocasional, determina-se o desvio padrão encontrado na experimentação e define-se a resistência característica em função destes dois parâmetros e da probabilidade correlacionada com os mesmos.

... para se obter uma de
 terminação suficientemente segura dos parâmetros indicados para esta
 belecer a resistência característica e a resistência de cálculo para
 o dimensionamento estrutural.

7. NÚMERO DE CORPOS DE PROVA:

O modelo numérico, o cálculo complexo, mais rápido e segu-
 ro, permitido pelas calculadoras mais recentes e amplamente difundi-
 das, pode ajudar a indicar o número de corpos de prova, com ampla
 possibilidade de análise pessoal para confrontar os resultados obti-
 dos.

8. ROTEIRO DE CÁLCULO:

Trata-se de utilizar uma rotina de geração de números ao a
 caso, estabelecer um intervalo adequado para contê-los: por exemplo,
 $300 \leq I \leq 700$, com 500 repetições.

Estes números deveriam apresentar distribuição uniforme por
 frequência. De fato, a geração de 500 a 1000 números $300 \leq I \leq 700$ a
 apresentou a distribuição por frequência configurada nos histogramas
 apresentados a seguir.

Os diagramas apresentados a seguir para 500 e para 1000 nú-
 ros I evidenciam a distribuição uniforme dos números gerados.

ANALISE DA AMOSTRA DE 500 RESULTADOS

VALOR DA MEDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS= 500.98200

VALOR DO DESVIO PADRAO DOS RESULTADOS OBTIDOS= 168.76309

HISTOGRAMA DA AMOSTRA OBTIDA

MEDIA DO INTERVALO	Nº DE OBSERV.	CADA ASTERISCO CORRESPONDE A 1.00 OBSERVAÇÃO(S)
217.	30	*****
252.	25	*****
280.	23	*****
323.	27	*****
358.	33	*****
394.	31	*****
429.	31	*****
464.	33	*****
500.	32	*****
535.	37	*****
570.	21	*****
605.	34	*****
641.	33	*****
676.	32	*****
711.	24	*****
747.	27	*****
782.	27	*****

TOTAL DE OBSERVAÇÕES 500

A distribuição uniforme dos números i corresponde a uma garantia da amostragem não ser tendenciosa.

A etapa seguinte corresponde à geração de números I , seis a seis, para obter os números N , sendo :

$$N = \frac{\sum I_i}{6} + 0,5 \text{ desprezando-se as frações da unidade.}$$

A distribuição destes números é apresentada a seguir.

ANALISE DOS RESULTADOS DA AMOSTRA DE COMBINAÇÃO = 6

VALOR DA MEDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS= 504.27133

VALOR DO DESVIO PADRAO DOS RESULTADOS OBTIDOS= 71.28937

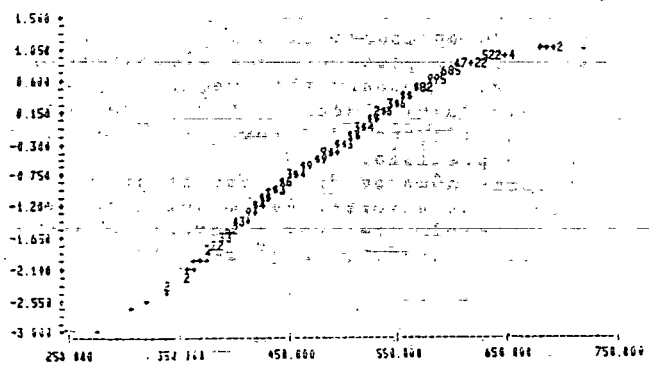
HISTOGRAMA DA AMOSTRA OBTIDA

MEDIA DO INTERVALO	Nº DE OBSERV	CADA ASTERISCO CORRESPONDE A 1.64 OBSERVAÇÃO(S)
264.	1	*
323.	3	**
352.	7	****
382.	23	*****
411.	43	*****
441.	56	*****
470.	65	*****
500.	74	*****
529.	82	*****
558.	61	*****
588.	45	*****
617.	26	*****
647.	9	*****
676.	2	*
705.	3	**

TOTAL DE OBSERVAÇÕES = 500

TESTE DE NORMALIDADE: $R^2 = 97.77 \%$
 $T = 147.6036$ COM 498 GRAUS DE LIBERDADE
 $-5.645 + 0.011 X$

DADOS PARA



O teste de normalidade confirma a normalidade da distribuição dos números N obtidos a partir da geração dos números ao acaso I_i , de distribuição uniforme.

Os números N assim obtidos podem ser gerados aos mínimos e estão em condições de representar simbolicamente valores de resistência da madeira.

É por outro lado bastante conhecida a ocorrência de maior variabilidade entre os resultados de ensaios de corpos de prova de uma única árvore, do que entre as médias dos resultados obtidos para diversas árvores.

Assim sendo no prosseguimento da montagem do modelo numérico adotou-se:

1- gerar um dado N.

2- fixar o intervalo e gerar seis números I_i , tais que:
 $0,7 N \leq I_i \leq 1,3 N$.

3- determinar $R = \frac{\sum I_i}{6}$ para representar a resistência de um corpo de prova tirado de uma árvore de resistência média N.

4- para dois corpos de prova por árvore são gerados valores I , necessários para se obter:

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

5- O mesmo raciocínio se repete para tres, quatro e cinco corpos de prova.

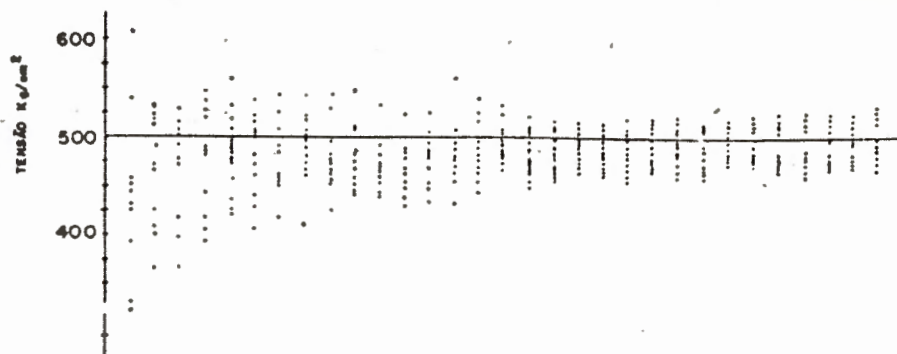
6- Para ter-se mais árvores, repete-se o processo com a obtenção de novos valores ocasionais de N.

Os gráficos apresentados a seguir para um, dois, tres, quatro e cinco corpos de prova tirados simbolicamente de uma até trinta e uma árvores, condensam informação de grande interesse: é possível por exemplo fazer a determinação de uma característica através de 30 (trinta) corpos de prova, tirados um de cada árvore, com uma determinada precisão.

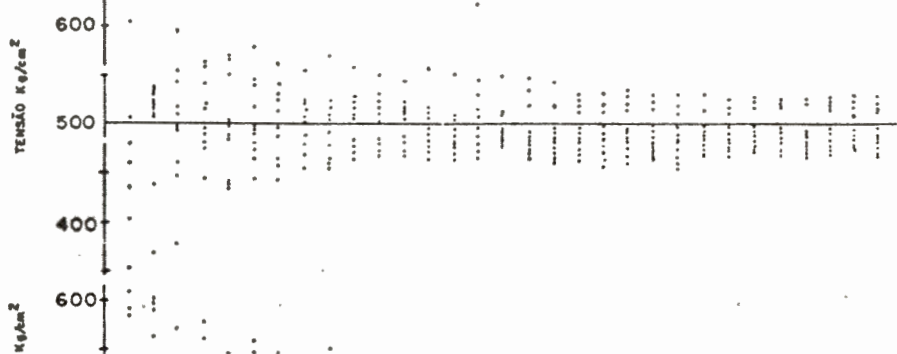
Com maiores números de corpos de prova por árvore, pode-se diminuir o número de árvores. Assim seria possível, de acordo com o modelo, por exemplo, retirar 5 corpos de prova de 10 árvores, alcançando-se precisão superior à já mencionada, com maior facilidade na amostragem.

HP DE CP

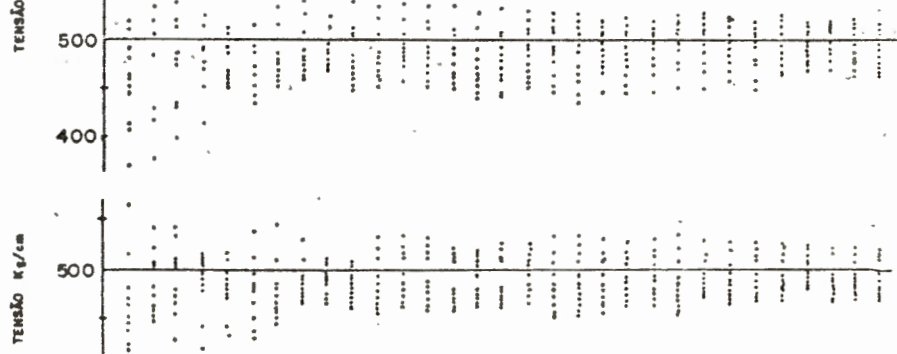
UM
POR
ÁRVORE



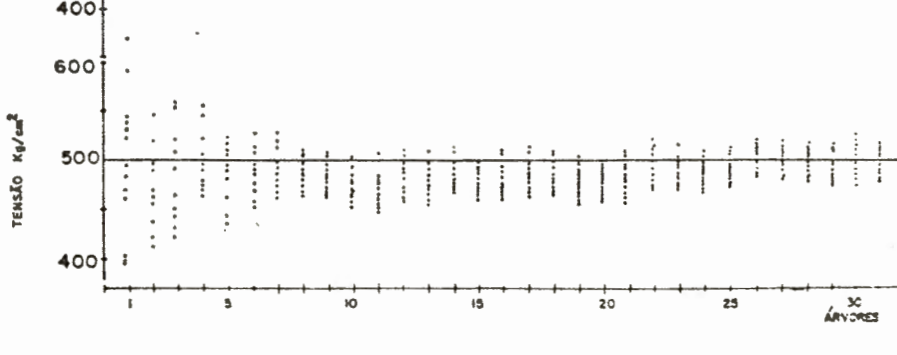
DOIS
POR
ÁRVORE



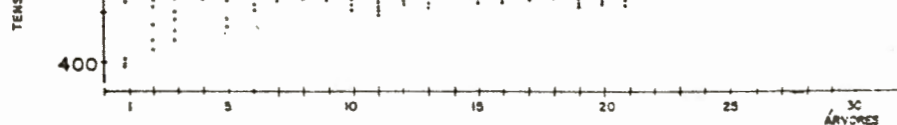
TRES
POR
ÁRVORE



QUATRO
POR
ÁRVORE



CINCO
POR
ÁRVORE



9. BIBLIOGRAFIA

- (1) SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. - Métodos estatísticos. México, Continental, 1977. 703p.
- (2) MARKWARDT, L.J. & WILSON, T.R.C. - Strength and related properties of woods grown in the United States. Washington, D.C., United States Department of Agriculture - Forest Products Laboratory, 1935. 99p. (Technical Bulletin, 479).
- (3) HELLMEISTER, João Cesar - Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1973. 161p. Tese (Doutor - Engenharia).
- (4) _____ - Tension and related properties of Douglas-fir. Syracuse, N.Y., New York State University College of Forestry, 1966. 94p. Thesis (Master of Science).
- (5) CHAHUD, Eduardo - Tração paralela em peças de madeira. Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1985. 132p. Dissertação (Mestre - Engenharia de Estruturas).
- (6) MASCIA, Nilson Tadeu - Contribuição no estudo da flexão estática em peças de madeira. Orientador: Prof. Dr. João Cesar Hellmeister. São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1985. 308p. Dissertação (Mestre - Engenharia de Estruturas).
- (7) ROCCO LAHR, Francisco Antonio - Sobre a determinação de propriedades de propriedades de elasticidade da madeira. São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1983. 221p. Tese (Doutor - Engenharia).
- (8) MENDES, Antonio Paulo - Resistência da madeira ao cisalhamento. Orientador: Prof. Dr. João Cesar Hellmeister. São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1984. Dissertação (Mestre - Engenharia de Estruturas).
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Cálculo e execução de estruturas de madeira - NBR 7190/82. Rio de Janeiro, ABNT, 1982. 23p.

