

**RESUMO**

Neste trabalho, verificou-se o nível de correlação entre o parâmetro destrutivo - módulo de ruptura (MOR) e os não destrutivos - módulo de elasticidade e massa específica aparente (MOE, ME) para três espécies de madeiras tropicais - *Parkia sp.* (Pinho Cuibano, Paricã), *Vochysia sp.* (Cambarã, Quaruba) e *Hymenaea sp.* (Jatobá), através da técnica de regressão linear. O objetivo principal deste trabalho foi a determinação de uma equação de prognose da resistência (MOR), com base nos parâmetros não destrutivos (MOE, ME), que possibilitasse a elaboração de classes de esforços para classificação de madeiras para fins estruturais. Entre as equações testadas, a que apresentou melhor correlação foi aquela combinando as variáveis independentes - MOE e ME. No entanto, face à sua praticidade, a equação escolhida como modelo estimador da resistência foi:  $MOR = 0,0061 Mb (P) - 11,43816$ , com o coeficiente de correlação de 0,79 sendo Mb (P), módulo de elasticidade a diferentes cargas por espécie, aplicadas no ponto central de uma das faces maiores da viga. Foram elaboradas para cada espécie, classes de esforços com base nos valores médios e desvio padrão dos módulos de elasticidade das amostras livres de defeitos. O resultado da distribuição das vigas com defeitos dentro das classes estabelecidas foi considerado satisfatório.

**INTRODUÇÃO**

A utilização de vigas de madeira para fins estruturais requer o conhecimento da sua resistência para facilitar o dimensionamento e assegurar a estabilidade das estruturas de madeira.

A classificação de vigas estruturais de madeira visa o controle de qualidade das peças individuais com relação ao seu grau de resistência aos esforços submetidos. Para isso, são elaboradas classes de esforços com o intuito de ordenar as peças segundo sua resistência, em vários intervalos que definem sua qualidade.

Existem vários métodos de classificação de vigas sendo que, todos eles avaliam o efeito redutor dos defeitos de várias naturezas sobre a resistência das vigas.

---

(\*) Centro de Pesquisa de Produtos Florestais - INPA/CNPq.

Na classificação visual, o procedimento adotado é a localização, quantificação e a identificação da natureza dos defeitos presentes nas vigas. Na classificação mecânica não destrutiva, a influência dos defeitos presentes numa viga, pode ser avaliada diretamente através da máquina de classificação que mede a deformação resultante da aplicação de uma carga de prova em teste de flexão estática.

A classificação mecânica não destrutiva de vigas para fins estruturais, baseia-se no princípio da correlação entre a resistência (módulo de ruptura) e a elasticidade (módulo de elasticidade) da madeira em teste de flexão estática (El-Osta et al., 1979; Walters et al., 1971; Hoyle, 1961).

Uma das vantagens da classificação mecânica não destrutiva com relação a classificação visual é a sua maior precisão em estimar a resistência das vigas aos esforços, além de conferir maior rapidez nas operações de classificação.

A classificação da madeira com relação à sua capacidade de carga pode ser definida como o ato de ordenar as peças de madeira dentro de grupos, onde cada grupo tem os limites máximo e mínimo de resistência aos esforços submetidos (Leicester, 1981).

O estabelecimento de classes de qualidade permite a procura de madeiras adequadas para os fins desejados. As classes de esforços são estabelecidas com relação às propriedades de resistência, considerando-se os efeitos de vários fatores tais como: massa específica, teor de umidade, defeitos de várias naturezas e variabilidade da madeira livre de defeitos (Bendsten & Yongs, 1981).

A classificação visual da madeira é o método mais antigo e mais amplamente utilizado, sendo realizada através das avaliações dos defeitos presentes nas peças. A localização, quantificação e a natureza dos defeitos são parâmetros que definem as classes de esforços (Gurfinkel, 1973; Leicester, 1981).

A classificação mecânica não destrutiva utiliza-se de um princípio mecânico, pelo qual, a viga é rapidamente flexionada, medindo-se o valor de sua rigidez. Com base neste valor, estima-se a sua resistência à flexão através da correlação entre os módulos de elasticidade e de ruptura (Senft & Della Luccia, 1979). Segundo (Sunley, 1974), a classificação da madeira pela sua resistência, depende da existência de uma relação entre a resistência máxima e o módulo de elasticidade. Esta relação confere maior eficiência na classificação por este método que pela inspeção visual.

De acordo com os procedimentos citados por Alexander & Anton (1977), o módulo de elasticidade é determinado através da aplicação de carga sobre uma das faces maiores da viga enquanto que o módulo de ruptura, determinado sobre uma das faces menores.

Vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar o nível de correlação entre os parâmetros destrutivos e não destrutivos em várias espécies de madeiras, tanto de coníferas como de folhosas. O parâmetro não destrutivo mais utilizado em classificação mecânica não destrutiva, tem sido, o módulo de elasticidade, embora alguns autores tenham estudado também a inclusão da massa específica aparente como outra variável independente na mesma equação.

O grau de correlação entre os parâmetros destrutivo e não destrutivos podem ser avaliados através do coeficiente de correlação da regressão linear. Nos estudos reali

zados por vários pesquisadores, os coeficientes de correlação entre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade estão na faixa de 0,68 a 0,87 (Alexander & Anton, 1977; Ather-ton, 1980; Hoyle, 1961; Kramer, 1964).

Os resultados obtidos por El-Osta *et al.* (1979), para seis espécies de madeiras de folhosas egípcias, mostraram boa correlação entre o MOR e o MOE para quatro espécies, no entanto, para duas outras espécies, foram obtidos coeficientes de correlação de 0,24 e 0,40, considerados baixo pelos autores.

Senft & Della Luccia (1979), obtiveram bons resultados nas correlações entre as variáveis através da inclusão da massa específica como outra variável independente, juntamente com o módulo de elasticidade. Testaram também a correlação para as três espécies agrupadas, tendo obtido resultados melhores que nas espécies testadas individualmente.

Na elaboração de classes de esforços para classificação mecânica não destrutiva de vigas de madeira para fins estruturais, o sistema de classificação Norte Americano adota o conceito básico de que a resistência da viga de uma determinada espécie é proporcional à resistência das amostras livres de defeitos (Madsen, 1978).

Os valores dos MOR e MOE obtidos para amostras livres de defeitos podem ser utilizados para a determinação dos valores correspondentes aos limites das classes de esforços (Curry & Covington, 1974).

Nos Estados Unidos e Canadá, as classes de esforços são ordenadas em vários intervalos pré-determinados de MOE. Com base nos valores mínimos de MOE de cada classe, são estimados os respectivos valores do MOR. O limite inferior de confiança ao nível de probabilidade de 95% é obtido a partir da linha de regressão da correlação MOR - MOE e é denominado de modelo estimador. O objetivo é assegurar que aproximadamente 97,5% das peças se encontrem acima deste limite. A seguir, este valor do MOR é dividido por um fator de segurança e ajuste de 2, 3, obtendo-se o valor da tensão admissível em flexão estática. Embora seja diferente em alguns detalhes, os princípios para determinação da tensão admissível em flexão estática, nos outros países, são basicamente similares ao descrito acima (Bendsten & Yongs, 1981).

Neste trabalho, propõe-se estudar a correlação entre os parâmetros destrutivo (módulo de ruptura) e não destrutivos (módulo de elasticidade e massa específica aparente) e, elaborar classes de esforços para três espécies de madeiras tropicais de baixa, média e alta massa específica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado no presente estudo foram três espécies de folhosas tropicais: *Hymenaea* sp. (Jatobá); *Vochysia* sp. (Cambará, Quaruba) e *Parkia* sp. (Pinho Cuiabano, Paricã), madeiras consideradas de alta, média e baixa massa específica, respectivamente.

As madeiras foram coletadas no Estado do Mato Grosso, Brasil, dentro de uma amostragem com mínimo de 5 árvores por espécie, em vigas com as dimensões nominais de 60 x

120 x 4000mm, sendo 46 de Jatobá, 45 de Cambará, Quaruba e 35 de Pinho Cuiabano, Paricã.

As vigas foram secas na estufa e acondicionadas ao ar livre até atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente. A seguir, foram aplainadas e seccionadas para as dimensões finais de testes de 60 x 120 x 3600mm.

De uma das extremidades seccionadas das vigas, foram preparadas para cada espécie 30 corpos de prova livres de defeitos, com as dimensões de 20 x 20 x 300mm para testes em flexão estática, de acordo com as especificações da norma COPANT 30:1/006. Antes dos testes, as amostras foram acondicionadas à temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 2\%$ , até atingir teor de umidade em torno de 12%.

Os testes com as vigas em dimensões estruturais (60 x 120 x 3600mm) foram realizados em dois estágios:

a) **Teste não destrutivo**

Inicialmente, determinou-se para cada espécie o valor aproximado da carga constante, abaixo do limite proporcional, a ser aplicada pela máquina de classificação, com base nos valores obtidos para amostras livres de defeitos, assegurando-se que essa carga não ultrapasse o limite proporcional das vigas com defeitos.

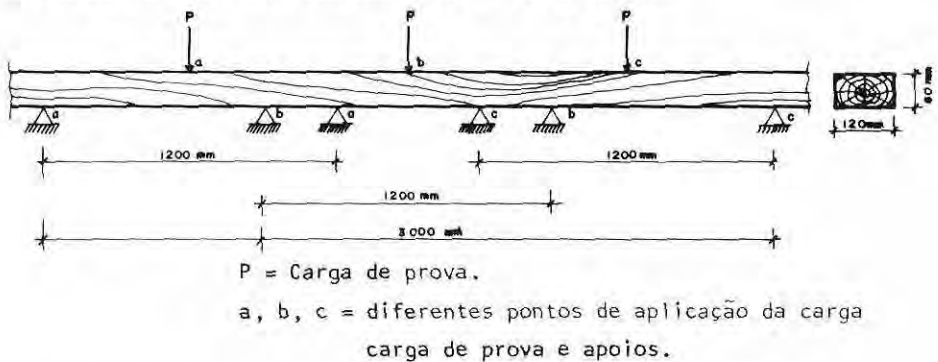
O esquema de carregamento adotado foi:

Para cada espécie foram aplicadas, sobre uma das duas faces maiores das vigas, duas cargas diferentes.

| ESPÉCIE                   | CARGA COMUM (I) | CARGA ESPECÍFICA (P) |
|---------------------------|-----------------|----------------------|
| Pinho Cuiabano,<br>Paricã | 1000 N          | 3000 N               |
| Cambará, Quaruba          | 1000 N          | 4000 N               |
| Jatobá                    | 1000 N          | 5000 N               |

A aplicação de diferentes cargas teve como objetivo a obtenção do MOE, pelo diferencial carga-deformação no sentido de verificar a possível influência do ajustamento inicial da viga.

As cargas foram aplicadas em três pontos diferentes, dentro do vão utilizado para obtenção do MOR (3000mm), conforme ilustração a seguir:

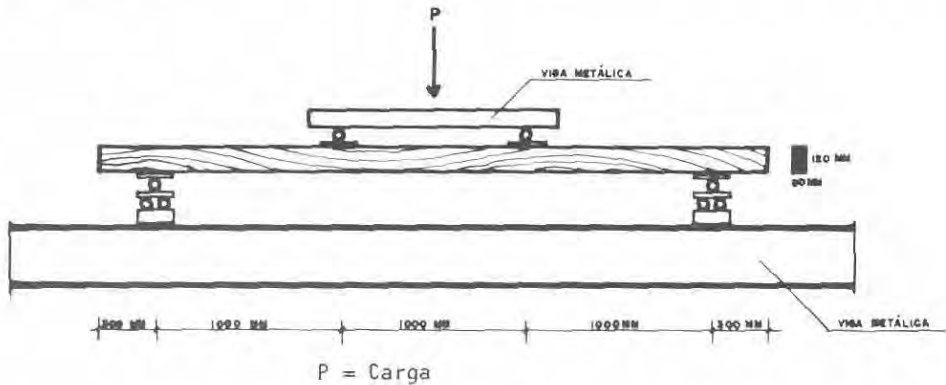


**FIG. 1.** Teste em flexão estática na máquina de classificação.

A distância entre os apoios para aplicação da carga de prova foi de 1200mm, conforme foi pré-estabelecido pelo fabricante do equipamento, para vigas com secção transversal de 60 x 120mm.

**b) Teste destrutivo**

No teste destrutivo, utilizou-se do sistema de carregamento em quatro pontos sobre uma das duas faces menores da viga, no terço médio do vão de 3000mm, usando uma relação vão-altura igual a 25 (Fig. 2). Com os valores obtidos nos testes, determinou-se o Módulo de Ruptura.



**Fig. 2.** Esquema de carregamento no teste destrutivo de vigas.

A massa específica aparente e o teor de umidade para cada viga foram obtidos a partir das amostras retiradas próximo ao ponto de ruptura, logo após os testes.

Com base nos valores de MOR e MOE obtidos através dos testes anteriores, foram testadas várias equações segundo os modelos propostos por vários pesquisadores (Alexander & Anton, 1977; Kramer, 1964; Senft & Della Luccia, 1979).

Os modelos utilizados foram:

$$Y = a + bx$$

$$Y = a + bx_0 + cx$$

onde:

$$Y = \text{Módulo de Ruptura (MOR)}$$

$$X = \text{Módulo de Elasticidade (MOE)}$$

$$X_0 = \text{Massa Específica aparente (ME)}$$

Os procedimentos acima foram aplicados para as espécies individuais e agrupadas.

Com base nos valores médios e desvio padrão dos resultados para as amostras livres de defeitos das espécies em estudo, as classes de esforços foram definidas da seguinte forma (Curry & Convington, 1974; Madsen, 1978):

Classe 01: Acima do  $\bar{M\ddot{O}E}$

Classe 02:  $\bar{M\ddot{O}E}$  a  $\bar{M\ddot{O}E} - 1s$

Classe 03:  $\bar{M\ddot{O}E} - 1s$  a  $\bar{M\ddot{O}E} - 2s$

Classe 04: Abaixo do  $\bar{M\ddot{O}E} - 2s$

Através da equação escolhida como modelo estimador da resistência, determinaram-se os valores do MOR para cada limite de classes de esforços e os valores correspondentes ao limite inferior de confiança ao nível de probabilidade de 95%.

Os valores acima foram divididos por um fator de ajuste de 2, 3, obtendo-se a tensão admissível para cada classe.

Com base nos valores do MOE correspondentes aos limites de classe, determinaram-se as deformações correspondentes com o objetivo de facilitar a prática de classificação, adaptando-se a tabela para o sistema funcional da máquina de classificação.

Posteriormente, as vigas foram classificadas individualmente de acordo com a tabela elaborada, verificando-se a distribuição das peças nas classes definidas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios realizados são apresentados a seguir em forma de quadros e gráfico, acompanhados de alguns comentários pertinentes.

### Amostras livres de defeitos

Os valores médios do MOE, MOR e ME das amostras livres de defeitos para as três espécies estudadas estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1  
RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS LIVRES DE DEFEITOS

| ESPÉCIE                                | MOE       |          | MOR       |       | ME        |       |
|--|-----------|----------|-----------|-------|-----------|-------|
|  | $\bar{X}$ | s        | $\bar{X}$ | s     | $\bar{X}$ | s     |
| Parkia sp.<br>(P. Cuiabano,<br>Paricã) | 9.156,37  | 1.488,66 | 61,76     | 10,16 | 0,39      | 0,052 |
| Vochysia sp.<br>(Cambarã,<br>Quaruba)  | 14.136,98 | 2.030,82 | 113,24    | 15,22 | 0,73      | 0,036 |
| Hymenaea sp.<br>(Jatobã)               | 18.002,07 | 2.356,57 | 156,26    | 26,57 | 0,95      | 0,038 |

$\bar{X}$  = média

s = desvio padrão

MOE = módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)

MOR = módulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>)

ME = massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Como pode ser observado, a massa específica aparente para Pinho Cuiabano, Cambarã

e Jatobá de 0,39, 0,73 e 0,95 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, estão dentro das faixas de baixa, média e alta massa específica, conforme foram pré-estabelecidas na escolha das espécies para o estudo.

Os valores médio e desvio padrão correspondentes aos módulos de elasticidade das três espécies foram determinados para seivirem como parâmetros para definição dos limites das classes de esforços.

#### Resultados obtidos em vigas estruturais

No quadro 2 são apresentados os valores correspondentes ao teor de umidade, massa específica aparente, módulo de ruptura e módulos de elasticidade segundo diferentes condições de obtenção, para as três espécies.

**Quadro 2**  
RESULTADOS OBTIDOS EM VIGAS COM DIMENSÕES ESTRUTURAIS

| ESPECIE      | PARKIA sp.<br>(P. Cuiabano,<br>Paricá) | VOCHYSIA sp.<br>(Cambará,<br>Quaruba) | HYMENAEA sp.<br>(Jatobá) |
|--------------|--|---------------------------------------|--------------------------|
| PROPRIEDADES |  |                                       |                          |
| u (%)        | 16,95                                  | 26,77                                 | 14,34                    |
| ME           | 0,40                                   | 0,79                                  | 0,98                     |
| MOR          | 37,29                                  | 47,87                                 | 88,69                    |
| Mb (P)       | 8.050,67                               | 11.193,69                             | 14.925,51                |
| Mb (I)       | 7.544,56                               | 10.304,43                             | 11.657,53                |
| M (D)        | 8.427,98                               | 11.617,56                             | 16.161,90                |
| Mm (P)       | 7.973,66                               | 11.174,03                             | 14.827,87                |
| Mm (I)       | 7.501,27                               | 10.193,84                             | 11.575,12                |
| Mm (D)       | 8.158,22                               | 11.614,16                             | 16.017,15                |

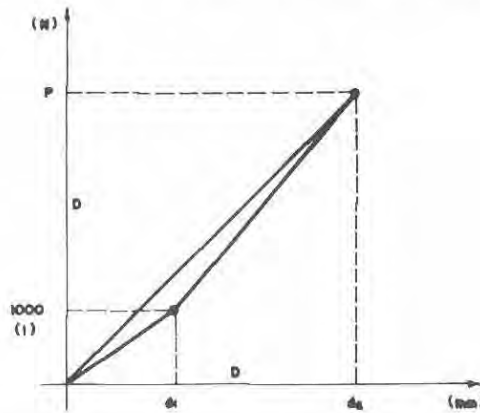
- u = Teor de Umidade
- ME = Massa Específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)
- MOR = Módulo de Ruptura (N/mm<sup>2</sup>)
- M = Módulo de Elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)
- b = Ponto b
- m = Média dos pontos a, b, c
- P = Carga específica para cada espécie (N)
- I = Carga comum às três espécies (1000 N)
- D = Diferencial carga - deformação  
(Carga específica - comum)

Os resultados obtidos para MOR foram 37,29, 47,87 e 88,69 N/mm<sup>2</sup> respectivamente para Pinho Cuiabano, Cambará e Jatobá. Esses valores são inferiores aqueles obtidos para amostras livres de defeitos, (61,76, 113,24 e 156,26 respectivamente) o que demonstra a influência dos defeitos presentes nas vigas e do maior teor de umidade das

mesmas.

Entre os valores dos módulos de elasticidade, verificaram-se diferenças entre os valores obtidos a partir de diferentes cargas aplicadas (carga comum "1", específica "P" e diferencial carga-deformação "D"). A diferença entre os valores obtidos no ponto "b" e pelas médias dos pontos a, b, c, foram insignificantes. Essa pequena diferença observada deve ser atribuída às diferentes localizações dos defeitos na peça.

O diagrama carga-deformação (Fig. 3) ilustra o comportamento da viga à aplicação de diferentes cargas pela máquina de classificação. Como pode-se constatar, a deformação resultante da aplicação de uma carga comum (1) de 1000 N foi proporcionalmente maior que a deformação resultante da aplicação da carga específica (P), em consequência, a deformação no intervalo das duas cargas aplicadas foi proporcionalmente menor, resultando em maior módulo de elasticidade obtido pelo diferencial carga-deformação (D).



P = Carga específica para cada espécie (N)

1 = Carga comum às três espécies (1000 N)

D = Diferencial carga-deformação (P-1)

$d_1$  = Deformação à carga (1)

$d_2$  = Deformação à carga (P)

Fig. 3. Diagrama Carga-deformação para vigas na máquina de classificação.

A explicação para esta ocorrência, pode estar relacionada ao fato de que a pré-carga aplicada pela máquina de classificação foi insuficiente para o perfeito ajustamento da viga antes da aplicação da carga de prova.

### Correlação entre as variáveis

No quadro 3 são apresentados os coeficientes de correlação entre as variáveis testadas para as três espécies individuais e agrupadas.



**Quadro 3**  
**EQUAÇÕES TESTADAS E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA ESPÉCIES**  
**INDIVIDUAIS E AGRUPADAS**

| EQUAÇÕES     | ESPÉCIE | Parkia sp.<br>(r) | Vochysia<br>sp. (r) | Hymenaea<br>sp. (r) | ESPÉCIES<br>AGRUPADAS |
|--------------|---------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| MOR = a + b. | ME      | 0,39              | 0,24                | 0,37                | 0,75                  |
| MOR = a + b. | Mb (P)  | 0,54              | -                   | 0,49                | 0,79                  |
| MOR = a + b. | Mb (l)  | 0,40              | 0,10                | 0,45                | 0,56                  |
| MOR = a + b. | Mb (D)  | 0,41              | 0,04                | 0,43                | 0,80                  |
| MOR = a + b. | Mm (P)  | 0,60              | 0,14                | 0,62                | 0,84                  |
| MOR = a + b. | Mm (l)  | 0,59              | 0,05                | 0,40                | 0,65                  |
| MOR = a + b. | Mm (D)  | 0,37              | 0,15                | 0,59                | 0,84                  |
| MOR = a + b. | ME + c. |                   |                     |                     |                       |
|              | Mb (P)  | 0,56              | 0,24                | 0,54                | 0,82                  |
|              | Mb (l)  | 0,51              | 0,25                | 0,51                | 0,76                  |
|              | Mb (D)  | 0,48              | 0,24                | 0,51                | 0,82                  |
|              | Mm (P)  | 0,62              | 0,28                | 0,62                | 0,84                  |
|              | Mm (l)  | 0,64              | 0,25                | 0,48                | 0,77                  |
|              | Mm (D)  | 0,46              | 0,28                | 0,60                | 0,85                  |

- r = Coeficiente de correlação
- ME = Massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)
- MOR = Módulo de Ruptura (N/mm<sup>2</sup>)
- M = Módulo de Elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)
- b = Ponto b
- m = Média dos pontos a, b, c
- P = Carga Específica para cada espécie (N)
- l = Carga comum para as três espécies (1000 N)
- D = Diferencial carga-deformação (carga específica-comum)

Como pode ser observado, as correlações entre as variáveis com as espécies agrupadas foram melhores que as correlações obtidas para espécies individualmente, comprovando os resultados obtidos por Senft & Della Luccia (1979).

Para espécies individuais, o grau de correlação para o módulo de elasticidade obtido através da carga específica foi melhor que os módulos de elasticidade obtidos através da carga comum e do diferencial carga-deformação. Para espécies agrupadas, essa diferença foi insignificante.

A correlação entre as variáveis para espécies agrupadas, com o módulo de elasticidade obtido através das deformações médias em três pontos (a, b, c) foi melhor que o módulo de elasticidade obtido no ponto central (b).

Em geral, a inclusão da massa específica em conjunto com o módulo de elasticidade numa mesma equação, resultaram em melhores correlações com módulo de ruptura.

Com base nas correlações obtidas para diversas variáveis testadas, procedeu-se a escolha da equação para prognose da resistência, levando-se em consideração os valores dos coeficientes de correlação das equações, bem como, a sua praticidade na determinação das variáveis independentes.

Em virtude dos melhores resultados obtidos para espécies agrupadas e de acordo com a sua validade confirmada por vários autores (Senft & Della Luccia, 1979; El-Osta et al., 1979) como modelo estimador da resistência, escolheu-se a equação MOR = a + b. Mb (P) a ser

utilizada para as três espécies estudadas. A escolha dessa equação com o módulo de elasticidade obtida à carga específica no ponto b (central), justifica-se pela maior praticidade na determinação deste parâmetro e em virtude da diferença entre as correlações com outros parâmetros não serem tão pronunciados.

#### Classes de esforços

De acordo com os procedimentos embasados em literatura (Bendsten & Youngs, 1981; Curry & Covington, 1974; Madsen, 1978) e adotados neste estudo, as classes de esforços para as três espécies foram definidas individualmente como mostra o quadro 4.

As classes de esforços definidas no quadro 4, são específicas para as três espécies estudadas, para as vigas com secção transversal de 60 x 120mm (dimensões mais comuns das vigas utilizadas nos grandes centros consumidores de madeira no Brasil), com o vão entre os apoios de 1200mm conforme as especificações do fabricante do equipamento.

Quadro 4

**CLASSES DE ESFORÇOS: Vigas de *Parkia* sp. (Pinho Cuiabano, Paricã), *Vochysia* sp. (Cambarã, Quaruba) e *Hymenaea* sp. (Jatobã), com dimensões nominais de 60 x 120mm de secção transversal**

| ESPÉCIE             | LIMITES DE CLASSE      |           |           |           |       |
|---------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|
|                     | 1-2                    | 2-3       | 3-4       |           |       |
| <i>Parkia</i> sp.   | MOE                    | 9.156,37  | 7.667,71  | 6.179,05  |       |
|                     | MOR                    | 44,41     | 35,33     | 26,25     |       |
|                     | Pinho Cuiabano, Paricã | LIC       | 40,93     | 30,98     | 20,88 |
|                     | Ta                     | 17,80     | 13,47     | 9,08      |       |
|                     | Y                      | 5,46      | 6,52      | 8,09      |       |
| <i>Vochysia</i> sp. | MOE                    | 14.136,98 | 12.106,16 | 10.075,34 |       |
|                     | MOR                    | 74,80     | 62,41     | 50,02     |       |
|                     | Cambarã, Quaruba       | LIC       | 71,35     | 59,60     | 46,94 |
|                     | Ta                     | 31,02     | 25,91     | 20,41     |       |
|                     | Y                      | 4,71      | 5,51      | 6,61      |       |
| <i>Hymenaea</i> sp. | MOE                    | 18.002,07 | 15.645,50 | 13.288,93 |       |
|                     | MOR                    | 98,38     | 84,01     | 69,63     |       |
|                     | Jatobã                 | LIC       | 92,43     | 81,23     | 65,55 |
|                     | Ta                     | 40,19     | 35,32     | 28,93     |       |
|                     | Y                      | 4,63      | 5,33      | 6,27      |       |

MOE = Módulo de Elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)

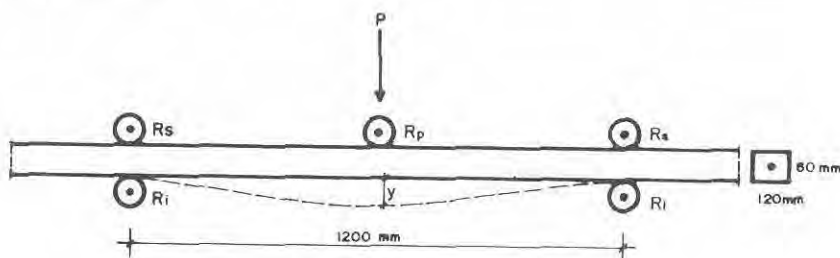
MOR = Módulo de Ruptura (N/mm<sup>2</sup>)

LIC = Limite Inferior de Confiança ao nível de 95% de probabilidade (N/mm<sup>2</sup>)

Ta = Tensão Admissível (N/mm<sup>2</sup>)

Y = Deformação correspondente aos limites de classes (mm)

A tensão admissível ( $T_a$ ) corresponde ao valor máximo de esforço admissível na fibra extrema, ao limite inferior de confiança de 95%, considerando-se os fatores de segurança e ajuste de 2,3, e a carga, aplicada no sentido do eixo de maior inércia da viga. Os valores referentes a cada limite de classe é de suma importância para o dimensionamento de estruturas de madeira.



- $R_s$  = Rolete de fixação superior (móvel)  
 $R_i$  = Rolete de fixação inferior (fixa)  
 $R_p$  = Rolete de aplicação da carga  
 $P$  = Carga de prova (N)  
 $Y$  = Deformação (mm)

Fig. 4. Esquema demonstrativo da prática de classificação mecânica não destrutiva.

A carga de prova foi pré-estabelecida para cada espécie, de acordo com os resultados em flexão estática para amostras livres de defeitos, com a finalidade de que essa carga fosse abaixo do limite proporcional, exercendo o mínimo possível de esforço sobre as vigas, e que as deformações obtidas tivessem níveis satisfatórios para leitura no deflectômetro acoplado no equipamento.

#### Quadro 5

TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO MECÂNICA NÃO DESTRUTIVA

| ESPÉCIE   | Parkia sp.<br>P. Cuiabano;<br>Paricã<br>P = 3000 N | Vochysia sp.<br>Cambarã;<br>Quaruba<br>P = 4000 N | Hymenaea sp.<br>Jatobá<br>P = 5000 N |
|-----------|--|---|--------------------------------------|
|           | Classe 01  | $y < 5,46$  | $y < 4,71$                           |
| Classe 02 | $5,46 < y < 6,52$                                  | $4,71 < y < 5,51$                                 | $4,63 < y < 5,33$                    |
| Classe 03 | $6,52 < y < 8,09$                                  | $5,51 < y < 6,61$                                 | $5,33 < y < 6,27$                    |
| Classe 04 | $8,09 < y$   | $6,61 < y$  | $6,27 < y$                           |

P = Carga de Prova (N)

y = Deformação (mm)

Como pode ser observado no quadro 5 e figura 4, para as três espécies estudadas, as deformações correspondentes às classes estabelecidas são referentes às vigas com seção

Classificação mecânica não ...

transversal de 60 x 120mm, com a aplicação da carga de prova de 3000, 4000 e 5000 N respectivamente para Pinho Cuiabano, Cambarã e Jatobã, sobre uma das faces maiores da viga, com a distância entre os apoios de 1200mm.

Quadro 6

DISTRIBUIÇÃO DAS VIGAS NAS CLASSES DE ESFORÇOS

| ESPÉCIE   | Parkia sp.                       | Vochysia sp.               | Hymenaea sp.  |
|-----------|----------------------------------|----------------------------|---------------|
|           | Pinho Cuiabano;<br>Paricã<br>(%) | Cambarã;<br>Quaruba<br>(%) | Jatobã<br>(%) |
| Classe 01 | 11,4                             | 11,1                       | 4,3           |
| Classe 02 | 54,3                             | 13,3                       | 32,6          |
| Classe 03 | 34,3                             | 46,7                       | 45,6          |
| Classe 04 | -                                | 28,9                       | 17,4          |
|           | 100                              | 100                        | 100           |

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseando-se nos resultados e discussões apresentados pode-se concluir que:

- Os resultados obtidos para os módulos de elasticidade indicam que existe, para cada espécie, uma carga mínima e ótima para ser utilizada na máquina de classificação, visando a aplicação de menor esforço possível sobre a viga, sem prejudicar a precisão.

- As diferenças observadas entre os módulos de elasticidade a cargas comuns e específica, indicam que a pré-carga aplicada pela máquina de classificação, utilizada neste estudo, foi insuficiente para as vigas de secção transversal de 60 x 120mm.

- A equação para prognose da resistência com as espécies agrupadas foi melhor que as equações com as espécies individuais.

- O módulo de elasticidade foi afetado pelos diferentes pontos de aplicação de carga e pelas diferentes cargas aplicadas. No entanto, suas correlações com o MOR, (espécies agrupadas) não foram afetadas significativamente, portanto, equação com a variável independente, mais fácil de ser obtida na prática (carga específica central), é a mais indicada para utilização no modelo estimador da resistência.

- O modelo estimador da resistência escolhido foi:

$$MOR = 0,0061 Mb (P) - 11,43816, \text{ para as três espécies estudadas}$$

- A distribuição das vigas nas classes definidas indicam que o critério adotado para determinação dos limites de classe foi satisfatório, embora tenha ocorrido alta frequência das vigas de *Vochysia sp.* e *Hymenaea sp.* nas classes inferiores.

A experiência acumulada na condução deste trabalho e na análise dos resultados

permite que sejam recomendados:

- Estudos para elaboração de tabela para determinação da carga específica constante por espécie, com base na relação massa específica - carga no limite proporcional, para vigas de diferentes secções transversais.

- Aprofundar pesquisas com relação à elaboração de tabelas de classificação com o agrupamento de espécies, de acordo com as diferentes faixas de massa específica.

- Verificar a possibilidade de uma padronização dos limites de classes de esforços com as respectivas tensões admissíveis, de acordo com as necessidades do mercado.

## SUMMARY

*The correlation coefficient between the destructive parameter-Modulus of Rupture (MOR) and the non-destructive parameters-Modulus of Elasticity (MOE) and Specific Gravity (SG) was verified for three tropical hardwood species - *Parkia sp.* (Pinho Cuiabano, Paricã), *Vochysia sp.* (Cambara, Quaruba), and *Hymenaea sp.* (Jatobã), using the linear regression technique. The primary objective of this study was the development of an equation of the strength (MOR) related to the non-destructive parameters (MOE, SG). Such an equation of stress grades for the classification of structural timbers. The mathematical equation with the best correlation coefficient was one which combined the independent variables - MOE and SG. Nevertheless, for a practical purpose, the chosen equation as an strength estimate model was  $MOR = 0,0061 Mb (P) - 11,43816$ , with a correlation coefficient of 0,79. Mb (P) is the Modulus of Elasticity for different loads per species applied on the central part of the widest face of the beam. For each species, stress grades were developed according to the average and standard deviation values of the Modulus of Elasticity of the defect-free samples.*

## Referências bibliográficas

- Alexander, J. A. & Anton, A. - 1977. Mechanical grading of South Eastern Australian hardwoods. (Topic 1/20). **In: Forest Products Research Conference, 18, Highett, Contributed Papers**. 8 p.
- Atherton, G. H. - 1980. Preliminary study of proportional limit as a predictor of ultimate strength in bending. **For. Prod. J.**, 30(11): 47-53.
- Bendsten, B. A. & Yongs, R. L. - 1981. Machine stress rating of wood: an overview. **In: Iufro World Congress, 17, Japan, 1981. Proceedings**. Japan, Japanese IUFRO Congress Committee, 1981. Division 5: Forest Products. p. 21-34.
- Curry, W. T. & Covington, S. A. - 1974. Grade stresses for European redwood and whitewood. **In: The Princes Risborough Laboratory of the Building Research Establishment. The strength properties of timber**. Lancaster, MTP Construction.
- El-Osta, M. L. M.; Badran, D. A.; El-Wakeel, A. O. - 1979. Prediction of modulus of rupture from modulus of elasticity for some egyptian hardwoods. **Wood and Fiber**, 11(3): 147-154.
- Gurfinkel, G. - 1973. **Wood engineering**. New Orleans, Southern Forest Products Association, 573 p.
- Hoyle, R. J. - 1961. A nondestructive test for stiffness. **For Prod. J.**, 11(6): 251-254.
- Kramer, P. R. - 1964. Correlation of bending strength and stiffness of southern pine. **For. Prod. J.**, 14(19): 495-496.
- Leicester, R. H. - 1981. The future of grading structural timber. **In: Iufro World Congress, 17., Japan 1981. Proceedings**. Japan, Japanese IUFRO Congress Committees. Division 5. Forest Products, p. 35-46.
- Madsen, B. 1978. In-grade testing - problem analysis. **For. Prod. J.**, 28(4): 42-50.
- Senft, J. F. & Della Luccia, R. M. - 1979. Increased utilization of tropical hardwood through species - independent structural grading. **For. Prod. J.**, 29(6): 22-28.
- Sunley, J. G. - 1974. Grade stresses for structural timber. **In: The Princes Risborough Laboratory of the Building Research Establishment. The strength properties of timber**. Lancaster, MTP Construction. p. 121-140.
- Walters, C. S.; Guiher, J. K.; Norton, H. W. - 1971. The statistical reliability of predicting bending strength from strength ratio tables. **For. Prod. J.**, 21(6): 47-57.

(Aceito para publicação em 07.03.1988)