

SET

09

09

04



IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA  
CUIABÁ – JULHO DE 2004

CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE  
PINUS SP

C 314c

Marcelo Rodrigo Carreira (marcelo.carreira@ig.com.br)  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – Unidade de Campo Mourão  
Antônio Alves Dias (dias@sc.usp.br), Carlito Calil Jr. (Calil@sc.usp.br)  
Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos

**RESUMO:** A crescente redução na disponibilidade de espécies de madeiras nativas e seu elevado preço de mercado associado a consciência de preservação ambiental têm motivado o homem a utilizar madeiras provenientes de florestas plantadas, como o *Pinus* e o *Eucalipto*. Entretanto, a madeira retirada destas espécies, em especial o *Pinus*, apresenta grande variabilidade em suas propriedades mecânicas. Esta variação ocorre devido à forte dependência entre as propriedades mecânicas e algumas características naturais de crescimento das árvores, como a presença de defeitos e a densidade. Desta maneira a utilização racional destas espécies só pode ser conseguida por meio da classificação das peças de madeira, ou seja, se as peças de madeira forem agrupadas em classes, limitando assim a variabilidade de suas propriedades mecânicas dentro de cada classe. Atualmente, não há, no Brasil, procedimentos normatizados para a classificação de peças estruturais de madeira. O objetivo deste trabalho foi verificar a adequabilidade das regras de classificação visual do *Southern Pine Inspection Bureau* (SPIB) aplicadas à madeira de *Pinus* provenientes de florestas plantadas na região de Lages, Santa Catarina. Foi realizada a classificação visual de 600 peças de *Pinus Sp*. Parte destas peças (96) distribuídas em igual número em quatro classes de resistência foi testada à flexão estática em relação ao eixo de maior inércia, com a finalidade de determinar a resistência e a rigidez à flexão de cada classe. O trabalho apresenta também correlações entre propriedades de resistência e rigidez. O método de classificação visual do SPIB mostrou-se adequado para ser aplicado na madeira proveniente de florestas de *Pinus Sp* plantadas no Brasil.

**Palavras-chave:** madeira, estruturas de madeira, propriedades da madeira, classificação visual.

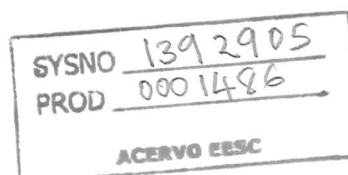
RULES FOR VISUAL GRADING OF LUMBER OF PINUS SP

**ABSTRACT:** To growing reduction in the readiness of species of native wood and its high price associated to the conscience of environmental preservation has been motivating the man to use wood fromf planted forests, as *Pinus* and the *Eucalyptus*. However, the removed wood of these species, especially *Pinus*, presents great variability in their mechanical properties. This variation happens due to strong dependence between the mechanical properties and some natural characteristics of growth of the trees, as the presence of defects and the density. Of this manner the rational use of these species can be gotten only through the grading of the lumber, in other words, if the lumber be clustered in grades, limiting the variability of their mechanical properties inside of each grade. Now, no there is in Brazil, established procedures for the grading of lumber. The objective of this work was to verify the adequacy of rules of visual grading of *Southern Pine Inspection Bureau* (SPIB) applied to lumber of *Pinus* from forests planted in the city of Lages, Santa Catarina. The visual grading of 600 pieces of lumber of *Pinus Sp* was accomplished. Part of these pieces (96) distributed in equal number in four grades was tested to the static edgewise bending, with the purpose of determining the bending strength and the stiffness of each grade. The work also presents correlations among strength properties and stiffness. The method of visual classification of SPIB was shown appropriate to be applied in lumber *Pinus SP* from forests planted in Brazil.

**Keywords:** lumber, timber structures, properties of the wood, visual grading.

1392905

230904



16 p.

## 1. INTRODUÇÃO

Até bem pouco tempo, a madeira era considerada como de disponibilidade abundante e de preço bastante competitivo quando comparado com outros materiais de construção.

Entretanto, a exploração das florestas nativas de forma simplesmente extrativista, acabou levando à escassez de determinadas espécies e à conseqüente elevação de seu valor comercial. Esta constatação, observada a nível mundial, despertou a possibilidade de produção de madeira em florestas plantadas que, por meio de um manejo adequado, possibilitam a produção de um material de características físicas e mecânicas adequadas para aplicações estruturais.

No Brasil, o setor de madeira serrada oriunda de florestas plantadas apresenta um considerável potencial para expansão, visto que as restrições sobre as florestas nativas são irreversíveis e o mercado se volta, em larga escala, para o uso das madeiras de espécies de reflorestamento, destacando-se o *Pinus* como um dos gêneros mais promissores.

Segundo a ABPM (1999), os solos e as condições climáticas no Brasil (luz e umidade) são altamente favoráveis para a formação de florestas de *Pinus*, as quais apresentam uma produtividade ( $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ ) da ordem de 5 a 6 vezes maior que aquela obtida na Escandinávia, Rússia, Canadá e outras regiões tradicionais na produção de madeiras de coníferas.

Por outro lado, devido a este crescimento acelerado a madeira de tais espécies apresenta muitos defeitos e madeira de baixa densidade.

De acordo com CURRY (1969) a variabilidade nas propriedades mecânicas da madeira se deve a dois fatores: O primeiro se deve a grande variação na densidade entre uma árvore e outra e a forte correlação existente entre a densidade e a resistência; O segundo é função do efeito adverso que os nós provocam na resistência.

Por outro lado, o máximo de economia é obtido quando o material é agrupado em classes e a variação das propriedades mecânicas dentro destas classes é limitada. Desta forma, pode-se utilizar todo a capacidade resistente do mesmo.

A classificação não tem por objetivo selecionar as peças de madeira melhor qualidade e descartar as de qualidade inferior, mas sim permitir a utilização de ambas, empregando as de melhor qualidade nos locais de maior solicitação e as de qualidade inferior em locais menos solicitados, possibilitando assim a utilização racional do material.

Neste escopo, foi aplicado neste trabalho o método norte-americano de classificação visual descrito nas regras de classificação visual do Southern Pine Inspection Bureau (SPIB) para a classificação estrutural de peças de madeira do gênero *Pinus* e verificação da adequação deste método às espécies de *Pinus Sp* plantadas no Brasil. Determinou-se também o valor característico do módulo de ruptura à flexão para cada classe visual por meio de análise estatística da distribuição de resistência de cada classe.

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho compreendem a verificação da adequação das regras de classificação visual do SPIB aplicadas à madeira de coníferas das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* provenientes de florestas plantadas no Brasil, a determinação de valores de propriedades de resistência e de rigidez a flexão para o lote em estudo e a análise da correlação do módulo de ruptura com a rigidez à flexão em relação ao eixo de maior inércia.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Classificação visual da madeira

Todos os sistemas de classificação estrutural são baseados no uso de um estimador para avaliar as propriedades mecânicas da madeira. Na classificação visual, a dimensão dos defeitos, em particular nós, e a densidade são utilizadas como estimador para avaliar as propriedades mecânicas da madeira.

Segundo CARREIRA (2003), a classificação visual é baseada na premissa de que as propriedades mecânicas de uma peça estrutural de madeira diferem das propriedades mecânicas da madeira isenta de defeitos devido a presença de certas características de crescimento e na possibilidade destas características serem observadas e julgadas pelo olho humano. Com o auxílio de regras de classificação, estas características de crescimento são usadas para selecionar a madeira em classes de qualidade visual.

GALLIGAN & MCDONALD (2000) afirmam que, na América do Norte, os procedimentos de classificação visual da madeira foram fundamentados em 1923, quando o *USDA Forest Service* e o *Forest Products Laboratory* publicaram um conjunto de regras básicas de classificação, com alguns valores de resistência. Estes valores de resistência, determinados para a melhor madeira cortada de uma árvore, foram usados por mais de 20 anos, sem alterações significativas.

Ainda segundo GALLIGAN & MCDONALD (2000), em 1970 o *U.S. Department of Commerce* criou a norma PS 20-70 (*American Softwood Lumber Standard*). Esta norma estabelece as condições para a comercialização da madeira de coníferas destinada a aplicações estruturais. Sob as exigências da PS 20-70, uma regra nacional de classificação (*National Grading Rule*) foi escrita com a finalidade de determinar características uniformes para a classificação visual de todas as espécies de coníferas na dimensão de *dimension lumber* (38mm x 38mm a 38mm x 286mm).

De acordo com BREYER *et al* (1998) em 1978, um grande projeto de pesquisa intitulado “*In-Grade Test Program*” foi empreendido juntamente entre a indústria madeireira, o *U.S. Forest Products Laboratory* (FPL), e muitas universidades. O objetivo do programa “*In-Grade*” era testar peças estruturais de madeira visualmente classificada para determinação de suas propriedades mecânicas.

Apesar do programa “*In-Grade*” ter iniciado em 1978, somente em 1991, a norma norte-americana de dimensionamento de elementos estruturais, NDS (*National design specification for wood contruction*) passa a adotar como valores de projeto para *dimension lumber* os resultados obtidos no programa “*In-grade*”. Para as peças de maiores dimensões (*post* e

timber) a NDS ainda determina os valores de projeto com base na resistência de pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos, devido à dificuldade de teste destes elementos.

### 3.2. Regras de classificação visual

Na América do Norte, a classificação visual de peças estruturais de madeira é realizada por meio de regras de classificação. As regras de classificação visual são escritas por uma associação de indústrias que representam uma determinada região onde as espécies são colhidas. Geralmente, a associação de indústrias mantém um serviço de controle de qualidade supervisionando, nas serrarias associadas, o material classificado de acordo com suas regras de classificação.

As agências norte-americanas que escrevem livros com regras de classificação visual são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Agências norte-americanas de classificação da madeira serrada.

| Agências que escrevem regras de classificação         |
|-------------------------------------------------------|
| Northeastern Lumber Manufacturers Association (NELMA) |
| Northern Softwood Lumber Bureau (NSLB)                |
| Redwood Inspection Service (RIS)                      |
| Southern Pine Inspection Bureau (SPIB)                |
| West Coast Lumber Inspection Bureau (WCLIB)           |
| Western Wood Products Association (WWPA)              |
| National Lumber Grades Authority (NLGA)               |

Fonte: GREEN & KRETSCHMANN (1999).

Por exigência da norma *National Grading Rule*, todas as agências de classificação visual devem adotar os critérios da norma ASTM D245 (*Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber*) para o estabelecimento de suas regras de classificação visual. A norma ASTM D245 foi derivada do conjunto de regras básicas de classificação visual desenvolvido pelo *USDA Forest Service* e pelo *Forest Products Laboratory* em 1923. De acordo com MADSEN (1992), a norma ASTM D245-93 trata somente da classificação estrutural e, além disso, é limitada à classificação visual, que na América do Norte é feita em 95 a 98% da madeira produzida.

Conforme GREEN & KRETSCHMANN (1999), a *National Grading Rule* fornece as diretrizes para a elaboração das regras de classificação visual da madeira de coníferas na dimensão de *dimension lumber*. As regras de classificação visual para outras dimensões (postes) podem variar entre as agências que escrevem as regras de classificação, pois a PS-20 trata apenas de *dimension lumber*.

De acordo com a norma ASTM D245-93, a razão de resistência a flexão é uma relação hipotética entre a resistência de uma peça de madeira com características de crescimento visíveis, que reduzem sua resistência, e a resistência de um corpo-de-prova isento de defeitos desta mesma madeira.

Segundo MADSEN (1992), o conceito de razão de resistência é realmente hipotético, pois os efeitos das características de crescimento não são completamente compreendidos e são somente aproximados algumas vezes usando considerações grosseiras.

A Tabela 2 apresenta as classes de qualidade visual definidas pela *National Grading Rule*, e também mostra a mínima razão de resistência à flexão associada a cada classe para fornecer um índice comparativo de qualidade.

Tabela 2 - Classes de qualidade visual definidas na *National Grading Rule*.

| Dimensões          | Classe            | Razão de resistência a flexão (%) |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Caibros e pranchas | Select Structural | 67                                |
|                    | Nº 1              | 55                                |
|                    | Nº 2              | 45                                |
|                    | Nº 3              | 26                                |
| Postes             | Select Structural | 65                                |
|                    | Nº 1              | 55                                |
|                    | Nº 2              | 45                                |
|                    | Nº 3              | 26                                |

Fonte: *National Grading Rule*.

### 3.3. Regras de classificação visual do SPIB

GREEN & KRETSCHMANN (1999). Afirmam que a maioria das espécies norte-americanas é distribuída em grupos, sendo que a madeira obtida a partir de espécies de um mesmo grupo é tratada como equivalente. As espécies são geralmente agrupadas quando têm as mesmas propriedades mecânicas, ou quando a madeira de duas ou mais espécies é muito semelhante na aparência, ou ainda por conveniência de comercialização.

Na América do Norte, o *Pinus elliottii* recebe o nome comercial de *Slash Pine* e o *Pinus taeda* o nome de *Loblolly Pine*. Ambos fazem parte do grupo *Southern Pine* e são classificados de acordo com as regras do Southern Pine Inspection Bureau (SPIB).

O SPIB é uma organização sem fins lucrativos, dedicada à manutenção de normas de qualidade para a indústria de *Southern Pine* dos Estados Unidos.

Uma função importante do SPIB é a formulação e publicação de regras de classificação para o *Southern Pine*. De acordo com SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994), mais de 95% da produção industrial de *Pinus* é classificada e comercializada de acordo com estas regras. O SPIB também mantém uma equipe de supervisores de qualidade. Esta equipe inspeciona as práticas de classificação nas serrarias associadas. Por meio de treinamento dos classificadores, o SPIB auxilia as serrarias na manutenção de um alto grau de eficiência na classificação.

### 3.4. Medição e limitação das características de crescimento

A norma ASTM D245 fornece equações teóricas e empíricas para a limitação dos defeitos nas peças de madeira em função da razão de resistência à flexão dada na Tabela 2 e das dimensões da seção transversal das peças. As regras do SPIB trazem estes dados compilados em tabelas para diversas seções transversais.

A classificação visual é realizada pelo exame das quatro faces e das duas extremidades de cada peça. A localização e a natureza dos nós, bem como outras características aparentes na superfície da madeira são avaliadas por todo o comprimento da peça.

A medição dos defeitos é realizada visualmente, ou seja, sem o auxílio de nenhuma ferramenta.

CARREIRA (2003) apresenta em seu trabalho os critérios e as técnicas do SPIB para a medição dos defeitos. São apresentadas a seguir somente as principais características que devem ser observadas na classificação visual. Informações completas a respeito podem ser obtidas no referido trabalho.

#### a) Nós

Deve-se medir os nós de maior dimensão posicionados no centro da face larga, na borda da face larga e na face estreita das peças.

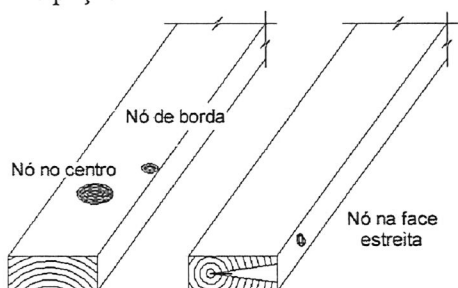


Figura 1 - Identificação dos nós em uma peça de madeira.

#### b) Inclinação das fibras

A inclinação das fibras é medida nas quatro faces, e na zona que apresentar a maior inclinação geral, desconsiderando os desvios localizados em torno dos nós.

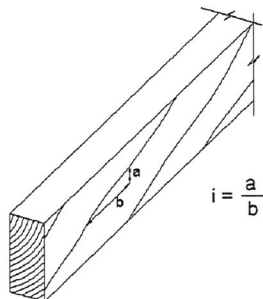


Figura 2 - Medição da inclinação das fibras de uma peça de madeira.

#### c) Racha anelar e fenda

O tamanho de uma racha anelar ou de uma fenda na extremidade de uma peça é igual à sua extensão medida paralelamente ao comprimento da peça.

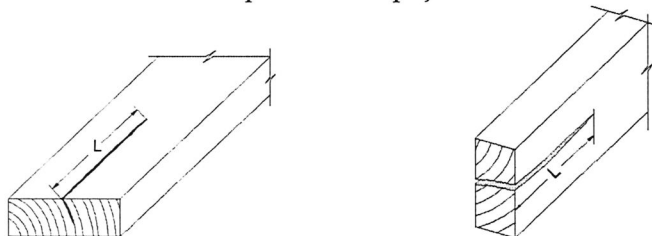


Figura 3 - Medição de uma racha e de uma fenda respectivamente.

#### d) Densidade

Além da classificação com relação a defeitos, a norma ASTM D245-93 também define classes de densidade em função da idade da madeira. O termo idade está relacionado à quantidade de anéis de crescimento presentes em 2,5cm (1") de comprimento, medidos em uma linha radial representativa. Assim, para ser considerada como densa, a peça de madeira deve ter seis ou mais anéis de crescimento e, além disso, mais de (1/3) um terço da seção transversal deve ser madeira de inverno. Peças com quatro ou mais anéis de crescimento, e tendo mais da metade da seção transversal com madeira de inverno também podem ser consideradas como densa. Para ser considerada de média densidade a peça deve ter quatro ou mais anéis de crescimento. Peças com menos de quatro anéis de crescimento são consideradas de baixa densidade.

As classes de densidade definidas pela ASTM D245-93 são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Classes de densidade definidas na ASTM D245-93**

| Classe | Anéis / 2,5cm | Quantidade de madeira de inverno |
|--------|---------------|----------------------------------|
| Densa  | ≥ 6           | > 1/3                            |
|        | ≥ 4           | > 1/2                            |
| Media  | ≥ 4           |                                  |
| Baixa  | < 4           |                                  |

De acordo com CARREIRA (2003), observa-se que na prática, as classes de média e baixa densidade são unidas e recebem o nome de não-densa, sendo designadas pela sigla "ND" e a classe densa é designada pela letra "D".

Assim, na classificação visual a peça recebe uma designação correspondente a sua qualidade visual, conforme os índices da Tabela 2, e um segundo índice em função do número de anéis de crescimento, de acordo com a Tabela 3.

### 3.5. Determinação das propriedades de resistência da madeira classificada

#### 3.5.1. A partir de testes de corpos-de-prova

De acordo com GREEN (1998), os procedimentos para a determinação das propriedades mecânicas para o dimensionamento da madeira visualmente classificada foram definidos há 50 anos atrás. As propriedades mecânicas de peças estruturais eram obtidas a partir das propriedades de pequenos corpos-de-prova. As propriedades mecânicas dos corpos-de-prova eram modificadas por coeficientes para se levar em conta a presença dos defeitos e a sua influência em tais propriedades. Os ajustes são feitos em função das dimensões dos nós e outros defeitos. A norma ASTM D-245 ainda traz este método em seu texto.

Neste método, cada propriedade de resistência de uma peça de madeira, visualmente classificada, é derivada do produto da resistência característica de corpos-de-prova isentos de defeitos pela razão de resistência da peça de madeira e pelos fatores de modificação:

$$f_d = SR \cdot f_k \cdot K \quad (1)$$

Sendo:

$f_d$  = resistência de cálculo da peça estrutural de madeira serrada;  
 $f_k$  = resistência característica de corpos-de-prova isentos de defeitos, dada na norma ASTM D2555 ou determinada em teste com corpos-de-prova, conforme a norma ASTM D143;  
 $SR$  = razão de resistência teórica para a propriedade considerada (função dos defeitos);  
 $K = (C_M \cdot C_F \cdot C_D \cdot C_t \cdot C_{fu})$ ;  
 $C_M$  = coeficiente de umidade;  
 $C_F$  = coeficiente de dimensão;  
 $C_D$  = coeficiente de duração de carregamento;  
 $C_t$  = coeficiente de temperatura;  
 $C_{fu}$  = coeficiente que leva em conta em que posição a peça é usada.

Alguns autores apontam deficiências no método de determinação de propriedades mecânicas de peças estruturais a partir de testes com corpos-de-prova, notadamente quanto ao modo de ruptura e quanto à distribuição de frequências.

MADSEN (1992) afirma que “uma peça estrutural de madeira é diferente da madeira isenta de defeitos assim como o cimento é diferente do concreto”.

A razão fundamental para isso é que os pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos e as peças estruturais de madeira apresentam diferentes modos de ruptura. Em testes de flexão, por exemplo, o início da ruptura nos pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos acontece na face comprimida onde aparecem esmagamentos das fibras; posteriormente, ocorre o progressivo rebaixamento da linha neutra e o conseqüente incremento das tensões na face tracionada leva a peça à ruptura. Uma peça de dimensões estruturais contém características naturais de crescimento tal como nós e desvios de fibras e o início da ruptura ocorre devido às tensões de tração normal às fibras nas proximidades dos nós.

Para MADSEN (1992), a determinação de propriedades mecânicas de peças estruturais a partir de pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos não fornece base confiável para aplicações estruturais.

A maioria das normas de dimensionamento de elementos estruturais de madeira, o valor característico da resistência é calculado considerando uma distribuição normal ou gaussiana como sendo uma representação apropriada da distribuição de resistências. Assim o valor característico inferior, é determinado pela Equação 2.

$$f_k = f_m - 1,645 \cdot S_d \quad (2)$$

Sendo:

$f_k$  = valor característico inferior, ou resistência característica;  
 $f_m$  = valor médio da resistência;  
 $S_d$  = desvio padrão da amostra.

MARTINEZ (2000), analisando a distribuição de frequências para a resistência a compressão paralela de 100 corpos-de-prova da espécie eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*), comprovou que a distribuição de frequências não segue uma distribuição normal. Como conseqüência, o valor característico determinado pela equação 2 é incorreto. Portanto, para o cálculo das propriedades mecânicas deve-se conhecer a distribuição de frequências.

A partir do exposto, pode-se notar a necessidade do emprego de um modelo estatístico para a determinação de níveis de resistência mais econômicos, em que se possa empregar a madeira de forma mais racional.

Estas constatações conduziram ao segundo método de determinação das propriedades de dimensionamento de elementos estruturais de madeira, o procedimento baseado na resistência de elementos estruturais.

### **3.5.2. A partir de testes com de elementos estruturais**

Uma nova filosofia de derivação das propriedades de dimensionamento foi desenvolvida para aplicação no programa “*In-grade*”. De acordo com MADSEN (1992), segundo esta filosofia os testes para determinação das propriedades mecânicas devem, o mais fielmente possível, refletir as condições finais de uso das peças de dimensões estruturais. Assim, tomando-se como exemplo, elementos fletidos, se o pior defeito for posicionado na região tracionada da peça, na montagem da estrutura, então os piores defeitos devem ser propositalmente posicionados na região tracionada das peças, durante os testes; se não, um arranjo aleatório é o mais apropriado.

Segundo GALLIGAN & MCDONALD (2000), a amostragem foi conduzida utilizando-se as principais espécies de madeira dos Estados Unidos e Canadá. Aproximadamente 73.000 vigas de dimensões estruturais foram testadas à flexão, tração e compressão paralela às fibras.

De acordo com BREYER *et al* (1998), para auxiliar os testes com elementos de dimensões estruturais, duas normas ASTM foram escritas: ASTM D1990 (*Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually Graded Dimension Lumber From In-Grade Test of Full-Size Specimens*) e a ASTM D4761 (*Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material*).

As regras de classificação visual para as várias espécies foram mantidas até os dias de hoje, e o nome “*In-Grade*” inclui os elementos testados com a madeira disponível no mercado de acordo com a norma ASTM D4761.

Cada peça de madeira foi visualmente classificada por um supervisor de qualidade das agências de classificação envolvidas no programa.

Os espécimes foram testados à flexão em relação ao eixo de maior inércia, à tração e à compressão paralela às fibras seguindo-se os procedimentos apropriados dados na norma ASTM D198 (*Standard Methods of Static Test of Timber in Structural Sizes*) ou D4761 (*Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material*). Os testes de tração e flexão foram conduzidos em campo, utilizando equipamentos portáteis.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a comprovação da eficiência da classificação visual apresentada anteriormente, foi realizada a classificação visual em um lote de madeira do gênero *Pinus*.

Após a classificação visual, as peças foram testadas à flexão estática em relação ao eixo de maior inércia, sendo determinado os valores do MOE e do MOR segundo esse eixo inércia.

Os testes foram desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (SET/EESC/USP).

#### 4.1. Material utilizado

Foram utilizadas pranchas de madeira das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, sendo que as mesmas encontravam-se misturadas no lote recolhido para análise.

As pranchas de madeira utilizadas apresentam dimensões nominais de 3,5cm × 12,5cm × 2,60m. As peças de madeira foram doadas pela Battistella Indústria e Comércio de Madeiras LTDA e são provenientes do Planalto Catarinense, região de Lages, Santa Catarina.

#### 4.2. Métodos

##### 4.2.1. Classificação visual

A Battistella separou para o estudo um lote composto por 1200 peças de madeira.

Foi feita uma pré-seleção neste lote, descartando-se as peças com empenamento excessivo, podridão ou com defeitos que pudessem invalidar os resultados dos testes. Desta pré-seleção restaram em torno de 900 peças.

Para a classificação visual das 900 peças foi aplicado o método de classificação visual do SPIB.

As 900 peças foram classificadas como caibros e pranchas (*dimension lumber*). Na classificação foram limitados os diâmetros dos maiores nós presentes no centro da face larga, na borda da face larga e na face estreita, bem como a inclinação das fibras na quatro faces e a presença de fendas, rachas, canto esmoado encanoamento e presença de resina. Também foi considerado o número de anéis de crescimento por 2,5cm (1") medidos em uma linha radial representativa. Assim, as peças foram classificadas em Densa (D) com 6 ou mais anéis de crescimento e mais de 1/3 da seção transversal contendo madeira de inverno, ou 4 ou mais anéis de crescimento e mais de 1/2 da seção transversal contendo madeira de inverno e Não-Densa (ND) para as demais densidades (média e baixa).

Para a realização posterior do trabalho foram selecionadas 502 peças distribuídas nas classes SS-D, SS-ND, N°2-D e N°2-ND e mais 98 peças distribuídas em outras classes, totalizando 600 peças. Desde a pré-seleção até o final da classificação visual foram gastos dois dias.

A Tabela 4 apresenta as dimensões máximas permitidas para os defeitos em cada classe, para peças com seção transversal de 3,5cm × 12,5cm.

Tabela 4 – Limitações nos defeitos em cada classe para peças de seção transversal de 3,5cm × 12,5cm e comprimento de 2,60m.

| Classe            | Fibras inclinadas | Nós               |                        |                      |        | Fendas | Racha superficial | Esmoado |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------|--------|--------|-------------------|---------|
|                   |                   | no centro da face | na borda da face larga | Face estreita D (cm) | L (cm) |        |                   |         |
| Select Structural | 1:12              | 4,8               | 2,7                    | 1,7                  | 8,8    | 12,5   | 60,0              | 0,9     |
| N° 1              | 1:10              | 6,2               | 3,6                    | 2,1                  | 10,4   |        |                   |         |
| N° 2              | 1:8               | 7,5               | 4,5                    | 2,6                  | 11,4   | 18,8   | 90,0              | 1,2     |
| N° 3              | 1:4               | 9,4               | 6,2                    | 2,7                  | 12,5   | 43,3   | -                 | 1,8     |

Devido a falta de prática para medir visualmente os defeitos, construiu-se um gabarito de acrílico, no qual foram marcadas as dimensões máximas admissíveis para os nós, e a máxima inclinação permitida para as fibras em cada classe. A figura 4 ilustra a classificação visual realizada utilizando o gabarito.

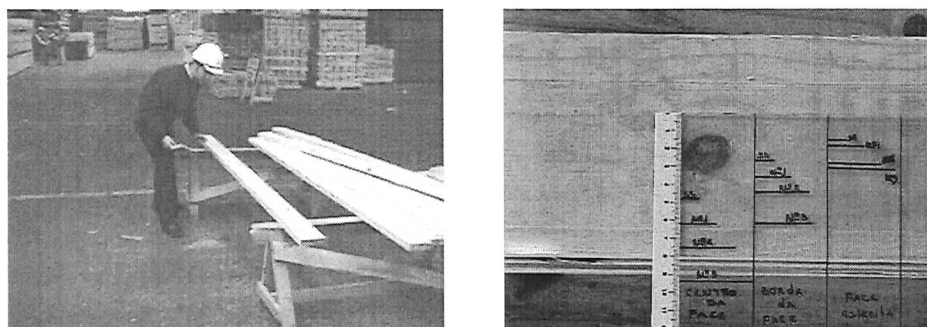


Figura 4 – Classificação visual e detalhe do gabarito de acrílico.

#### 4.2.2. Teste de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia

Para a realização dos testes de flexão estática em relação ao eixo principal de maior inércia foram utilizadas quantidades iguais de peças em cada classe. Como a classe N°2-D apresentava apenas 24 peças, foi adotada a mesma quantidade para as outras três classes, portanto para as demais classes foram selecionadas aleatoriamente 24 peças de cada classe, totalizando um lote de 96 peças.

Este teste foi realizado para a determinação das propriedades de resistência e rigidez à flexão em relação ao eixo de maior inércia das pranchas. A norma adotada nos ensaios foi a ASTM D4761-96. Nestes testes foram medidas, a rigidez (MOE) bem como o módulo de ruptura à flexão (MOR) das pranchas.

As pranchas foram apoiadas sobre duas rótulas espaçadas de 2,40 m e foram aplicadas duas cargas concentradas nos terços das mesmas. A relação  $L/h$  deste ensaio foi de 19, dentro dos limites da norma ASTM D4761-96 que estipula valores entre 17 e 21 como aceitáveis. Neste teste foi utilizada uma bomba hidráulica manual, um cilindro de 250 kN, um anel dinamométrico com capacidade de 50 kN e um relógio comparador de 0,01mm. A velocidade de carregamento aplicada foi em torno de 36 MPa/min levando as peças à ruptura entre 1min a 10min. As pranchas de madeira também foram devidamente contraventadas para evitar a perda de estabilidade lateral.

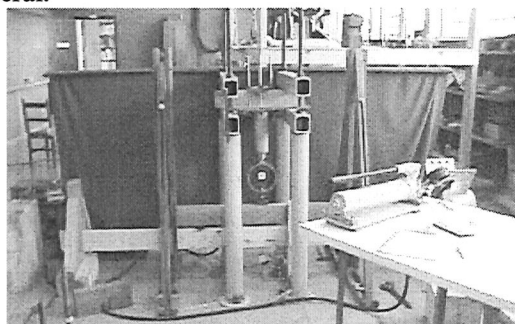


Figura 5 – Arranjo dos testes de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia.

Para a determinação do MOE foram aplicados duas intensidades de força: 1400 N e 2800 N. Os carregamentos foram definidos limitando-se o deslocamento vertical máximo em  $L/200$  e considerando-se um MOE médio de 10.000 MPa. Em seguida as pranchas foram levadas à ruptura.

As pranchas foram testadas aleatoriamente, isto é, sem seguir uma sequência com relação às classes de resistência. A disposição das peças, com relação aos defeitos nas bordas também foi aleatória.

## 5. RESULTADOS

A tabela 5 apresenta o resultado da classificação visual realizada nas 600 peças. Observa-se uma grande quantidade de peças sem defeitos.

Tabela 5 – Peças recolhidas para análise.

|                    | SS-D | SS-ND | Nº2-D | Nº2-ND | outras classes | TOTAL |
|--------------------|------|-------|-------|--------|----------------|-------|
| <b>Quantidades</b> | 324  | 92    | 24    | 62     | 98             | 600   |

As tabelas 6 e 7 apresentam a estatística descritiva para os dados do MOR e do MOE respectivamente, em relação ao eixo de maior inércia das peças.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos resultados do MOR obtidos nos testes de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia.

|                             | <i>MOR (MPa)</i> |              |              |             |
|-----------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
|                             | <i>Nº2-ND</i>    | <i>Nº2-D</i> | <i>SS-ND</i> | <i>SS-D</i> |
| <b>Média</b>                | 51,22            | 74,83        | 126,70       | 170,10      |
| <b>Erro padrão</b>          | 4,19             | 6,90         | 7,12         | 9,50        |
| <b>Mediana</b>              | 51,46            | 71,16        | 123,17       | 162,46      |
| <b>Desvio padrão</b>        | 20,51            | 33,80        | 34,87        | 46,56       |
| <b>Variância da amostra</b> | 420,63           | 1142,75      | 1216,15      | 2167,41     |
| <b>Curtose</b>              | -0,85            | -0,58        | 0,55         | 1,40        |
| <b>Assimetria</b>           | 0,25             | 0,60         | 0,81         | 1,04        |
| <b>Intervalo</b>            | 74,03            | 118,91       | 141,39       | 207,96      |
| <b>Mínimo</b>               | 19,43            | 33,19        | 75,65        | 86,72       |
| <b>Máximo</b>               | 93,46            | 152,10       | 217,04       | 294,68      |
| <b>Soma</b>                 | 1229,29          | 1795,59      | 3040,69      | 4082,23     |
| <b>Contagem</b>             | 24               | 24           | 24           | 24          |

Tabela 7 - Estatística descritiva dos resultados do MOE obtidos nos testes de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia.

As distribuições de frequências dentro de cada classe não seguiram o padrão de normalidade. Portanto, foram realizadas transformações nos dados de forma que os mesmos apresentassem uma distribuição normal. Foram utilizadas as transformações exponenciais de Box-Cox. As transformações são apresentadas na tabela 8.

|                      | MOE (MPa) |         |         |         |
|----------------------|-----------|---------|---------|---------|
|                      | Nº2-ND    | Nº2-D   | SS-ND   | SS-D    |
| Média                | 7608      | 9182    | 9899    | 14303   |
| Erro padrão          | 238       | 417     | 502     | 482     |
| Mediana              | 7694      | 9178    | 9225    | 13867   |
| Desvio padrão        | 1166      | 2041    | 2462    | 2360    |
| Variância da amostra | 1359893   | 4165789 | 6059997 | 5570388 |
| Curtose              | 0,86      | 3,18    | -0,27   | 0,45    |
| Assimetria           | -0,30     | 1,35    | 0,41    | -0,04   |
| Intervalo            | 5439      | 9154    | 9942    | 10283   |
| Mínimo               | 4662      | 6529    | 5756    | 8468    |
| Máximo               | 10101     | 15683   | 15698   | 18751   |
| Soma                 | 182594    | 220359  | 237570  | 343280  |
| Contagem             | 24        | 24      | 24      | 24      |

Tabela 8 – Transformações para os dados do MOE em relação ao eixo de maior inércia.

| Classe   | Transformação          |
|----------|------------------------|
| Nº2 - ND | $T(MOR) = MOR^{0,450}$ |
| Nº2 - D  | $T(MOR) = MOR^{0,449}$ |
| SS - ND  | $T(MOR) = Ln (MOR)$    |
| SS - D   | $T(MOR) = Ln (MOR)$    |

O valor característico inferior do MOR para os dados transformados de cada classe foi determinado pela equação 3.

$$MOR_k = MOR_{médio} - 1,645 \cdot Sd \quad (3)$$

A conversão dos valores transformados em valores reais foi feita pela equação 4 para as classes Nº 2 e pela equação 5 para as classes SS.

$$MOR = T(MOR)^{(1/\lambda)} \quad (4)$$

$$MOR = 2,7182^{T(MOR)} \quad (5)$$

A tabela 9 apresenta os valores do MOR<sub>k</sub> e do MOE<sub>médio</sub> determinados para as quatro classes de resistência. São apresentados também os valores dados pelo SPIB para o grupo *Southern Pine* norte-americano. Os valores tabelados se referem ao teor de umidade de 12% e carregamento com duração instantânea.

Tabela 9 – Propriedades de resistência e rigidez à flexão para a amostra em estudo e para o *Southern Pine* norte-americano.

| Classe | Amostra em estudo         |                           | Southern Pine Norte Americano |                           |
|--------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|        | MOR <sub>k</sub><br>(MPa) | MOE <sub>m</sub><br>(MPa) | MOR <sub>k</sub><br>(MPa)     | MOE <sub>m</sub><br>(MPa) |
| Nº2-ND | 21.9                      | 7608                      | 19.9                          | 9520                      |
| Nº2-D  | 28.7                      | 9182                      | 25.0                          | 11560                     |
| SS-ND  | 79.5                      | 9899                      | 40.6                          | 11560                     |
| SS-D   | 107.6                     | 14303                     | 46.6                          | 12920                     |

A figura 6 apresenta um diagrama de dispersão entre as variáveis MOR e MOE em relação ao eixo de maior inércia. Observa-se a existência de uma relação linear positiva entre as propriedades.

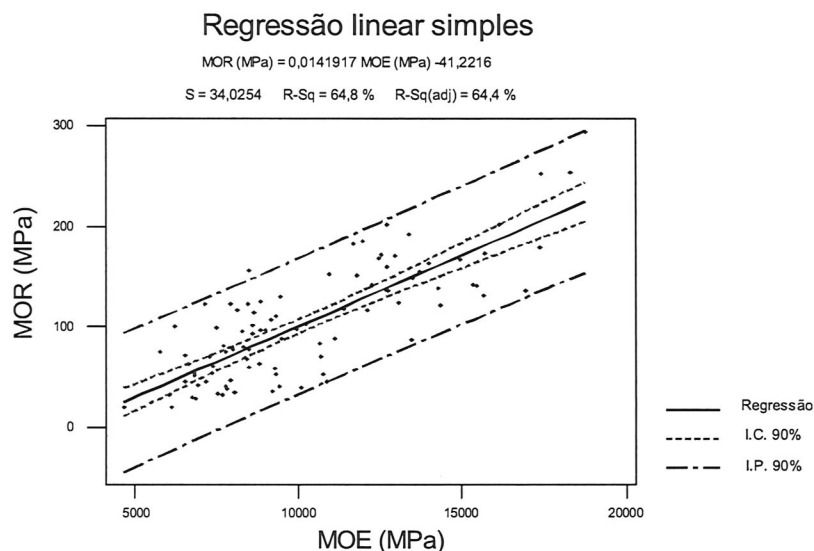


Figura 6 – Diagrama de dispersão e reta de regressão entre MOE e MOR.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise da revisão bibliográfica e do estudo experimental obtiveram-se as seguintes conclusões:

A classificação visual estrutural das pranchas de *Pinus Sp* mostrou-se como um método barato, considerando-se o volume de madeira classificada, em torno de 7m<sup>3</sup>, em apenas dois dias e empregando duas pessoas, sendo uma classificando e outra empilhando as peças, ambas sem prática nos procedimentos de classificação.

A análise da tabela 9 revela uma grande proximidade entre valores do MOR para as classes N°2-ND e N°2-D do lote avaliado e os fornecidos pelo *Southern Pine* norte-americano, a grande diferença encontrada para as classes SS-ND e SS-D muito provavelmente se deve a presença de grande quantidade de madeira de alta densidade no lote, tendo peças com mais da metade da seção transversal contendo madeira de inverno, conforme mostrado na figura 15.

Os valores obtidos para o MOE médio em relação o eixo de maior inércia para as quatro classes em estudo são próximos aos valores tabelados para o *Southern Pine* norte-americano. Assim, pode-se sugerir, a princípio, a utilização das propriedades mecânicas tabeladas para o *Southern Pine* norte-americano como indicadores das propriedades mecânicas de peças estruturais da espécie *Pinus* proveniente de florestas plantadas no Brasil.

As classes N°2-D e SS-ND apresentaram valores equivalentes do MOE medido em relação ao eixo de maior inércia.

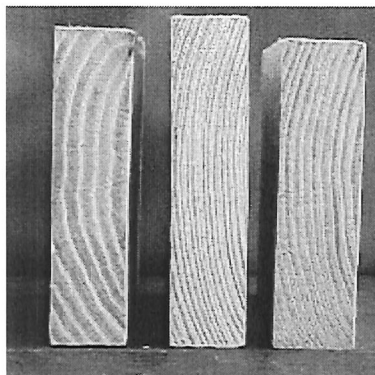


Figura 7 – Peças de madeira com elevada densidade

As quatro classes em estudo apresentaram diferenças significativas no MOR medido em relação ao eixo de maior inércia evidenciando a eficiência da classificação visual pelo método norte-americano. Observou-se diferença da ordem de 275% nos valores característicos do MOR entre os grupos SS e N°2, ilustrando a necessidade de classificar a madeira de coníferas provenientes de florestas plantadas e destinadas a aplicações estruturais.

A correlação entre o MOE e o MOR para a flexão em relação ao eixo de maior inércia apresentou para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) um valor igual a 0,648 e a equação de correlação entre estas propriedades é definida pela equação 9.

$$MOR(MPa) = 0,01419 \cdot MOE(MPa) - 41,22 \quad (9)$$

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Battistella Indústria e Comércio de Madeiras pela doação de toda a madeira utilizada neste trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPM (1999). *Catálogo de normas de madeira serrada*. Associação Brasileira dos Produtores de Madeira Curitiba, PR.

ASTM (1998). West Conshohoken, PA: American Society of Testing and Materials.

ASTM D143 – 94. *Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*.

ASTM D198-97. *Standard Methods of Static Test of Timber in Structural Sizes*.

ASTM D245-93. *Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber*.

ASTM D1990-97. *Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually Graded Dimension Lumber From In-Grade Test of Full-Size Specimens*.

ASTM D2555-96. *Standard Test Methods for Establishing Clear Wood Strength Values*.

ASTM D4761-96. *Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material*.

BREYER, D.E.; FRIDLEY, K. J.; COBEEN, K. E. (1998). *Design of Wood Structures*. Fourth Edition. McGraw Hill, New York. NY.

CARREIRA, M. R. (2003). *Critérios para classificação de peças estruturais de Pinus sp.* Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

CURRY, W.T. (1969). *Mechanical Stress Grading of Timber*. Timber Papers Nº 18, Forest Products Research Laboratory, in: Conference on Non-Destructive Testing of Concrete and Timber, London.

GALLIGAN, L. W. ; MCDONALD, K. A. (2000). *Machine grading of lumber – Practical concerns for lumber producers*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-7 USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI.39 p.

GREEN, D. W. (1998). Techline - *Strength of Visually Graded Structural Lumber*. Was., D.C., FPL – FS – USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison.

GREEN, D. W. ; KRETSCHMANN, D.E. (1999). *Wood handbook—Wood as an engineering material - Chapter 6 - Lumber Stress Grades and Design Properties*. Was., D.C., FPL – FS – USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison.

MADSEN, B. (1992). *Structural Behaviour of Timber*. Timber Engineering Ltd. Vancouver, Canadá.

MARTINEZ, M. (2000). *Determinação do valor característico da resistência da madeira: Distribuições de probabilidade simétricas e assimétricas*. VII Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, São Carlos, SP.

PS 20 (1999). *American Softwood Lumber Standard*. National Institute of Standards and Technology, Washington, DC. 39p.

SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994). *Standard Grading Rules for Southern Pine Lumber*. Pensacola, Fla.