

ASPECTOS DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE CONÍFERAS**Marcelo Rodrigo Carreira**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Antônio Alves Dias

Universidade de São Paulo (USP)

Carlito Calil Jr.

Universidade de São Paulo (USP)

RESUMO

A utilização estrutural da madeira serrada oriunda de florestas plantadas apresenta, no Brasil, um considerável potencial para expansão, pois as restrições sobre as florestas nativas são irreversíveis e o mercado se volta, em larga escala, para o uso das madeiras de reflorestamento, destacando-se o *Pinus Sp* como uma das espécies mais promissoras. Entretanto, como resultado do crescimento acelerado, a madeira proveniente destas espécies apresenta defeitos, tornando-se imprescindível a realização da classificação para sua aplicação estrutural. Atualmente, no Brasil, não há procedimentos normatizados para a classificação de peças estruturais de madeira. Neste contexto, este trabalho verificou 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 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, classificação visual, *Pinus*.

1. INTRODUÇÃO

A madeira serrada de uma tora, independentemente da espécie e dimensão, é bastante variável em suas propriedades mecânicas. É comum encontrar diferenças de resistência acima de trezentos por cento de uma peça para outra da mesma espécie e mesma dimensão. Segundo CURRY (1969), há duas razões para isto. A primeira razão se deve à forte correlação existente entre a resistência e a densidade da madeira. Há uma grande variação nesta característica entre as árvores de uma mesma espécie. Ainda de acordo com CURRY (1969), a segunda razão é que outras características naturais de crescimento, em particular os nós, têm um efeito adverso na resistência, e a extensão, localização e dimensão deles diferem em cada peça de madeira.

Por outro lado, o máximo de economia do material é obtido quando a variação das características em uma determinada classe é limitada, e todas as peças são utilizadas com seu total potencial. Conforme PIGOZZO *et al* (2000) o processo de classificação não consiste em separar e utilizar somente as peças livres de defeitos, mas ao contrário, permitir a utilização de peças com defeitos em aplicações adequadas.

A norma brasileira NBR 7190-97 (Projeto de Estruturas de Madeira) não apresenta os procedimentos para a classificação estrutural de peças de madeira. Porém, a qualidade da madeira é levada

em conta no dimensionamento por meio do coeficiente parcial de modificação K_{mod3} . Este coeficiente é adotado igual a 1,0 no caso de madeira de primeira categoria, e igual a 0,8 no caso de madeira de segunda categoria. A condição de madeira de primeira categoria descrita na norma NBR 7190-97 somente pode ser admitida se todas as peças estruturais forem classificadas como isentas de defeitos, por meio de método visual normatizado, e também submetidas a uma classificação mecânica que garanta a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote. Desta forma, torna-se necessário agrupar as peças de madeira com propriedades semelhantes em classes, permitindo assim, a utilização segura e racional dos recursos florestais.

Neste contexto, foi aplicado neste trabalho o de classificação visual estrutural de coníferas do Southern Pine Inspection Bureau (SPIB) para a classificação de peças de madeira das espécies *Pinus elliottii* e *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. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Classificação visual 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 às certas características de crescimento, e que tais características podem ser vistas e julgadas pelo olho humano. Com o auxílio de regras de classificação, as características de crescimento são usadas para selecionar a madeira em classes de qualidade visual.

Em 1923 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.

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 determinando características uniformes para a classificação 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 propósito do programa “*In-Grade*” foi o teste de peças de madeira visualmente classificadas. Aproximadamente 73.000 vigas de dimensões estruturais foram testadas à flexão, tração e compressão paralela às fibras.

Segundo GALLIGAN & MCDONALD (2000), a amostragem foi conduzida utilizando-se as principais espécies de madeira dos Estados Unidos e Canadá. 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, e o nome “*In-Grade*” inclui os elementos testados com a madeira disponível no mercado de acordo com a norma ASTM D4761.

A partir de 1991, a norma norte-americana de dimensionamento de elementos estruturais, NDS (*National design specification for wood construction*) passa a adotar como valores de projeto para caibros e pranchas os resultados obtidos no programa “*In-grade*”. Para as peças de maiores dimensões (postes) 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.

2.1.1. Regras de classificação visual

Segundo CARREIRA (2003), 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 e publicam 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 o roteiro para a elaboração das regras de classificação visual da madeira de coníferas na dimensão de *dimension lumber*, que nas dimensões das madeiras brasileiras corresponderiam aos caibros e as pranchas. As regras de classificação para outras dimensões (postes) podem variar entre as agências que escrevem as regras de classificação, pois a PS-20 trata apenas de *dimension lumber*. A Tabela 2 apresenta as classes visuais definidas pela *National Gra-*

ding 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 visuais descritas 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*.

De acordo com a norma ASTM D245-93, a razão de resistência é uma relação hipotética entre a resistência de uma peça de madeira com características visíveis de crescimento 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.

2.1.2. Regras de classificação visual do SPIB

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, segundo GREEN & KRETSCHMANN (1999).

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.

2.1.3. 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. Não é o objetivo deste trabalho reproduzir tais critérios, portanto, serão apresentadas a seguir as principais características que devem ser observadas na classificação visual.

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.

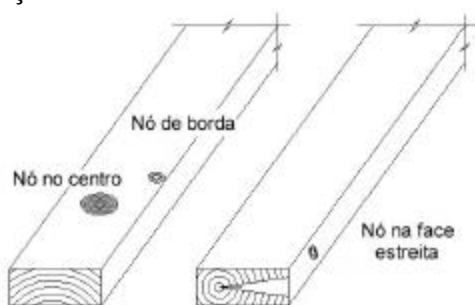


Figura 1 - Identificação dos nós em uma peça de madeira.

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.

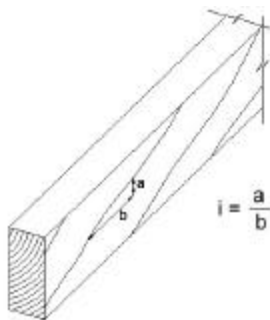


Figura 2 - Medição da inclinação das fibras de uma peça de madeira.

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.

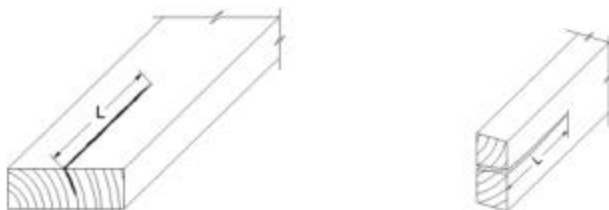


Figura 3 –Medição de uma racha e de uma fenda respectivamente.

d) Densidade

Além da classificação com relação a defeitos, a norma ASTM D245-93 também define classes de densidade para a madeira, em função da idade da madeira. O termo idade se refere 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 anel 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 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 a seguir:

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.

2.2. Determinação das propriedades de resistência da madeira classificada

2.2.1. Baseando na resistência de corpos-de-prova

Nos Estados Unidos, a determinação das propriedades de resistência e rigidez para o dimensionamento dos elementos estruturais de madeira foi baseada nas propriedades mecânicas de pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos, GREEN & KRETSCHMANN (1999). De acordo com GREEN (1998), os procedimentos para a determinação das propriedades mecânicas para o dimensionamento da madeira visualmente classificada foram estabelecidos inicialmente há 50 anos atrás. Eles envolvem os resultados de testes em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos os quais

são modificados por coeficientes de modificação para a derivação das propriedades de dimensionamento. Os ajustes são feitos em função das dimensões dos nós e outros defeitos.

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;

$K = (C_M \cdot C_F \cdot C_D \cdot C_t \cdot C_{fu})$;

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 baseado na resistência de corpos-de-prova isentos de defeitos para a derivação das propriedades de resistência e rigidez de peças de dimensões estruturais, 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 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 aumento das tensões na face tracionada, levando 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.

Para MADSEN (1992), o método de teste em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos não pode fornecer base confiável para propósitos estruturais.

Na 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 de-

terminado 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.

2.2.2. Baseando na resistência de elementos estruturais

Uma nova filosofia de derivação das propriedades de dimensionamento foi desenvolvida para aplicação no programa norte-americano (*In-grade Test Program*) para a determinação das propriedades de resistência de peças estruturais. Para esta nova filosofia, de acordo com MADSEN (1992), os resultados dos testes 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.

O propósito do programa “*In-Grade*” foi o teste de peças de madeira visualmente classificadas. Aproximadamente 73.000 vigas de dimensões estruturais foram testadas à flexão, tração e compressão paralela às fibras. Segundo GALLIGAN & MCDONALD (2000), a amostragem foi conduzida utilizando-se as principais espécies de madeira dos Estados Unidos e Canadá. 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, e o nome “*In-Grade*” inclui os elementos testados com a madeira disponível no mercado de acordo com a norma ASTM D4761. Os objetivos deste programa foram:

- Determinar as propriedades mecânicas para pranchas de madeira visualmente classificadas;
- Desenvolver modelos analíticos para avaliar o desempenho de estruturas leves de madeira.

Cada peça de madeira das espécies descritas acima 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.

As peças foram colocadas na máquina de testes com orientação aleatória das faces. Nos casos em que foi observado um arqueamento pronunciado, as peças foram colocadas com o lado convexo na zona comprimida. As peças foram colocadas na máquina de testes de forma que a característica de máxima redução de resistência seja posicionada aleatoriamente em relação ao comprimento da peça. No caso de não haver mais do que uma característica que possa reduzir a resistência da peça de madeira, o defeito mais próximo do centro é usado para o posicionamento.

Antes dos testes de tração paralela às fibras foi avaliado o MOE à flexão de cada peça. Quando a peça de madeira testada à tração paralela às fibras não pode ser rompida devido à limitações da máquina de teste utilizou-se a máxima força aplicada para calcular a resistência à tração dos espécimes.

3. OBJETIVO

Os objetivos principais deste trabalho compreendem a verificação da eficiência e 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 para o lote em estudo, a verificação da influência dos defeitos na medida do MOE e a análise da correlação entre o MOE e o MOR.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Material utilizado

Foram classificadas visualmente 600 pranchas de madeira de dimensões nominais 3,5cm x 12,5cm x 2,60m, das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, retiradas de um lote de 1200 peças. Destas 600 peças, foram selecionadas 96 peças, sendo igualmente distribuídas nas classes SS-ND, SS-D, N°2-ND e N°2-D. A madeira utilizada nos testes foi seca em estufa. Foi medido o teor de umidade de algumas peças retiradas aleatoriamente do lote com um medido elétrico Digisystem, modelo DUP 8805 e constatou-se que a umidade das mesmas estava em torno de 11,9%. Portanto, não foi necessária a correção das propriedades mecânicas em função da umidade.

As peças de madeira foram doadas pela Battistella Indústria e Comércio de Madeiras S/A e são provenientes do Planalto Catarinense, região de Lages, Santa Catarina.

4.2. Classificação visual

Para a classificação visual das 600 peças foi aplicado o método de classificação visual do SPIB, descrito com detalhes em Southern Pine Inspection Bureau (1994).

A Tabela 4 apresenta as dimensões máximas permitidas para os defeitos em cada classe, para peças com seção transversal de 3,5cm x 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		Face estreita		Fendas	Racha superficial	Esmoadado
		no centro da face	na borda da face larga	D (cm)	L (cm)			
Select Structural	1:12	4,8	2,7	1,7	8,8	12,5	60,0	0,9
Nº 1	1:10	6,2	3,6	2,1	10,4			
Nº 2	1:8	7,5	4,5	2,6	11,4	18,8	90,0	1,2
Nº 3	1:4	9,4	6,2	2,7	12,5	43,3	-	1,8

4.3. Testes de flexão estática em relação ao eixo de menor inércia

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.

**Figura 4** – Arranjo dos testes de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia.

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.

Para a determinação do MOE foram aplicadas 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 seqüência com relação às classes de resistência. A disposição das peças, com relação aos defeitos nas bordas também foi aleatória.

5. RESULTADOS

5.1. Classificação visual

A Tabela 4 apresenta o resultado da classificação visual realizada nas 600 peças. Observa-se uma grande quantidade de peças sem defeitos.

Tabela 5 – Resultados da classificação visual.

	SS-D	SS-ND	Nº2-D	Nº2-ND	Outras classes	TOTAL
Quantidades	324	92	24	62	98	600

5.2. Testes de flexão estática

As Tabelas 5 e 6 apresentam a estatística descritiva dos resultados do MOR e do MOE obtidos nos testes de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia das peças.

Tabela 6 – Estatística descritiva dos resultados do MOR obtidos nos testes de flexão estática.

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

Tabela 7 – Estatística descritiva dos resultados do MOE obtidos nos testes de flexão estática.

	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

6. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos conclui-se que:

A classificação visual das pranchas de *Pinus Sp* mostrou-se como um método barato e eficaz, considerando-se o volume de madeira classificada, em torno de 7m³, em apenas dois dias e empregando duas pessoas, sendo uma classificando e outra empilhando as peças, ambas sem prática nos procedimentos de classificação.

Para o lote avaliado neste trabalho, os valores característicos encontrados para o MOR e para o MOE em relação ao eixo de maior inércia de peças estruturais das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* agrupadas são dados na Tabela 8. Para efeito de comparação, esta tabela também apresenta os valores estabelecidos pelo SPIB para o *Southern Pine* Norte Americano.

Tabela 8 – Propriedades mecânicas de peças estruturais de *Pinus taeda* e *elliottii* agrupados, e com dimensões nominais de 3,5cm x 12,5 cm.

Classe	Amostra em estudo		<i>Southern Pine</i> Norte Americano	
	MOR _k (MPa)	MOE _m (MPa)	MOR _k (MPa)	MOE _m (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

Pode ser notada uma grande proximidade entre valores do MOR para as classes Nº2-ND e Nº2-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 5.



Figura 5 – Peças de madeira com elevada densidade

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 indicador das propriedades mecânicas de peças estruturais da espécie *Pinus* proveniente de florestas plantadas no Brasil.

Observou-se que a presença de defeitos afeta o MOE das peças. Nas peças de alta densidade (D), a presença de defeitos da dimensão máxima permitida para a classe Nº2, resultou na redução de 36%, enquanto nas peças de média e baixa densidade (ND), a redução foi de 23%.

As classes Nº2-D e SS-ND apresentaram valores equivalentes do MOE medido em relação ao

eixo de maior inércia, e as demais classes apresentaram resultados significativamente diferentes entre si.

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.

7. AGRADECIMENTOS

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

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION (1997). "Supplement. National Design Specification for Wood Construction (NDS)". 58 p.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL (1993). "ASTM D245-93. Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber". West Conshohocken, PA.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL (1994). "ASTM D143 – 94. Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.". West Conshohocken, PA.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL (1996). "ASTM D2555-96. Standard Test Methods for Establishing Clear Wood Strength Values.". West Conshohocken, PA.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL (1996). "ASTM D4761-96. Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material". West Conshohocken, PA.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL (1997). "ASTM D1990-97. Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually Graded Dimension Lumber From In-Grade Test of Full-Size Specimens". West Conshohocken, PA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997). "NBR 7190-Projeto de estruturas de madeira". Rio de Janeiro.
- 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 N° 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.
- PIGOZZO, J. C. ; PLETZ, E. ; ROCCO LAHR, F. A. (2000). "Aspectos da classificação mecânica de peças estruturais de madeira". 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.

Endereço dos autores:

Marcelo Rodrigo Carreira (mrcarreira@uem.br)
Professor

Universidade Estadual de Maringá
Av. Colombo, 5790 - Bloco C67 - CEP

IV ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA

87020-900 - Maringá-Pr
fone: (044) 261- 4322

Antônio Alves Dias (dias@sc.usp.br)
Professor

Av. Trabalhado São Carlense 400.- CEP
13566-590 - São Carlos - SP
fone: (016) 263- 9369

Carlito Calil Jr. (calil@sc.usp.br)
Professor

Av. Trabalhado São Carlense 400.- CEP
13566-590 - São Carlos - SP
fone: (016) 263- 9369