

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

Na América do Norte, há uma tendência de se agruparem as espécies com características semelhantes e tratá-las como equivalentes. Nos Estados Unidos as espécies *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Pinus palustris* e *Pinus echinata* são unidas no grupo *Southern Pine*. Por exigência da *National Grading Rule*, todas as regras de classificação visual para a madeira de coníferas na dimensão de caibros e pranchas devem ser baseadas nos procedimentos descritos na norma ASTM D245. Sendo que o *Southern Pine Inspection Bureau* é o órgão responsável por escrever regras de classificação visual para *Southern Pine*, bem como oferecer treinamento a classificadores e inspecionar as serrarias associadas a ele.

A norma *National Grading Rule* fixa os valores da razão de resistência à flexão para cada classe, e a partir das equações dadas na norma ASTM D-245, e reproduzidas no anexo A, determina-se o limite permissível para os nós em cada classe. A razão de resistência à flexão é uma relação hipotética entre o MOR de uma peça de madeira com características de crescimento visíveis, e que reduzem a sua resistência, e o MOR de uma peça isenta de defeitos da mesma madeira. Com relação aos nós, deve-se medir os de maior diâmetro, posicionados na face estreita, no centro da face larga e na borda da face larga, sendo que para ser considerado na borda da face larga, a distância do centro do nó à borda da peça deve ser menor ou igual a $\frac{2}{3}$ (dois terços) de seu diâmetro. Com relação à inclinação de fibras, esta deve ser medida nas quatro faces da peça, tomando-se a maior inclinação observada e desconsiderando-se as inclinações associadas com nós.

No sistema de classificação visual, uma classe é descrita pelo seu nível de qualidade visual (SS, N°1, N° 2 e N° 3) seguida da densidade da madeira (D e ND). Exemplificando, a classe SS-ND, indica uma madeira com qualidade visual *Select*

Structural e com densidade não-densa. A densidade é medida pelo número de anéis de crescimento medidos em uma linha radial representativa de 2,5cm (1”).

A determinação das propriedades de resistência para uma determinada espécie com base na resistência de pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos apresenta inconvenientes com relação à distribuição de frequências e ao modo de ruptura. Há uma tendência mundial de se determinarem as propriedades de resistência por meio de testes com elementos de dimensões estruturais. Nesta nova filosofia, os valores característicos de resistência para cada classe de uma determinada espécie são fixados à partir de testes com elemento estruturais, sendo que tais testes devem refletir as condições finais de aplicação destes elementos.

Os métodos de classificação mecânica MSR e MEL utilizam o MOE como estimador do MOR. A classificação pelo sistema *E-rated* não pode ser considerada como classificação por tensões, pois ela é baseada somente na medida do MOE, não sendo feitos testes destrutivos para correlacionar o MOE com o MOR. Este sistema foi desenvolvido pela indústria de Madeira Laminada Colada.

Analisando a tabela 74 do apêndice A, observa-se que o limite da seção transversal ocupado pelo nó é praticamente constante para cada classe, independentemente da seção transversal da peça. Esta constatação traz simplificações no sistema de classificação visual, permitindo que os nós sejam limitados em função da proporção da área da seção transversal ocupada na peça. Desta forma tem-se:

Tabela 62 – Limitação da dimensão dos nós em função da proporção da área da seção transversal ocupada.

Características	Classe			
	Select Structural	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Inclinação de fibras	1:12	1:10	1:8	1:4
Borda da face larga	1/5	1/4	1/3	1/2
Nós	Centro da face larga	2/5	3/5	3/4
	Face estreita	1/5	1/4	1/3

A classificação visual estrutural 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 63. Para efeito de comparação, esta tabela também apresenta os valores estabelecidos pelo SPIB.

Tabela 63 – 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 e a amostra em estudo, 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 109. 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.



Figura 109 – Peças de madeira com elevada densidade

Os valores médios do MOE medido nos testes e flexão estática em relação ao eixo de maior inércia para as quatro classes (Nº2-ND, Nº2-D, SS-ND, e SS-D) foram significativamente diferentes do MOE medido em relação ao eixo de menor inércia. Sendo que o MOE em relação ao eixo de menor inércia foi maior que o MOE em relação ao eixo de maior inércia em todas as classes. Dividindo-se o MOE em relação ao eixo de menor inércia pelo MOE em relação ao eixo de maior inércia obteve-se um coeficiente de ajuste médio de 1,19.

As classes Nº2-D e SS-ND apresentaram valores equivalentes do MOE medido em relação ao eixo de maior inércia.

As quatro classes em estudo apresentaram diferenças significativas no MOR medido em relação ao eixo de maior inércia. Observou-se diferença da ordem de 275% nos valores característicos do MOR entre os grupos SS e Nº2, ilustrando a necessidade de classificar a madeira de coníferas provenientes de florestas plantadas e destinadas a aplicações estruturais.

Os resultados dos testes de compressão paralela à fibra em corpos-de-prova revelam que existe diferença significativa entre os valores médios de f_{co} das classes Nº2-D e SS-D. Este fato comprova a constatação da classe SS-D apresentar madeira de elevada densidade, sendo superior à densidade da classe Nº2-D. A amostra coletada enquadra-se na classe C25 da norma NBR7190-97, considerando-se o valor característico de f_{co} .

A densidade média dos corpos-de-prova foi de 0,52 g/cm³, sendo inferior aos valores encontrado por SIMPSON & TENWOLDE (1999), que obtiveram uma densidade média de 0,61 g/cm³ para o *Pinus elliottii* e 0,54 g/cm³ para o *Pinus taeda*.

Observou-se que as classes SS-ND e SS-D apresentam valores de MOR muito acima dos valores do *Southern Pine*. Entretanto, a densidade da classe SS-ND é estatisticamente equivalente à densidade da classe Nº2-ND que apresenta MOR coerente com o MOR do grupo *Southern Pine*. Teoricamente, a única diferença entre as classes é a presença de defeitos na classe Nº2-ND. Portanto, conclui-se que para o MOR a presença de defeitos é muito mais significativa na redução da resistência do que a baixa densidade. Conclui-se também que a classe SS-ND apresenta valores de densidades coerentes. Como nesta classe praticamente não há presença de defeitos, a

probabilidade de haver erros na classificação é muito pequena, portanto, provavelmente a madeira em estudo, estando sem defeitos, apresentará valores de MOR superiores aos valores tabelados para o grupo *Southern Pine*.

Com relação às correlações entre as propriedades mecânicas e físicas para as espécies analisadas, a tabela 64 apresenta um resumo das equações de correlação entre propriedades mecânicas e físicas para as espécies amostradas.

Tabela 64 – Equações de correlação entre propriedades mecânicas e físicas para a amostra coletada.

Propriedades	Equação	R ²
MOE _{MSR} x MOE _{estático}	$MOE_{MSR} (MPa) = 2,71828^{[0,5972 \cdot MOE(MPa)^{0,225} + 4,391]}$	92,5
MOE _{Vibr.-transv.} x MOE _{estático}	$MOE_{vibr.-transv.} (MPa) = 0,9972 \cdot MOE(MPa) + 387,88$	98,1
MOE _{maior inércia} x MOR	$MOR(MPa) = 0,01419 \cdot MOE(MPa) - 41,22$	64,8
MOE _{menor inércia} x MOR	$MOR(MPa) = 0,00767 \cdot MOE(MPa) + 14,71$	29,8
E _{co} x f _{co}	$f_{co} (MPa) = 0,00200 \cdot E_{co} (MPa) + 18,66$	73,3
ρ _{ap12%} x f _{co}	$f_{co} (MPa) = 94,060 \cdot r_{ap12\%} (g / cm^3) - 8,444$	77,4
ρ _{ap12%} x E _{co}	$E_{co} (MPa) = 27274,6 \cdot r_{ap12\%} (g / cm^3) - 4167,74$	47,4

O diagrama de dispersão para os dados reais do MOE_{estático} e do MOE_{MSR} revela o aumento na dispersão dos pontos com o aumento da magnitude do MOE_{estático}, ou seja, a variância não permanece constante ao longo da reta de regressão. Acredita-se que a máquina MSR não esteja conseguindo manter a força constante para peças com grande rigidez, e tal oscilação na força aplicada estaria causando a heterogeneidade da variância. Em função da transformação inversa para representar os dados originais, a equação de correlação obtida para o MOE_{estático} e o MOE_{MSR} é de difícil aplicação prática.

A técnica de vibração transversal apresentou-se como um método expedito e de elevada confiabilidade para a estimativa do MOE, visto que o valor do coeficiente angular da reta de regressão (β) é muito próximo de 1,0. Observa-se que o coeficiente de determinação (R²) obtido com o equipamento de vibração transversal (0,981). Observa-se também que o equipamento de vibração transversal apresentou menor variabilidade na estimativa do MOE do que a máquina MSR.

A densidade a 12% de umidade apresentou-se como um bom estimador da resistência à compressão em corpos-de-prova isentos de defeitos, apresentando um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,774.

A regressão entre o MOE medido em relação ao eixo de menor inércia e o MOR em relação ao eixo de maior inércia apresentou uma fraca correlação, com coeficiente de determinação igual a 0,298.