

REVISTA

M**MADEIRA**¹³

Publicação
Quadrimestral
ISSN 1806-6097

Ano 5 Número 13
Maio a Agosto de 2004

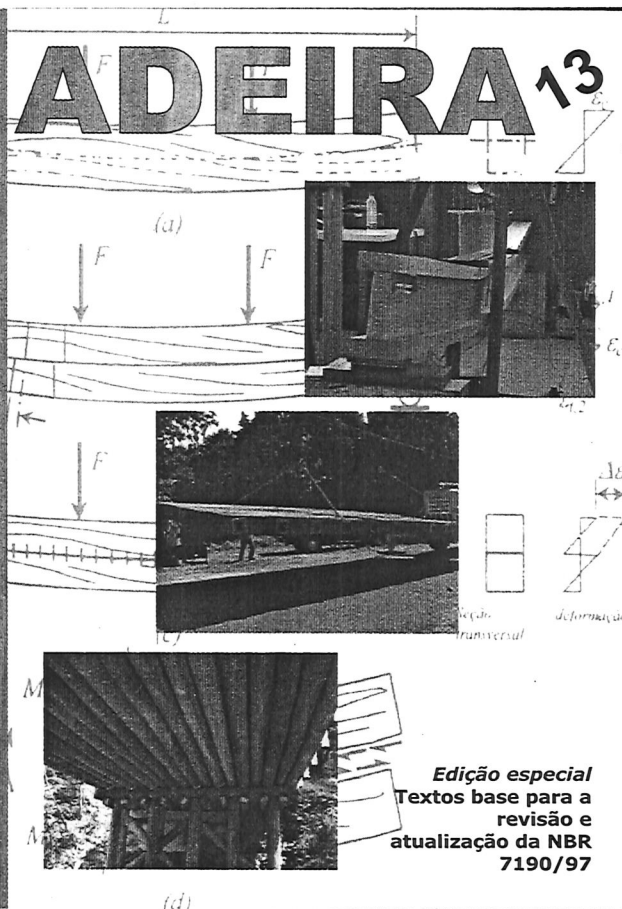
Edição Pinus Elliottii



EESC
Escola de Engenharia
de São Carlos / USP



IBRAMEM
Instituto Brasileiro
da Madeira e das
Estruturas de Madeira



Edição especial
Textos base para a
revisão e
atualização da NBR
7190/97

Ficha Catalográfica

Revista madeira : arquitetura e engenharia - Arquivo de computador - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira. - Ano 5, n.13 (Maio/Ago. 2004) - São Carlos: EESC/LaMEM, 2004.
CD-rom
n. 10, il. color.
ISSN 1806-6097

1. Madeira - Arquitetura. 2. Madeira - Engenharia.
I. Escola de Engenharia de São Carlos. II. Instituto Brasileiro das madeiras e das Estruturas de Madeira.

Instruções

Para rodar este CD é necessário o Acrobat Reader 4.0 ou superior. Caso não o possua, insira o CD e execute a instalação (ar40) contida na pasta Instala. Caso a Revista não se inicie automaticamente clique em Iniciar, Executar, D: e execute o arquivo **Revista eletrônica Madeira capa.pdf**

Editor

Prof. Dr. Carlito Calil Junior

Conselho Editorial

Almir Sales
Antonio Alves Dias
Elen Aparecida M. de Moraes
Fabrício Moura Dias
Francisco Antonio Rocco Lahr
Núbia Ferreira Saad

Editores e Arte

Alexandre Monteiro de Carvalho
Fabrício Moura Dias
USP/São Carlos

Colaboradores

Alexandre Monteiro de Carvalho
Maria Fátima do Nascimento

MADEIRA

arquitetura
e engenharia

nº 13 artigo 2

Proposta de método para classificação visual estrutural de coníferas

C 314 p

Marcelo Rodrigo Carreira, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. E-mail: marcelo.carreira@ig.com.br

Antonio Alves Dias, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. E-mail: dias@sc.usp.br

Carlito Calil Jr., Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. E-mail: calil@sc.usp.br

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 muitos defeitos, tornando-se imprescindível a realização da classificação para sua aplicação estrutural. Por outro lado, atualmente no Brasil não há procedimentos normatizados para a classificação de peças estruturais de madeira. Com a finalidade de contribuir com o processo de revisão da norma NBR7190/97, em andamento, este trabalho apresenta proposta para a classificação visual de madeira de *Pinus Sp*, baseada nas regras de classificação visual do Southern Pine Inspection Bureau (SPIB).

Palavras-chave: madeira, classificação visual, *Pinus*.

Abstract: The structural use of lumber from planted forests presents, in Brazil, a considerable potential for expansion, whereas the restrictions on the native forests are irreversible and the market turns, in wide scale, for the use of the reforestation lumber, standing out the lumber of *Pinus Sp* as one of the most promising species. However, as a result of the fast growth, the coming lumber of these species presents many defects, becoming indispensable the accomplishment of the grading for its structural application. On the other hand, now in Brazil there are not established procedures for the grading of structural lumber. With the purpose of contributing with the process of revision of the standard NBR7190/97, this work presents proposal for visual grading of lumber of *Pinus Sp*, based on the visual grading described in the rules of Southern Pine Inspection Bureau (SPIB).

Keywords: lumber, visual grading, *Pinus*.

1396245
081004

23 p.

SYSNO	1396245
PROD	0001488
ACERVO EESC	

1. Introdução

A norma brasileira NBR 7190-97 (Projeto de Estruturas de Madeira) não abrange os procedimentos de classificação estrutural, porém a qualidade da madeira é levada em conta no dimensionamento por meio do coeficiente parcial de modificação K_{mod3} . Assim, 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 disponíveis.

2. Classificação visual

A classificação visual teve início 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. A classificação visual é baseada na premissa de que as propriedades mecânicas de uma peça de madeira diferem das propriedades mecânicas da madeira isenta de defeitos devido às características de crescimento, e que tais características podem ser vistas e julgadas pelo olho humano.

2.1. Sistema Norte-americano de classificação visual

Nos Estados Unidos, toda a madeira de coníferas é produzida em conformidade com a norma PS20-99 (*American Softwood Lumber Standard*) que foi desenvolvida pelo *American Lumber Standard Committee* (ALSC) de acordo com as exigências do *U.S. Department of Commerce*.

A ALSC criou o *National Grading Rules Committee* (NGRC) como um corpo autônomo encarregado do estabelecimento e manutenção da nomenclatura e descrição das classes de madeira. O NGRC desenvolveu a *National Grading Rule* (NGR), uma regra nacional de classificação que uniformiza os procedimentos de classificação visual para as espécies de coníferas das dimensões de caibros e pranchas. De acordo com a *National Grading Rule* as agências responsáveis pela elaboração das regras de classificação visual da madeira de coníferas devem seguir os procedimentos da norma ASTM D245-93 (*Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber*) para elaboração de suas regras.

A norma ASTM D245-93 estabelece os critérios de como medir os defeitos e fornece meios para limitar os defeitos em função de uma razão de resistência. 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. Segundo MADSEN (1992), a quantidade de material classificado de acordo com as regras de classificação baseadas na norma ASTM D245-93 é estimada em 235.000.000 m³/ano com um valor de aproximadamente 10 bilhões de dólares.

As regras de classificação normalmente são escritas por uma associação de indústrias que representam uma área onde as espécies específicas são recolhidas. A associação de indústrias é freqüentemente fornecedora de um serviço de qualidade tal como a supervisão nas serrarias associadas do material classificado de acordo com as regras de classificação. As regras de classificação especificadas pela norma PS20-99 devem ser certificadas pela câmara de revisão da ALSC para a conformidade com esta norma. As agências Norte-americanas que escrevem e publicam livros com regras de classificação visual contendo descrições para a classificação são apresentadas na tab. 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)

De acordo com GALLIGAN & MCDONALD (2000), a *National Grading Rule* estabelece os nomes das classes estruturais (tab. 2) para caibros e pranchões, e também fornece uma combinação de métodos mecânicos e visuais para a classificação de peças destas dimensões. As exigências visuais para este tipo de madeira são desenvolvidas pelas respectivas agências, que escrevem regras de classificação para cada grupo de espécie em particular, baseando-se nos procedimentos da norma ASTM D245-93.

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

Assim, a madeira é classificada de acordo com a sua razão de resistência à flexão. 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 a 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, usando algumas considerações grosseiras.

Para as espécies *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Pinus echinata* e *Pinus palustris* denominadas de *Southern Pine* a agência responsável pela fiscalização e manutenção das regras de classificação visual é o *Southern Pine Inspection Bureau* (SPIB).

2.1.1. Classificação quanto ao uso

O efeito de determinadas características na resistência depende tanto da extensão dos defeitos, bem como da maneira como a peça de madeira é usada. Desta forma, uma classificação visual estrutural eficiente requer que as peças de madeira sejam classificadas em função de suas dimensões e também de seu uso. De acordo com a norma ASTM D245, as peças são classificadas quanto à dimensão e uso em:

- **Caibros e pranchas:** Peças de seção transversal retangular, com espessura variando de 38mm a 89mm e com largura maior ou igual a 89mm. Estas peças são classificadas principalmente para resistirem a esforços de flexão em relação aos eixos de maior e menor inércia.
- **Vigas e longarinas:** Peças de seção retangular com espessura igual a 114 mm e tendo altura igual ou superior a 165mm. Estas peças são classificadas para resistirem a esforço de flexão em relação ao eixo de menor inércia.
- **Postes e colunas:** Peças de seção retangular em que ambos os lados são maiores ou igual a 114 mm, sendo que o maior lado deve ser menos de 38 mm superior ao menor lado. Estas peças são classificadas para resistirem a esforços de compressão.
- **Tábuas:** Peças de seção retangular em que a espessura é menor que 38 mm, sendo que a largura é igual ou superior à 38mm, porém menor que 140 mm. Estas peças são classificadas para serem usadas tanto em aplicações não estruturais como para aplicações estruturais.

2.1.2. Critérios para limitação dos defeitos segundo a norma ASTM D245

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

Os princípios básicos da classificação estrutural, descritos na norma ASTM D245-93, foram estabelecidos para permitir a avaliação de qualquer peça em termos de uma razão de resistência para cada propriedade avaliada.

As razões de resistência associadas com nós em elementos fletidos foram derivadas da relação teórica entre a capacidade resistente de um elemento com seção transversal reduzida pelo maior nó para a capacidade resistente de um elemento sem defeitos.

A norma ASTM D245-93 fornece equações teóricas para a determinação da máxima dimensão permissível dos nós em cada classe, em função da razão de resistência a flexão estabelecida pela *National Grading Rule*. Observa-se entretanto que a dimensão admissível dos nós para cada classe é função da seção transversal das peças de madeira. Estas equações são reproduzidas no Anexo A desta proposta.

As razões de resistência relacionadas com fibras cruzadas foram obtidas experimentalmente. A norma ASTM D245-93 considera que as fendas e rachas reduzem somente a resistência ao cisalhamento devido à flexão da peça. As razões de resistência associadas às fendas são derivadas teoricamente, considerando a redução da seção transversal pelas fendas.

A resistência à compressão normal às fibras é pouco afetada pela redução das características de redução de resistência e considera-se uma razão de resistência de 100%.

A resistência à tração da madeira foi relacionada com a resistência à flexão e a razão de resistência para a tração foi determinada experimentalmente por DOYLE & MARKWARDT (1967).

2.1.3. Medida das características de crescimento

A seguir serão apresentados os critérios de medida das características de crescimento estabelecidos na norma ASTM D245-93.

2.1.3.1. Inclinação das fibras

A inclinação das fibras resultante de serragem diagonal, ou fibras espiral ou torcida na árvore é medida pelo ângulo de inclinação das fibras em relação à extremidade da peça. O ângulo é expresso como uma inclinação.

A inclinação das fibras é medida e limitada nas quatro faces por todo o comprimento de uma peça, e na zona que apresentar a maior inclinação geral, desconsiderando o pequeno desvio em torno dos nós. Os desvios localizados somente são considerados quando a peça tiver menos de 89mm de largura, ou altura inferior à 38mm (fig. 1).

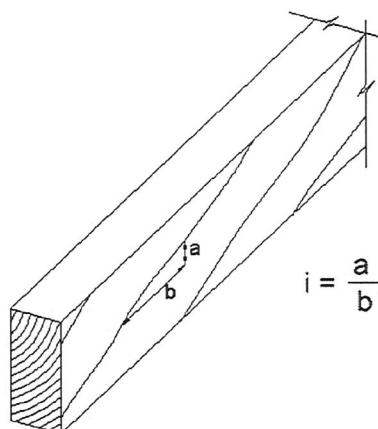


Figura 1 - Medida da inclinação das fibras de uma peça de madeira.

2.1.3.2. 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 (fig. 2).

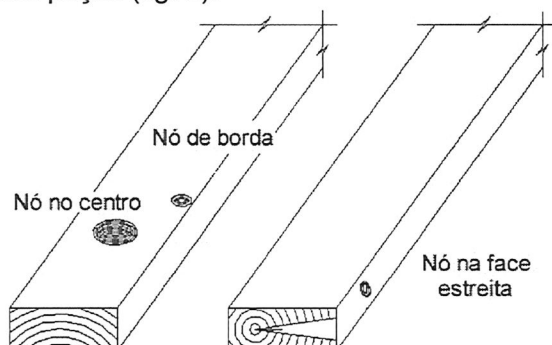


Figura 2 – Identificação dos nós em uma peça de madeira.

Um conjunto de nós é tratado como um nó individual. Observa-se, entretanto, que no caso de se ter dois ou mais nós próximos, mas com fibras inclinadas em torno de cada nó individualmente, não se deve considerar como um conjunto de nós (fig 3 e 4).

Os buracos associados com nós são medidos e limitados da mesma maneira que os nós.

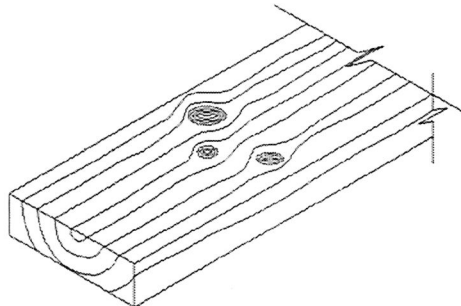


Figura 3 – Nós individuais.

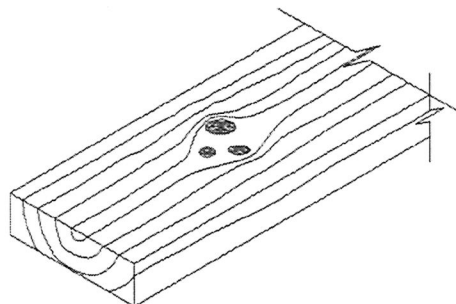


Figura 4 – Conjunto de nós.

Um nó na face larga de um elemento fletido ou tracionado é considerado como um nó de borda se a distância do centro do nó à borda for igual ou menor que $\frac{2}{3}$ do diâmetro do nó (fig. 5).

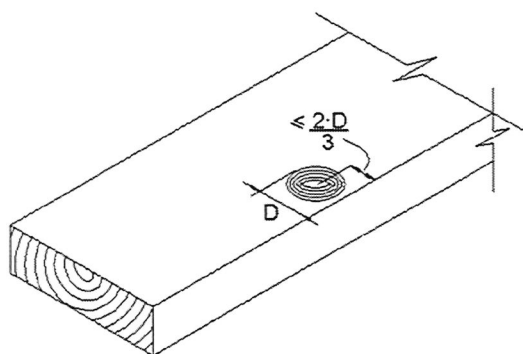


Figura 5 – Nó na borda de uma peça.

2.1.3.2.1. Nós em caibros e pranchas

Os nós podem ser medidos diretamente na superfície da peça, ou podem ser medidos pelo método da equivalência, em que a proporção da seção transversal do nó é multiplicada pela largura real da face em que ocorre para estabelecer o tamanho do nó equivalente.

De acordo com a norma ASTM D245-93, a dimensão de um nó localizado na face estreita é igual à distância entre as linhas paralelas às bordas da peça e que cercam o nó (fig. 6).

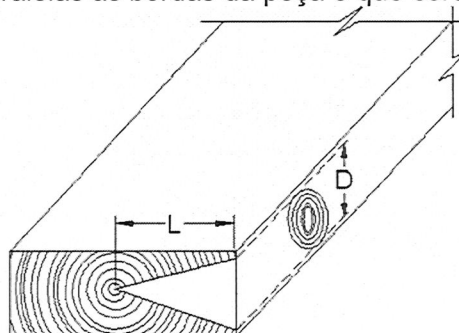


Figura 6 – Medida de um nó na face estreita.

Além do diâmetro dos nós na face estreita das peças, a regra de classificação visual do SPIB também limita a profundidade do nó, sendo esta profundidade medida pela posição da medula na peça.

Um nó na face estreita, que apareça também na face larga (não contendo a intersecção das duas faces), de uma peça que não contenha medula é medido e classificado na face larga, sendo o seu diâmetro igual a media da maior e da menor dimensão (fig. 7).

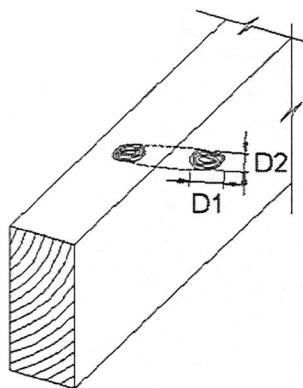


Figura 7 – Medida de um nó que aparece nas duas faces de uma peça sem medula.

A dimensão de um nó na face larga é expressa pela média da maior e da menor dimensão (fig. 8).

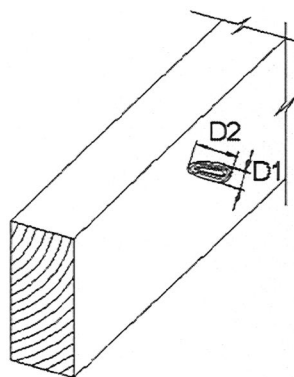


Figura 8 – Medida de um nó na face larga.

Qualquer nó que contenha a intersecção de duas faces em uma peça que não contenha medula, incluindo um nó que se estenda por toda a largura da face, é um nó de canto. Um nó de canto é medido pelas linhas paralelas às bordas da peça e é classificado em relação à face em que é medido (fig. 9).

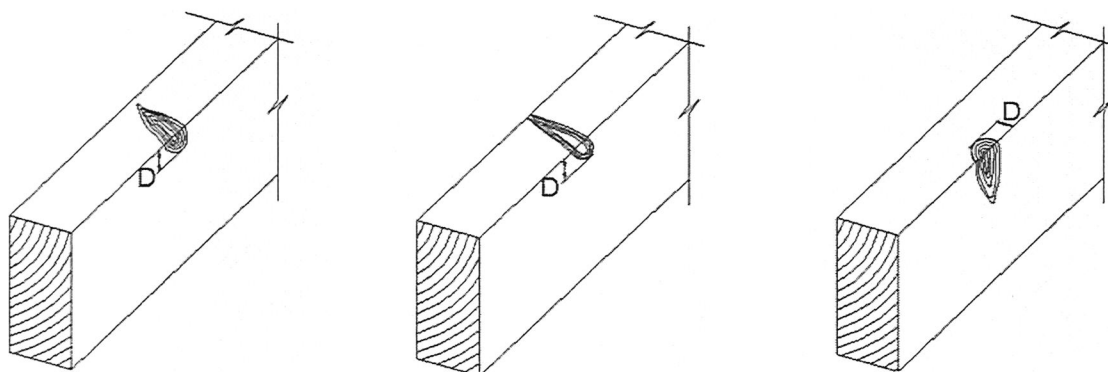


Figura 9 - Medida de um nó de canto em peça sem medula.

Um nó de canto em uma peça contendo medula é medido tanto por sua largura na face estreita entre as linhas paralelas às bordas, ou pelo seu menor diâmetro na face larga, utilizando-se o maior diâmetro (fig. 10).

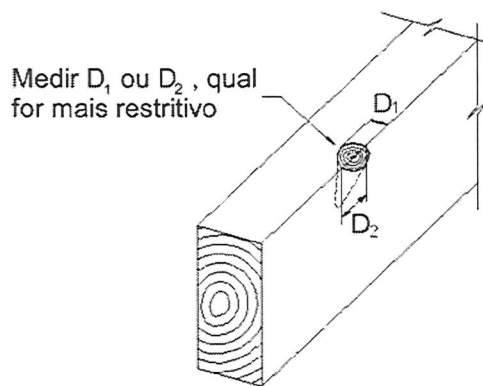


Figura 10 - Medida de um nó de canto em peça contendo medula.

A soma do diâmetro de todos os nós em qualquer 152mm de comprimento de uma peça não deve exceder duas vezes a dimensão do maior nó permissível para a classe. Dois ou mais nós do máximo, ou próximo ao máximo tamanho permitido não devem ser admitidos em qualquer 152mm de comprimento em uma face. Qualquer combinação de nós, que no julgamento do classificador torne a peça inadequada para o uso desejado não deve ser admitida.

Quando a peça de madeira é destinada para aplicações de flexão com um único vão, as dimensões dos nós na face estreita e na borda da face larga podem ser aumentadas gradativamente do tamanho máximo permitido no terço central para duas vezes esta dimensão nas extremidades das peças, mas a dimensão do nó não deve exceder o tamanho máximo permitido no centro da face larga. O tamanho do nó na face larga pode ser aumentado gradativamente do tamanho máximo permitido na borda do terço central da peça para duas vezes esta dimensão nas extremidades da peça. As regras de classificação visual do SPIB não consideram este incremento na dimensão do nó ao longo do comprimento das peças.

Quando a peça é destinada para aplicações de flexão em vãos contínuos, as restrições para os nós no terço central devem ser aplicadas para os dois terços laterais de seu comprimento.

2.1.3.2.2. Nós em vigas e longarinas

O tamanho de um nó na face estreita de uma viga ou longarina corresponde à largura entre as linhas que cercam o nó, sendo que estas linhas são paralelas às bordas da peça. Quando um nó na face estreita de uma peça sem medula se estende até 1/4 da largura da face larga, este nó é medido na face larga.

O tamanho de um nó na face larga é medido pelo seu menor diâmetro. Um nó na borda da face larga é limitado à mesma dimensão como um nó na face estreita (fig. 11).

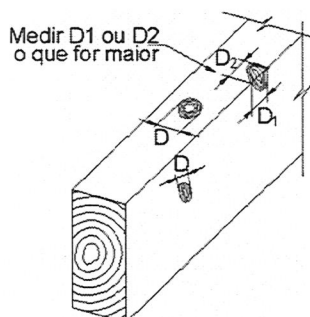


Figura 11 - Medida do diâmetro dos nós em uma viga.

Um nó de canto em uma viga ou longarina contendo medula pode ser medido por sua largura na face estreita entre as linhas paralelas as bordas ou por seu menor diâmetro na face larga, o que for maior, um nó de canto em uma peça sem a presença de medula é medido pelo menor destes dois.

A soma das dimensões de todos os nós contidos em metade do comprimento de uma face em uma viga com 6,10m (20ft) ou menos de comprimento, quando medido como especificado para a face em consideração, não deve exceder quatro vezes o tamanho do maior nó permitido nesta face. Esta restrição em uma viga com mais de 6,10m deve ser aplicada para qualquer 3,0m (10ft) de comprimento contido em metade do comprimento da peça.

Quando a peça de madeira se destina a aplicações de flexão em um único vão, as dimensões dos nós na face estreita e na borda da face larga podem ser incrementadas gradativamente, do tamanho máximo permitido no terço central do comprimento, para duas vezes este tamanho nas extremidades da peça, exceto que o tamanho deste nó não deve exceder o tamanho permitido no centro da face larga. O tamanho do nó na face larga pode ser incrementado proporcionalmente do tamanho permitido na borda para o tamanho permitido no centro.

Quando a peça é destinada para aplicações de flexão em vãos contínuos, as restrições para os nós no terço central devem ser aplicadas para os dois terços laterais de seu comprimento.

2.1.3.2.3. Nós em postes e colunas

O tamanho de um nó em qualquer face de um poste ou coluna é tomado como o diâmetro de um nó redondo, o menor dos dois diâmetros de um nó oval, ou o maior diâmetro perpendicular ao comprimento de um nó diagonal.

Um nó de canto é medido em todo o lugar que a medida representar o verdadeiro diâmetro do galho causador do nó (fig. 12).

A soma das dimensões de todos os nós em qualquer 152mm (6") de comprimento de um poste ou coluna não deve exceder duas vezes o tamanho do maior nó permitido. Dois ou mais nós do máximo tamanho, ou próximos ao máximo tamanho permitido não devem ser admitidos em 152mm de comprimento de uma face.

Em elementos comprimidos, com largura maior que a espessura, a dimensão dos nós em ambas as faces, larga e estreita, não deve ultrapassar a dimensão permitida na face larga.

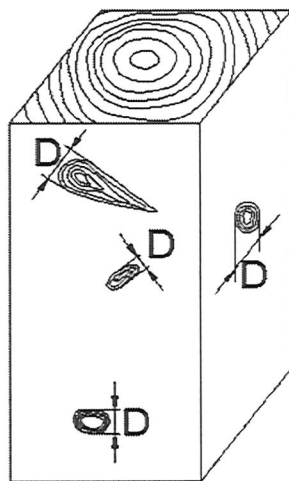


Figura 12 - Medida do diâmetro dos nós em uma coluna.

2.1.3.2.4. Nós em tábuas

Os nós nas tábuas são medidos pela média dos diâmetros nas duas faces opostas, sendo cada diâmetro tomado como a distância entre as linhas paralelas às bordas da tábua. Os nós não são medidos na face estreita, desde que eles apareçam também em uma ou ambas as faces largas (fig. 13).

A soma dos diâmetros dos nós em 152mm (6") de comprimento em qualquer posição das peças não deve exceder duas vezes o tamanho do maior nó permitido para a classe. Dois ou mais nós do máximo tamanho permitido não devem ser admitidos nos mesmos 152mm de comprimento em uma face.

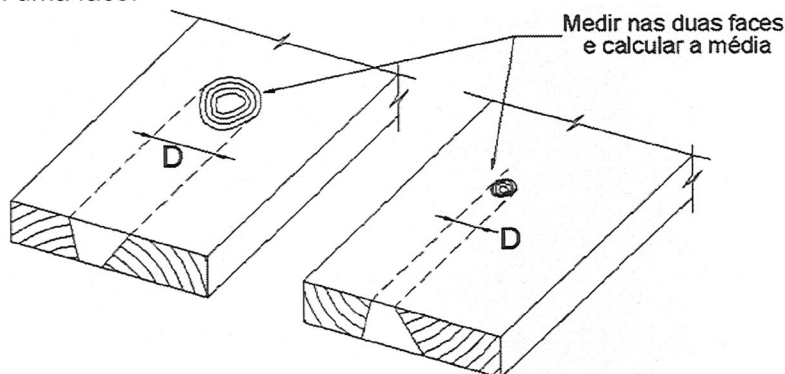


Figura 13 - Medida do diâmetro dos nós em tábuas.

Na América do Norte uma grande quantidade de *Southern Pine* é usada na construção para fins não estruturais, como revestimento de paredes ou como para assoalho. Assim estas peças são classificadas pela aparência, e sua resistência não é o fator de maior importância.

De acordo com o SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994), as classes de aparência e, portanto, não estruturais para as tábuas são: N°1, N°2, N°3, e N°4. Observando que as classes N°1, N°2 e N°3 não têm nenhuma relação com as classes definidas pela norma *National Grading Rule*, visto que esta norma uniformiza os procedimentos de classificação somente para caibros e pranchas.

As classes estruturais para as tábuas são a INDUSTRIAL 55, a INDUSTRIAL 45 e a INDUSTRIAL 26.

Ainda de acordo com o SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994) as peças da classe INDUSTRIAL 55 devem apresentar as mesmas características das peças da classe N°1 para caibros e pranchas, as peças da classe INDUSTRIAL 45 devem apresentar as mesmas características das peças da classe N°2 para caibros e pranchas e as peças da classe INDUSTRIAL 26 devem apresentar as mesmas características das peças da classe N°3 para caibros e pranchas.

2.1.3.3. Racha anelar e fenda

Observa-se na literatura uma discordância com relação à maneira de medir as rachas e as fendas.

De acordo com a norma ASTM D245-93 o tamanho de uma racha anelar é igual à profundidade da mesma na peça, sendo esta profundidade medida pelas linhas que cercam a racha e que paralelas às faces largas da peça. Se a racha atravessar a peça em espessura, o tamanho da racha é igual ao comprimento médio da racha medido paralelamente ao comprimento da peça (fig. 14).

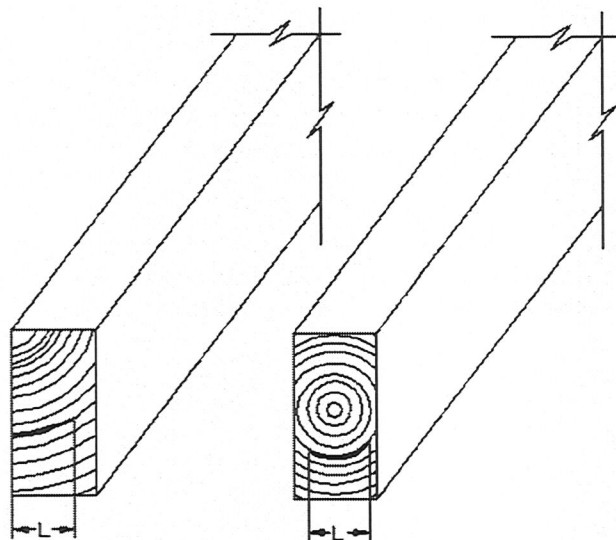


Figura 14 – Forma de medir uma racha conforme ASTM D245-93.

Para norma ASTM D245-93 a medida das fendas superficiais é dada pela profundidade média medida pelas linha que cercam a fenda e que são paralelas às faces largas da peça (fig. 15).

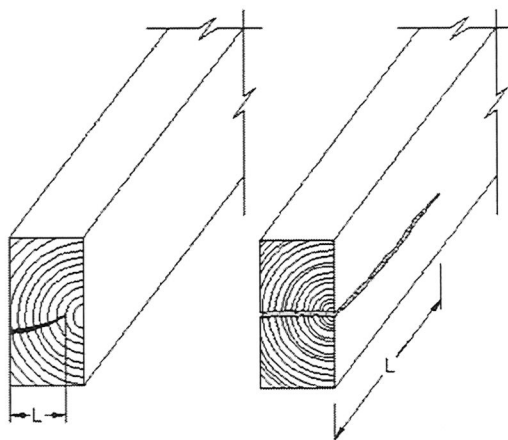


Figura 15 – Formas de medir uma fenda conforme ASTM D245-93.

O SPIB simplifica a forma de medir as rachas e as fendas uniformizando as medidas. Para o SPIB, o tamanho de uma racha anelar na extremidade de uma peça é igual à sua extensão medida paralelamente ao comprimento da peça (fig. 16).

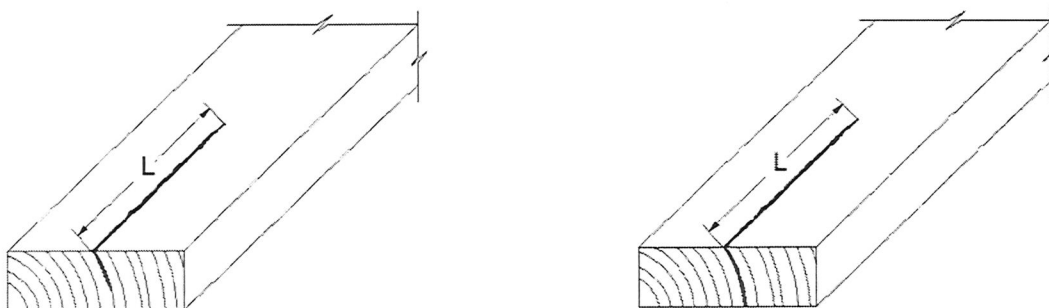


Figura 16 – Forma de medir uma racha.

O fendilhado na extremidade das peças não é limitado (fig. 19). As fendas que atravessam a peça em espessura são medidas e limitadas por sua extensão medida paralelamente ao comprimento da peça (fig. 18).

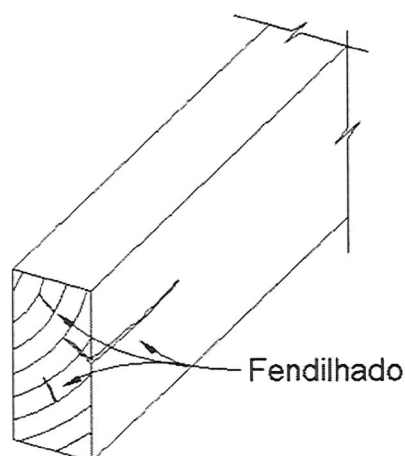


Figura 17 – Fenda superficial.

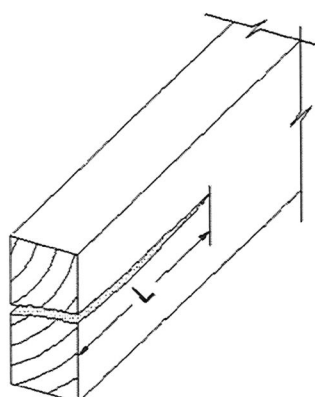


Figura 18 – Fenda que atravessa a peça em espessura.

O anexo A desta proposta traz as limitações no comprimento das rachas e fendas de acordo com as regras do SPIB.

Fora da zona crítica, em elementos fletidos, e em elementos carregados axialmente, as fendas e as rachas anelares têm pouco ou nenhum efeito nas propriedades de resistência e não são limitadas por esta razão. Pode ser aconselhável limitá-las em algumas aplicações por questão estética, ou para prevenir a penetração de umidade e subsequente apodrecimento.

2.1.3.4. Empenamento

O termo empenamento se refere à qualquer desvio na forma geométrica inicial de uma peça de madeira, incluindo encurvamento, encanoamento, arqueamento, e torcimento. Apesar da norma ASTM D-245 não apresentar critérios com relação à restrição do empenamento, as regras de classificação do SPIB apresentam limitações para os tipos de empenamento mais frequentes nas peças de madeira. Estas limitações são reproduzidas abaixo.

Encurvamento: É definido como um empenamento em relação ao eixo de menor inércia de uma peça de madeira (fig. 19).

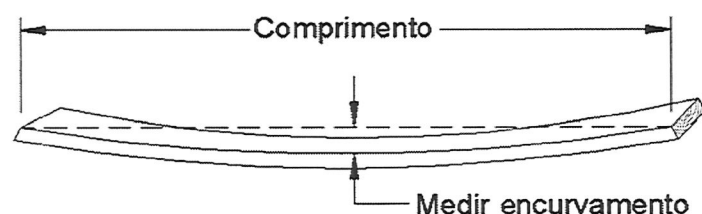


Figura 19 - Medida do encurvamento.

O encurvamento é medido no ponto de maior deslocamento em relação à linha reta que une as duas extremidades da peça.

De acordo com as regras de classificação visual do SPIB o encurvamento máximo permitido em uma classe é determinado da seguinte forma:

- Peças com espessura inferior a 38 mm: O encurvamento máximo permissível é igual a três vezes o arqueamento máximo para peças com largura de 38 mm.
- Peças com espessura maior ou igual a 38 mm e inferior a 64 mm: O encurvamento máximo permissível é igual a duas vezes o arqueamento máximo para peças com largura de 38 mm.
- Peças com espessura maior ou igual a 64 mm: O encurvamento máximo permissível é igual ao arqueamento máximo para peças com esta espessura.

Encanoamento: Empenamento de uma peça de madeira de forma que a seção transversal apresente um lado côncavo e outro convexo (fig. 20).

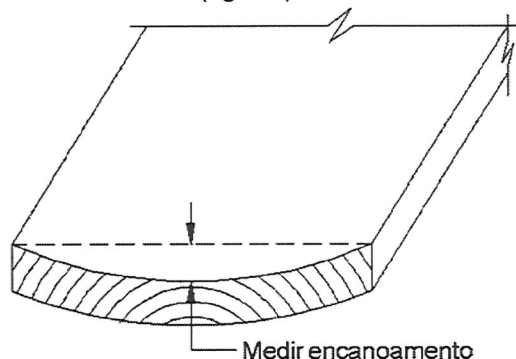


Figura 20 – Medida do encanoamento.

Arqueamento: É definido como um empenamento em relação ao eixo de maior inércia de uma peça de madeira. A fig. 15 mostra como o arqueamento é medido (fig. 21).

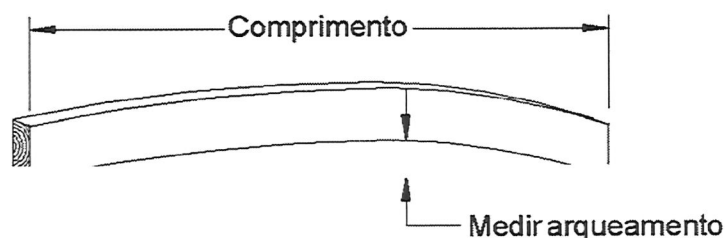


Figura 21 - Medida do arqueamento.

Torcimento: É definido como uma combinação de empenamentos em relação aos eixos de maior e de menor inércia da peça de madeira em forma espiralada (fig. 22).

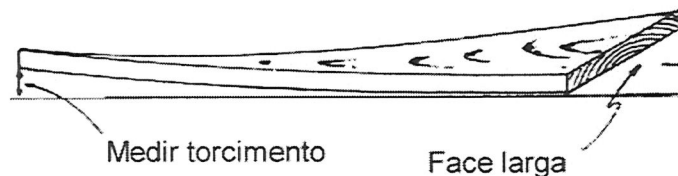


Figura 22 – Medida do torcimento.
Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994).

2.1.4. Classes de densidade

Além da classificação com relação a defeitos, a norma ASTM D245-93 também estabelece classes de densidade para a madeira, em função da taxa de crescimento da madeira serrada. O termo taxa de crescimento se refere à quantidade de anéis de crescimento presentes em 2,5cm (1"), medida 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 como 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 (fig. 23 e 24).

As classes de densidade definidas pela ASTM D245-93 são apresentadas na tab. 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	
Leve	< 4	

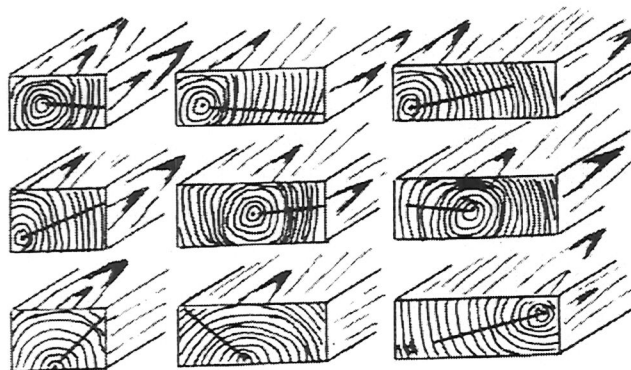


Figura 23- Linha radial representativa em peça contendo medula.

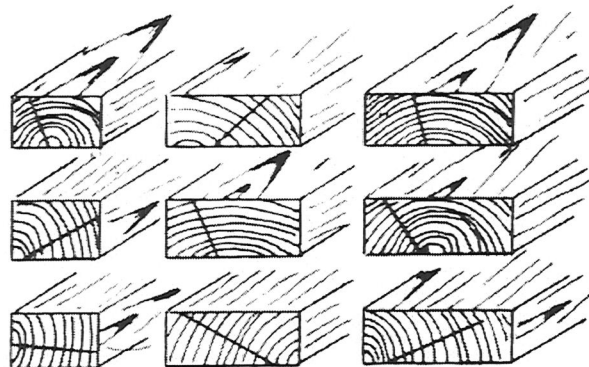


Figura 24 - Linha radial representativa em peça sem medula.

2.2. Determinação das propriedades mecânicas

Atualmente, na América do Norte, a determinação das propriedades de resistência e rigidez para a madeira de coníferas visualmente classificada é baseada em testes com elementos de dimensões estruturais. Para isso em 1978, um grande projeto de pesquisa intitulado "*In-Grade Test Program*" foi empreendido juntamente entre a indústria madeireira e o *U.S. Forest Products Laboratory* (FPL). O propósito do programa "*In-Grade*" foi o teste de peças de madeira de dimensões estruturais visualmente classificadas.

Aproximadamente 73000 vigas de dimensões estruturais foram testadas à flexão, tração e compressão paralela às fibras. Para auxiliar os testes com elementos de dimensões estruturais, duas normas ASTM foram escritas: ASTM D1990-97 (*Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually Graded Dimension Lumber From In-Grade Test of Full-Size Specimens*) e a ASTM D4761-96 (*Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material*).

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 programa de testes "*In-Grade*" foi um dos maiores programas de teste em um único material; pranchas de madeira. Devido ao fato das peças de madeira serem retiradas diretamente da produção das serrarias, e serem testadas nas suas reais classes, dimensões e espécies, este projeto ficou conhecido como programa "*In-Grade*". O programa "*In-Grade*" foi desenvolvido pelo *Forest Products Laboratory* em cooperação com a indústria madeireira, faculdades e muitas universidades. Os objetivos deste programa foram:

- Determinar as propriedades mecânicas para pranchas de madeira visualmente classificadas de 38 mm de espessura
- Desenvolver modelos analíticos para estimar o desempenho de estruturas leves de madeira.

Os valores de resistência para cada classe visual são determinados por meio de uma análise estatística dos resultados dos testes.

Conforme GREEN & EVANS (1987), o programa "*In-Grade*" foi composto por quatro partes principais: procedimentos de amostragem, determinação das características físicas e mecânicas, ajuste dos dados, e análise estatística.

2.3. Critérios para a Limitação dos defeitos

2.3.1. Inclinação das fibras

A tab. 4, extraída da norma ASTM D245-93, fornece as razões de resistência para as várias inclinações de fibras.

Tabela 4- Razão de resistência associada com a inclinação das fibras

Inclinação das fibras	Razão de resistência máxima, %	
	Flexão ou tração paralela às fibras	Compressão paralela às fibras
1:6	40	56
1:8	53	66
1:10	61	74
1:12	69	82
1:14	74	87
1:15	76	100
1:16	80	"
1:18	85	"
1:20	100	"

Fonte: ASTM D245-93

Considerando as razões de resistência dadas na *National Grading Rule* para cada classe chega-se a tab. 5, com a máxima inclinação permitida para as fibras em cada classe.

Tabela 5 - Máxima inclinação das fibras em cada classe.

Classe	Inclinação das fibras
SS ^a	1:12
Nº 1	1:10
Nº 2	1:8
Nº 3	1:4

^aSS - Select Structural

2.3.2. Nós

As seguintes equações retiradas da norma ASTM D245-93 limitam a dimensão dos nós em função da razão de resistência à flexão dada pela *National Grading Rule*.

Sendo:

b = largura da face estreita, cm;

h = largura da face larga, cm;

k = dimensão do nó, cm;

w = comprimento da fissura na face estreita, cm;

l = comprimento da fissura na face larga, cm;

SR = razão de resistência, %.

2.3.1.1. Nó na face estreita.

Limitações

Equação

$$SR \geq 45\% ; b \geq 152 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{\sqrt{6 \cdot (b + 1,27)}} \right] \quad (1)$$

$$SR \geq 45\% ; b < 152 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{b + 0,953} \right] \quad (2)$$

$$SR < 45\% \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{b} \right] \quad (3)$$

2.3.1.2. Nó no centro da face larga.

Limitações

Equação

$$SR \geq 45\% ; \\ 152 \text{ mm} \leq h \leq 305 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{h + 1,27} \right] \quad (4)$$

$$h < 152 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{h + 0,953} \right] \quad (5)$$

$$h > 152 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{\sqrt{12 \cdot (h + 1,27)}} \right] \quad (6)$$

$SR < 45\% ;$

$$h \leq 305 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{h} \right] \quad (7)$$

$$h > 305 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{\sqrt{12 \cdot h}} \right] \quad (8)$$

2.3.1.3. Nó na borda da face larga.

Limitações

Equação

$SR \geq 45\% ;$

$$152 \text{ mm} \leq h \leq 305 \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{h + 1,27} \right]^2 \quad (9)$$

$$h < 152 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{h + 0,953} \right]^2 \quad (10)$$

$$h > 305 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{\sqrt{12 \cdot (h + 1,27)}} \right]^2 \quad (11)$$

SR < 45% ;

$$h \leq 305 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{h} \right]^2 \quad (12)$$

$$h > 305 \text{ mm} \quad SR = 100 \cdot \left[1 - \frac{k - 0,106}{\sqrt{12 \cdot h}} \right]^2 \quad (13)$$

2.3.3. Fendas e Rachas

A tab. 6 apresenta as limitações no comprimento das rachas e fendas.

Tabela 6 - Limitações para rachas e fendas.

Defeitos	Tipo	Select Structural	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Racha	atravessa a peça em espessura	igual à fenda	igual à fenda	igual à fenda	igual à fenda
	superficial	até 60 cm	até 60 cm	90cm ou 1/4 do comprimento, o que for maior	sem limitações
Fenda		1 vez largura	1 vez largura	1,5 vez a largura da peça	1/6 do comprimento da peça
Fendilhado		Sem limites			

2.3.4. Empenamento

2.3.4.1. Encurvamento

A tab. 7 apresenta o encurvamento máximo permissível para peças com espessura de 38 mm.

Tabela 7 – Encurvamento permissível para peças com espessura de 38 mm.

Comprimento (m)	Encurvamento permissível em cada classe (mm)			
	SS	Nº 1	Nº 2	Nº 3
1.8	-	10	13	19
2.4	-	13	19	25
3.1	-	35	38	70
3.7	-	38	50	76
4.3	-	50	63	102
4.9	-	63	83	127
5.5	-	76	102	152
6.1	-	86	114	171

Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994).

2.3.4.2. Encanoamento

A tab. 8 apresenta o encanoamento máximo permissível em cada classe.

Tabela 8 – Encanoamento máximo admitido em cada classe.

Face larga (mm)	Encurvamento permissível em cada classe (mm)		
	Nº 1	Nº 2	Nº 3
38 e 64	-	-	-
89	-	-	16
114 e 140	16	16	32
184	24	32	48
235	32	48	64
286	48	64	95

Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994).

2.3.4.3. Arqueamento

A tab. 9 apresenta as limitações no arqueamento para cada classe.

Tabela 9 - Arqueamento permissível em cada classe.

Comprimento (m)	Classe	Arqueamento permissível em cada classe (mm)					
		38 x 64	38 x 89	38 x 140	38 x 184	38 x 235	38 x 286
1.8	Nº 1	5	5	3	2	2	2
	Nº 2	6	6	5	3	2	2
	Nº 3	10	10	6	5	3	3
2.4	Nº 1	6	6	6	5	3	2
	Nº 2	10	10	8	6	5	3
	Nº 3	13	13	13	10	6	5
3.1	Nº 1	13	10	8	6	6	5
	Nº 2	16	13	11	10	6	5
	Nº 3	25	19	16	13	11	10
3.7	Nº 1	14	13	11	10	10	3
	Nº 2	19	16	16	13	11	4
	Nº 3	29	25	22	21	19	6
4.3	Nº 1	19	16	14	13	11	10
	Nº 2	25	22	19	16	13	10
	Nº 3	38	32	29	25	22	19
4.9	Nº 1	24	19	17	14	13	11
	Nº 2	32	25	22	19	16	13
	Nº 3	48	38	35	29	25	22
5.5	Nº 1	26	21	19	16	14	13
	Nº 2	35	29	25	22	19	16
	Nº 3	52	41	38	32	29	25
6.1	Nº 1	29	26	24	19	17	14
	Nº 2	38	35	32	25	22	19
	Nº 3	57	52	48	38	33	29

2.3.4.4. Torcimento

A tab. 10 mostra os valores máximos permissíveis para o torcimento em cada classe.

Tabela 10 – Torcimento permissível em cada classe

Comprimento (m)	Classe	Torcimento permissível em cada classe (mm)					
		38 x 64	38 x 89	38 x 140	38 x 184	38 x 235	38 x 286
1.8	Nº 1	6	6	10	14	17	21
	Nº 2	10	10	13	19	22	29
	Nº 3	13	13	19	29	35	41
2.4	Nº 1	10	10	14	19	24	29
	Nº 2	13	13	19	25	32	38
	Nº 3	19	19	29	38	48	57
3.1	Nº 1	11	11	18	24	30	35
	Nº 2	16	16	22	32	38	48
	Nº 3	22	22	35	48	60	70
3.7	Nº 1	14	14	21	29	35	43
	Nº 2	19	19	29	38	48	57
	Nº 3	29	29	41	57	70	86
4.3	Nº 1	16	16	24	33	41	49
	Nº 2	22	22	32	44	54	67
	Nº 3	32	32	48	67	89	98
4.9	Nº 1	19	19	29	38	48	57
	Nº 2	25	25	38	51	64	76
	Nº 3	38	38	57	76	95	114
5.5	Nº 1	21	21	32	43	54	64
	Nº 2	29	29	41	57	70	86
	Nº 3	41	41	64	86	108	127
6.1	Nº 1	24	24	35	48	33	46
	Nº 2	32	32	48	64	79	95
	Nº 3	48	48	70	95	117	143

3. Exemplo de regras de classificação visual para madeira de coníferas

Com base nas equações para a limitação dos nós e nas razões de resistência à flexão associada a cada classe pode-se determinar a máxima dimensão admissível para os nós em função das dimensões das peças de madeira, conforme mostrado na tab. 11.

Tabela 11 – Máximas dimensões admissíveis para os nós.

Características		Select Structural						Nº 1				Nº 2				Nº 3			
Inclinação de fibras		1:12						1:10				1:8				1:4			
Seção transversal	b (cm)	h (cm)	Borda da face larga	Centro da face larga	Face estreita		Borda da face larga	Centro da face larga	Face estreita		Borda da face larga	Centro da face larga	Face estreita		Borda da face larga	Centro da face larga	Face estreita		L (cm)
					D (cm)	L (cm)			D (cm)	L (cm)			D (cm)	L (cm)			D (cm)	L (cm)	
Nós	2.54	7.5	2	3	1	6	2	4	2	6	3	5	2	6	4	6	2	6	= largura
		10.0	2	4		8	3	5		7	4	6		7	4	8		8	
		12.5	3	5		10	4	6		9	5	8		9	5	9		10	
		15.2	3	6		12	4	8		11	6	9		11	6	11		13	
	3.2	20.0	4	8	2	16	6	10	2	15	7	12	2	17	10	15	3	15	
		7.5	2	3		6	2	4		6	3	5		6	3	6		7	
		10.0	2	4		8	3	5		8	4	6		8	4	8		9	
		12.5	3	5		10	4	6		10	5	8		10	5	9		11	
	3.5	15.2	3	6		12	4	8	2	12	6	9	2	12	6	11	3	13	
		20.0	4	8		16	6	10		16	7	12		16	7	15		18	
		12.5	3	5		10	4	6		10	5	8		10	5	9		11	
		18.0	4	7		15	5	9		15	6	11		15	6	13		16	
	3.8	7.5	2	3	2	6	2	4	2	3	3	5	2	3	3	6	3	7	
		10.0	2	4		8	3	5		4	4	6		4	4	8		9	
		12.5	3	5		11	4	6		5	5	8		5	5	9		12	
		15.2	3	6		13	4	8		6	6	9		6	6	11		14	
	4.0	20.0	4	8	2	17	6	10	2	8	7	12	2	8	7	15	3	19	
		8.0	2	3		7	2	4		7	3	5		7	3	6		8	
	4.5	12.0	3	5	2	11	4	6	3	5	4	7	3	5	4	9	3	11	
		14.5	3	6		13	4	7		6	5	9		6	5	11		14	
	4.8	15.0	3	6	2	14	4	7	3	13	5	9	3	13	5	11	3	14	4

Observando-se a tabela acima, pode-se observar que a proporção da seção transversal ocupada pelos nós é praticamente constante dentro das classes. Esta constatação traz simplificações no sistema de classificação visual permitindo assim que os defeitos sejam limitados em função da proporção da área da seção transversal ocupada na peça. Desta forma temos (tab. 12):

Tabela 12 – Simplificação no sistema de classificação visual.

Características		Select Structural	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Inclinação de fibras		1:12	1:10	1:8	1:4
Nós	Borda da face larga	20%	25%	30%	50%
	Centro da face larga	40%	50%	60%	75%
	Face estreita	20%	25%	30%	50%

4. Comentários

Diante do exposto acima sugere-se como anexo para o novo texto normativo a inclusão de critérios para a classificação visual de coníferas baseando-se nos procedimentos descritos na norma ASTM D245. A limitação dos defeitos, em particular os nós, poderia ser realizada em função da proporção da seção transversal ocupada pelo mesmo.

Seria interessante que a determinação das propriedades mecânicas para peças de madeira visualmente classificada fosse realizada com base em testes de flexão, tração e compressão em peças de dimensões estruturais de cada classe (SS, Nº1, Nº2 e Nº3). Entretanto, sabe-se que muitos laboratórios e universidades não dispõem de equipamentos com capacidade de carga e rigidez para tal tipo de teste. Além disso não há ainda no Brasil procedimentos normatizados para teste de elementos estruturais de dimensões estruturais.

A introdução desta nova filosofia no texto normativo poderia ser feita de forma gradativa. Assim numa primeira etapa o coeficiente k_{mod3} poderia levar em conta a classe da madeira e assumiria 4 valores distintos para as 4 classes. Posteriormente numa segunda revisão do texto normativo seriam formuladas normas para o teste de elementos de dimensões estruturais e indicaria-se o teste de tais elementos para a determinação de suas propriedades de resistência e rigidez.

5. Bibliografia citada

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). *NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro.

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

American Society of Testing and Materials (1993). *ASTM D245-93 - Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber*.

American Society of Testing and Materials (1997). *ASTM D1990-97 - Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually Graded Dimension Lumber From In-Grade Test of Full-Size Specimens*.

American Society of Testing and Materials (1996). *ASTM D4761-96 - Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material*.

Carreira, M. R. (2002). *Critérios para classificação visual estrutural de peças de pinus spp.* Monografia de qualificação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

Doyle, D.V. ; Markwardt, L. J. (1967). *Tension Parallel-to-Grain Properties of Southern Pine Dimension Lumber*. Research Paper FLP 84, Forest Products Laboratory.

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. ; Evans, J. W. (1987). *Mechanical Properties of Visually Graded Lumber: Volume1, A Summary*. U.S Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.

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

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.