

## **INFLUÊNCIA DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE DEFEITOS NA RIGIDEZ DE LÂMINAS DE *CRYPTOMERIA JAPONICA* E *CUPRESSUS LUSITANICA* PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA**

## **INFLUENCE OF VISUAL CLASSIFICATION OF DEFECTS IN RIGIDITY IN BLADES OF *CRYPTOMERIA JAPONICA* AND *CUPRESSUS LUSITANICA* FOR GLUED LAMINATED TIMBER**

**Cleide B. Bourscheid** <sup>(1)</sup> (A), **Talitha O. Rosa** <sup>(1)</sup>, **Ângela M. Stüpp** <sup>(1)</sup>, **Helena C. Vieira** <sup>(1)</sup>, **Rodrigo F. Terezo** <sup>(2)</sup>, **Alexsandro B. da Cunha** <sup>(2)</sup>

(1) Eng<sup>a</sup> Florestal, Mestranda, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Brasil

(2) Prof. Dr., Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Brasil

Endereço de contato: rosa.talitha@gmail.com; (A) Apresentador

**Código de identificação: T4-12**

### **Resumo**

Na produção da madeira laminada colada (MLC) geralmente utilizam-se lâminas isentas de defeitos. Contudo, necessita-se compreender o quanto os defeitos podem influenciar na rigidez das lâminas conforme os atuais sistemas de classificação de nós. Um dos métodos de otimização da resistência da MLC é a utilização da classificação das lâminas pela rigidez (Módulo de elasticidade - MOE). Considerando a influência do MOE na composição da MLC, o presente trabalho visou avaliar a rigidez das lâminas de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* em relação às suas classes de defeitos por nós, conforme Anexo G do projeto de revisão da norma NBR 7190 (2006). Foram avaliadas 112 peças de *C. japonica* (1,5x6x222cm) e 154 peças de *C. lusitanica* (1,6x7x190cm). A classificação foi realizada pelo ensaio de flexão a três pontos, com as lâminas posicionadas no sentido de menor inércia. O deslocamento foi lido manualmente com o auxílio de régua graduada posicionada no ponto central do vão. Os resultados de rigidez foram submetidos ao teste de Grubbs, normalidade, homogeneidade e Tukey com 5% de significância. A *C. japonica* não apresentou diferenças entre as classes, indicando que a classificação dos nós não influenciou na rigidez das lâminas. Para o *C. lusitanica* houve diferença significativa, indicando que as classes S3 e não estrutural possuem menor rigidez em relação às classes SE, S1 e S2. Conclui-se que novos estudos devem ser realizados a fim de avaliar a influência dos defeitos na rigidez em lâminas para MLC.

**Palavras chave:** módulo de elasticidade; testes não destrutivos; coníferas

### **Abstract**

*The production of glued laminated timber (GLULAM) generally use blades free of defects. However, it is necessary to understand how defects can influence the stiffness of the blades according to current knots classification systems. One the method of optimization the resistance in GLULAM is to use the classification by the stiffness (Modulus of elasticity - MOE). Considering the influence of MOE on the composition of the GLULAM, the present research aims to evaluate the stiffness in blades of *Cryptomeria japonica* and *Cupressus lusitanica* in relation to their classes of defects by knots according to Annex G of the draft revision of the NBR 7190 (2006). Were evaluated 112 blades of *C. japonica* (6x1,5x222cm) and 154 blades of *C. lusitanica* (7x1,6x190cm). The classification was performed by the three point bending test, with the blades positioned in the direction of lower inertia. The deformation was read manually with graduated ruler positioned at the center point of the span. The results were submitted to the Grubbs test, normality, homogeneity and Tukey with 5% significance. *C. japonica* showed no differences between the classes, indicating that the classification did not influence the stiffness of the blades. For *C. lusitanica* there was a significant difference, indicating that the S3 and non-structural classes had lower stiffness in relation to the classes SE, S1 and S2. It is concluded that further studies should be carried out in order to evaluate the influence of the defects in the rigidity in slides for GLULAM.*

**Keywords:** modulus of elasticity; non-destructive testing; conifers

## 1. INTRODUÇÃO

A Madeira Laminada Colada (MLC) é um compósito de madeira usado em construções pelo mundo inteiro. Sua produção iniciou na Europa, como resultado da baixa oferta madeireira de grande porte para uso em obras com grandes envergaduras.

As atuais pesquisas visam melhorar a qualidade e a variabilidade do produto MLC no Brasil, tais como [1]), que avaliaram a resistência da MLC de cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.), [2], que determinaram o potencial do paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HERB.) para a produção de MLC,[3], que estudaram a resistência da MLC ao cisalhamento e à delaminação em diferentes espécies e[4], que pesquisaram a rigidez da madeira de *Pinus taeda* utilizada para a produção de MLC com *Stress Wave Timer*.

Um dos métodos para melhorar o desempenho da MLC na indústria é a classificação da rigidez das peças utilizadas no elemento. [5] afirmam que as lâminas de maior rigidez devem ser posicionadas nas zonas de maior solicitação aos esforços de tração e compressão, e as de menor rigidez nas zonas centrais, aumentando assim, a resistência da MLC.

A classificação visual também é preconizada por normas para determinar quais peças podem ter uso estrutural, sendo que a avaliação consiste na inspeção da superfície das 6 faces (bordas, laterais e extremidades) de cada peça [6]. A Associação Brasileira de Normas Técnicas, no documento denominado “Projeto de Estruturas de Madeira” [7], prevê em sua revisão no Anexo G, a classificação visual de madeira serrada de coníferas. A revisão determina quatro classes de qualidade visual de acordo com a proporção que o nó ocupa em relação à área da seção transversal da peça: Estrutural Especial (SE), Estrutural nº 1 (S1), Estrutural nº 2 (S2) e Estrutural nº 3 (S3).

Os defeitos influenciam diretamente na resistência das peças, sendo que quanto mais defeitos, menor a resistência ([8]; [9]). [10] afirma que o nó é o defeito mais comumente encontrado em madeira de coníferas, tornando-se um importante parâmetro para a classificação visual.

Deste modo, neste trabalho objetivou-se avaliar a rigidez das lâminas de *Cryptomeria japonica* e de *Cupressus lusitanica* em relação às suas classes de defeitos por nós, conforme Anexo G do projeto de revisão da norma [11].

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As árvores de *C. japonica* foram fornecidas pela empresa Florestal Gateados Ltda. O povoamento estava localizado no Município de São José do Cerrito SC (Brasil), com altitude média de 879 metros, latitude de 27° 39' 39,47" S e longitude 50° 34' 39,48" W. O clima é tipo Cfb segundo a classificação de Köppen e a precipitação média é 1300mm/ano.

Do povoamento foram selecionadas aleatoriamente 30 indivíduos com 13 anos de idade. Após o seccionamento das árvores em toras com comprimento médio de 2,20 m e diâmetro médio de 23,5 cm, foram confeccionadas 104 lâminas com dimensões médias de 1,5 x 6 x 220 cm para a classificação visual e de rigidez.

A madeira de *C. lusitanica* utilizada foi proveniente de um plantio experimental com aproximadamente 72 ha também pertencente à referida empresa. O povoamento está sediado no Município de Campo Belo do Sul, mesorregião serrana de Santa Catarina. O município possui latitude de 27°53'57" S e longitude de 50°45'39" W, altitude de 1017 m, a classificação do clima é Cfb de acordo com a Köppen, definido como mesotérmico úmido com temperatura média anual de 15°C e temperatura mínima média anual de 10 a 12°C [12].

O corte das árvores para os ensaios foi realizado no ano de 2013. Foram utilizadas 8 árvores de 19 anos com altura total média de 19,7 m e diâmetro à altura do peito (DAP) variando entre 20 cm a 37 cm. Após o seccionamento das árvores em toras com comprimento médio de 2,20 m e diâmetro médio de 23,5 cm, foram confeccionadas 154 lâminas com dimensões médias de 1,5 cm x 7 cm x 190 cm para a classificação visual e de rigidez.

Para o cálculo da inércia as lâminas foram medidas na largura e na espessura, em três posições (centro e laterais da peça à 10 cm da extremidade) com o auxílio do paquímetro, e o comprimento total com uma trena.

Na avaliação das classes visuais das lâminas foram medidos os nós nas faces radial e tangencial, e classificados conforme a proposta da Norma Brasileira NBR 7190/97 Anexo G: classificação visual de madeira serrada de coníferas, que preconiza classes SE, S1, S2 e S3. As lâminas que não apresentaram nós foram definidas como limpas e as que não atingiram o pressuposto pela norma foram consideradas não estruturais.

Posteriormente, foi realizado o ensaio não destrutivo de flexão a 3 pontos para obtenção do Módulo de Elasticidade (MOE). As lâminas foram posicionadas no sentido de menor inércia e bi-apoiadas. Para a *C. japonica* foi aplicado um peso de 2 kgf em um vão de 1,90 m e para as lâminas de *C. lusitanica* foi aplicado peso de 3 kgf em um vão de 1,80 m. A leitura do deslocamento foi feita com o auxílio de régua graduada posicionada no centro do vão (Figura 1).

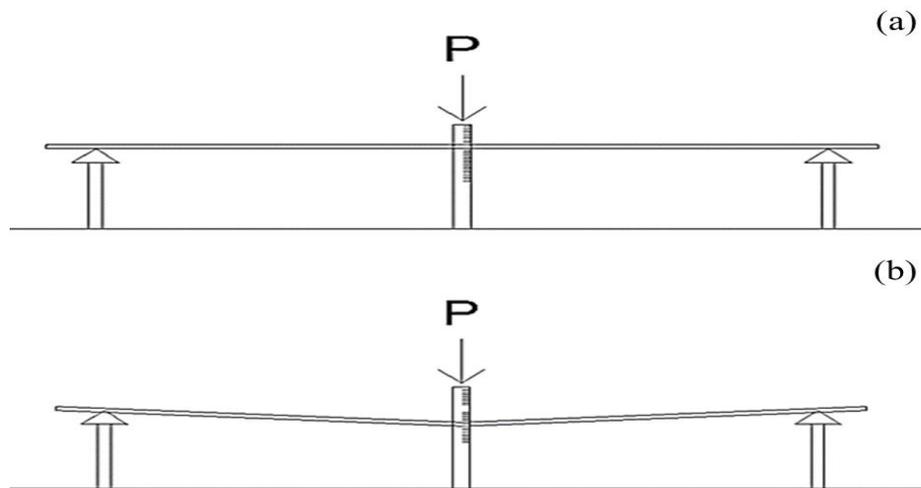


Figura 1: Metodologia para mensurar a deformação das lâminas de *C. japonica* e *C. lusitanica*. Leitura na posição inicial da lâmina sem a aplicação do peso (a) e a leitura da deformação após aplicação do peso (b).

O deslocamento foi obtido pela diferença entre a leitura inicial e a final. As leituras foram realizadas em ambos os lados da peça, obtendo-se o deslocamento médio, já que este não será necessariamente o mesmo nos dois lados da peça. Com o deslocamento médio de cada lâmina foi calculado o Módulo de Elasticidade utilizando a Equação 1:

$$E_{MPa} = \frac{P_{kgf} \cdot L_{cm}^3}{48 \cdot D_{cm} \cdot I_{cm^4}} * 0,098066 \quad (1)$$

Em que:

$E_{MPa}$  = Módulo de Elasticidade em MPa;

$P_{kgf}$  = Peso aplicado no centro do vão em kgf;

$L_{cm}^3$  = distância entre apoios em cm;

$D_{cm}$  = deslocamento médio da peça em cm;

$I_{cm^4}$  = inércia da peça em  $cm^4$ .

Foram realizados os testes de Grubbs para detecção de outliers, normalidade por Kolmogorov-Smirnov e homogeneidade utilizando Bartlett. Após, procedeu-se a comparação de médias por Scott-Knott com 95% de confiabilidade para determinar se houve diferença significativa entre os módulos de elasticidade calculados para as diferentes classes visuais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exemplificação da classificação visual em peças de *C. japonica* e *C. lusitanica* é mostrada na Figura 2. Nota-se que a quantidade de nós aumenta gradativamente conforme a peça é rebaixada nas classes.



Figura 2: Peças de *C. japonica* (a) e *C. lusitanica* (b) e as respectivas classes visuais.

A frequência de lâminas na classe limpa e em cada uma das classes propostas pela NBR 7190-1997 para a *C. japonica* e *C. lusitanica* está apresentada na Tabela 1. Nota-se que das 104 lâminas iniciais de *C. japonica*, 7 foram excluídas por serem valores espúrios. Não houve lâminas classificadas como não estruturais (NE), e 36,08% não apresentaram nós, sendo então classificadas como limpas.

Tabela 1: Número de lâminas por classe visual de *C. japonica* e *C. lusitanica*.

Espécie		L	SE	S1	S2	S3	NS
<i>Cryptomeria japonica</i>	Nº	35	28	7	8	19	0
	%	36,08	28,87	7,22	8,24	19,59	0
<i>Cupressus lusitanica</i>	Nº	0	13	5	21	59	56
	%	0	8,44	3,25	13,64	38,31	36,36

Legenda: L – Limpas; SE – Estrutural especial; S1 – Estrutural 1; S2 – Estrutural 2; S3 – Estrutural 3; NS – Não Estrutural; Nº - Número de lâminas por classe e % - porcentagem de lâminas por classe.

Já para a *C. lusitanica* nota-se que das 154 lâminas, 56 foram classificadas como NE por ultrapassarem os coeficientes limitantes da classe S3, totalizando 36,36% do total amostrado. Não houve lâminas classificadas como limpas.

[13], ao classificarem visualmente lâminas de *Pinus sp.* utilizando a norma Americana, encontram resultados superiores com aproximadamente 54% das lâminas classificadas como limpas. A diferença entre os resultados pode ser explicada pela grande variabilidade da madeira de espécies de coníferas, e não deve ser entendida como motivo para a inviabilização do uso da madeira como material estrutural [14].

As diferenças entre médias dos Módulos de Elasticidade por classe estão apresentadas na Tabela 2. Evidencia-se que não houve diferença significativa entre os MOE das classes visuais avaliadas para a *C. japonica*, porém no caso da *C. lusitanica* as lâminas classificadas como S3 e NE foram significativamente inferiores às demais classes visuais.

Tabela 2: Resultados médios de Módulo de Elasticidade para as diferentes classes visuais de *C. japonica* e *C. lusitanica*.

<i>Cryptomeria japonica</i>			<i>Cupressus lusitanica</i>		
Classe Visual	MOE (MPa)*	CV (%)	Classe Visual	MOE (MPa)*	CV (%)
<i>L</i>	5911,87 a	45,16	<i>SE</i>	12729,14 a	20,4
<i>S2</i>	5720,71 a	33,57	<i>S1</i>	11557,87 a	6,84
<i>S1</i>	5684,09 a	46,15	<i>S2</i>	11754,79 a	24
<i>SE</i>	5405,94 a	47,61	<i>S3</i>	10210,67 b	23,9
<i>S3</i>	4269,38 a	33,72	<i>NE</i>	9205,18 b	22,3

Legenda: MOE – Módulo de Elasticidade; CV – Coeficiente de variação. \*Médias seguidas de letras iguais entre linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

As médias do MOE à flexão para a *C. japonica* são similares às obtidas por [15], que obteve MOE médio de 5648,4 MPa em peças de *C. japonica* com 14 anos de idade. Porém, os valores obtidos são menores que os apresentados para o gênero *Pinus*, conforme avaliado por [16] que obteve média de 7724 MPa utilizando corpos de prova de pequenas dimensões de *P. elliotti*.

Pode-se observar por meio dos resultados que a rigidez das lâminas não é influenciada pela sua classificação visual. Portanto, as lâminas de *C. japonica* classificadas poderiam ser posicionadas nas extremidades da MLC, levando-se em conta apenas a rigidez da peça e não a classe visual.

[17], em estudo realizado na Nova Zelândia com indivíduos de *C. lusitanica*, encontraram MOE médio de 10900 MPa, semelhante à média apresentada neste estudo. Porém, outros autores descrevem resultados inferiores quanto ao desempenho médio da espécie para o MOE. [18], por exemplo, encontraram média de 7160 MPa em análise da influência diametral dos indivíduos no MOE em amostras de plantio experimental no norte do estado de Santa Catarina. [19], em estudo de

caracterização tecnológica de *Cupressus spp.* (aproximadamente 17 anos de idade) obtiveram MOE médio de apenas 3122 MPa, sendo que a presença de nós foi constatada nos corpos de prova avaliados.

Analisando os resultados obtidos para *C. lusitanica*, é possível observar que a presença de defeitos exerce influência sobre o MOE das lâminas avaliadas. Desta forma, a utilização de um sistema de classificação visual pode vir a auxiliar na determinação da composição da MLC.

#### 4. CONCLUSÃO

A classificação visual de lâminas de *C. japonica* não influencia na composição do MLC pela rigidez, podendo utilizar lâminas com nós que estejam entre as classes permitidas pela Revisão da Norma Brasileira Anexo G: NBR 7190-97 para compor elementos laminados colados. Contudo, para a madeira de *C. lusitanica*, a classificação visual das lâminas exerce influência na rigidez, e consequentemente na composição da MLC pelo MOE.

Desta forma, conclui-se que a classificação visual deve ser melhor avaliada, considerando as variações interespecíficas. Isso se deve à apresentação de comportamento diferentes para as espécies estudadas. Ademais, outros fatores como a demanda de tempo exigida para efetuar a classificação visual devem ser incluídos como fatores de ponderação. A análise de desempenho da MLC produzida com as lâminas de *C. japonica* e *C. lusitanica* classificadas será a próxima fase de avaliação do projeto.

A eficácia da classificação mecânica das lâminas no processo de produção de MLC já é comprovada. Incluir um novo parâmetro de classificação deve incrementar a qualidade do processo produtivo, porém sem causar aumentos significativos nos custos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Segundinho, P. G. AZangiácomo, A. L.; Carreira, M. R.; Dias, A. A.; Lahr, F. A. R. Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.). *Cerne*, v. 19, n. 3, p. 441-449, 2013.
- [2] Terezo, R. F.; Szücs, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). *Scientia Forestalis*, v. 38 n. 87, p.471-480, 2010.
- [3] Calil Neto, C.; Christoforo, A. L.; Filho, S. L. M. R.; Lahr, A. R. L.; Junior, C. C. Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 4, p. 989-996, 2014.
- [4] Cunha, A. B. da; Matos, J. L. M. de. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo ("*stress wave timer*"). *Revista Árvore*, v. 34, n. 2, p. 345-354, 2010a.
- [5] Bodig, J.; Jayne, B.A. *Mechanics of wood and wood composites*. Krieger Publishing. Nova York, 1993, 712p.
- [6] Calil Neto, C. Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie – adesivo – tratamento preservativo. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *Projetos de estruturas de madeira – NBR 7190*. Rio de Janeiro: 1997. 107p.
- [8] ASTM – American Society of Testing and Materials. D245 - standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. West Conshohoken: ASTM, 1993.
- [9] Carreira, M.R. Critérios para classificação visual de peças estruturais de *Pinus sp.* Dissertação. São Carlos, 2003, 197 p.
- [10] Gomes, R.C. Desenvolvimento de uma base de dados de imagens digitais de madeira serrada de coníferas. Dissertação (Mestrado em agronomia). Botucatu- sp, 2013. 95p.

- [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Projeto de revisão da norma: Projetos de estruturas de madeira – NBR 7190, ANEXO G. Rio de Janeiro: 2006. 8p.
- [12] PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002
- [13] Carreira, M. R.; Dias, A. A. Classificação visual de coníferas: análise da aplicação do método norte-americano às espécies de *Pinus* sp plantadas no Brasil. *Scientia Forestalis*, n. 67, p. 78-87, 2005.
- [14] Cunha, A. B. da; Matos, J. L. M. de. Rigidez e resistência de vigas estruturais de madeira laminada colada e com perfil I compostas por diferentes adesivos. *Ciência Florestal*, v. 20, n. 2, p. 345-356, 2010b.
- [15] Carneiro, M.E.; Bittencourt, E.; Muniz, G. I. B. de. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don. *Floresta*, v.39, n.4, p. 913-920, 2009.
- [16] Zangiácomo, A.L. Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R. Avaliação do módulo de elasticidade de peças estruturais roliças e de corpos-de-prova de *Pinus elliotti*. *Scientia Forestalis*, v.41, n. 98, p. 283-291, jun. 2013.
- [17] Todoroki, C. L. Low, C. B.; McKenzie, H. M.; Gea, L. D. Radial variation in selected wood properties of three cypress taxa. *New Zealand Journal of Forestry Science*, v. 45, n. 1, p. 1, 2015.
- [18] Polizei, C. C.; Garcia, J. N.; Silva, L. D.; Higa, A. R.. Influência do diâmetro da árvore de *Cupressus lusitanica* na qualidade mecânica de sua madeira. *Anais.. São Paulo: USP*, 2010.
- [19] Okino, E. Y. A. Santana, M. A. E.; Alves, M. V. da S.; Melo, J. E de; Coradin, V. T. R.; Souza, M. R. de; Teixeira, D. E.; Sousa, M. E. de. Caracterização Tecnológica da Madeira de *Cupressus* spp.. *Floresta e Ambiente*, v.17, n.1, p.1-11, jan-jun, 2010.