



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE LÂMINAS PARA USO EM ELEMENTOS DE MADEIRA LAMINADA COLADA

Rodrigo Terezo¹
Talitha Oliveira Rosa¹
Ângela Maria Stüpp²
Cleide Beatriz Bourscheid¹
Helena Cristina Vieira³
Dianessa Danielli⁴
Charline Zangalli¹
Leonardo Kellet Coelho¹

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina

² Centro de Ciências Agroveterinárias - Engenharia Florestal

³ UDESC - CAV Departamento de Tecnologia da madeira.

⁴ Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC Departamento Engenharia Florestal



CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE LÂMINAS PARA USO EM ELEMENTOS DE MADEIRA LAMINADA COLADA

Resumo: O objetivo foi avaliar a influência das classes visuais de defeitos, conforme o Anexo G do PNBR 7190 (2006), na elasticidade das lâminas de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* para uso em Madeira Laminada Colada. Foram classificadas 112 lâminas de *C. japonica* (1,5 x 6 x 222cm) e 154 lâminas de *C. lusitanica* (1,6 x 7 x 190cm). A determinação do Módulo de Elasticidade - MOE foi pelo ensaio de flexão a três pontos, com as lâminas posicionadas no sentido de menor inércia. Os deslocamentos foram mensurados manualmente com o auxílio de um peso e uma régua graduada posicionada no vão central da lâmina. Os resultados de MOE e de classificação visual foram avaliados pelo teste de Grubbs, normalidade, homogeneidade e Tukey com 5% de significância. A espécie *C. japonica* não apresentou diferenças significativas entre as classes visual e MOE. No *C. lusitanica* houve diferença significativa, indicando que as classes S3 e Não Estrutural possuem menor MOE em relação às classes SE, S1 e S2. Conclui-se que a utilização da classificação visual pode auxiliar na composição das lâminas em elementos estruturais de MLC, uma vez que pode haver relação com MOE.

Palavras-chave: módulo de elasticidade; testes não destrutivos; classes estruturais.

VISUAL CLASSIFICATION OF CONIFERS FOR USE AT ELEMENTS OF GLUED LAMINATED TIMBER

Abstract: The objective was evaluate the influence of visual classes of defects, according to Annex G of PNBR 7190 (2006), on the elasticity of the *Cryptomeria japonica* and *Cupressus lusitanica* laminated for use at glulam. Were classified 112 laminated timber of *C. japonica* (1.5 x 6 x 222 cm) and 154 laminated timber of *C. lusitanica* (1.6 x 7 x 190 cm). The modulus of elasticity was determined by a three-point flexural test, with laminated positioned in the direction of lower inertia. The displacements were manually mensured with a graduated ruler positioned at the center point of the laminated. The results of MOE were submitted to the Grubbs test, normality, homogeneity and Tukey with 5% meaningfulness. The *C. japonica* specie did not show significant difference among the visual ranges and MOE. At the *C. lusitanica* there was a significant difference, indicating that the S3 and nonstructural classes have lower MOE in relation to the SE, S1 and S2 ranges. It is concluded that the use of a visual classification can help in the composition of laminated in strucutral elemens of glulam, since there may be relation with MOE.

Keywords: modulus of elasticity; nondestructive tests, structural grades.

1. INTRODUÇÃO

A Madeira Laminada Colada (MLC) é um compósito de madeira usado em muitas estruturas de construções. 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 diversificar e melhorar a qualidade do produto MLC no Brasil, tais como (SEGUNDINHO et al., 2013), que avaliaram a resistência da MLC de cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm), (TEREZO; SZÜCS, 2010), que determinaram o potencial do paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HERB.) para a produção de MLC, (CALIL NETO et al., 2014), que estudaram a resistência da MLC ao cisalhamento e à delaminação em diferentes espécies e (CUNHA; MATOS, 2010), que pesquisaram a rigidez da madeira de *Pinus taeda* utilizada para a produção de MLC com Stress Wave Timer.

Um dos métodos para garantir o bom desempenho da MLC na indústria é a classificação das lâminas utilizadas no elemento por meio de seu Módulo de Elasticidade - MOE. (BODIG; JAYNE, 1993), afirmam que as lâminas de maior MOE devem ser posicionadas nas zonas de maior solicitação aos esforços de tração e compressão, e as de menor MOE nas zonas centrais, aumentando assim, a resistência da MLC.

A classificação visual também é preconizada por normas para determinar quais lâminas podem ter uso estrutural, sendo que a avaliação consiste na inspeção da superfície das 6 faces (bordas, laterais e extremidades) (CALIL NETO, 2011). A Associação Brasileira de Normas Técnicas, no documento denominado "Projeto de Estruturas de Madeira" (ABNT, 1997), 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 (ASTM, 1993), (CARREIRA, 2003). (GOMES, 2013) 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 influência dos defeitos no MOE das lâminas de *Cryptomeria japonica* e de *Cupressus lusitanica*, empregando-se a classificação visual, conforme Anexo G do PNBR 7190 (2006).

2. MATERIAL 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 1.300 mm/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 determinação do MOE.

A madeira de *C. lusitanica* utilizada foi proveniente de um plantio experimental com aproximadamente 72 há, 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 1.017 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 (PANDOLFO et al., 2002).

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 determinação do MOE.

Para o cálculo do MOE das lâminas, foram medidas a largura e a espessura, em três posições (centro e laterais da peça a 10 cm da extremidade) com o auxílio do paquímetro e posteriormente determinada a o valor médio dessas dimensões. Para a determinação do comprimento total foi empregada uma trena.

Na avaliação das classes visuais das lâminas foram medidos os nós nas faces radial e tangencial, sendo classificados conforme a PNBR 7190 (2006) em seu Anexo G: classificação visual de madeira serrada de coníferas, que preconiza classes de uso estrutural 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 expedito não destrutivo de flexão a 3 pontos para obtenção do 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 também no centro do vão (Figura 1).

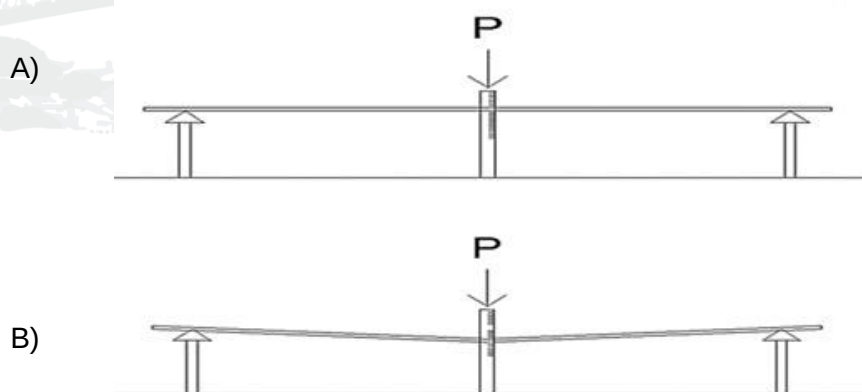


Figura 1. Metodologia para mensurar a deformação das lâminas de *C. japonica* e *C. lusitanica*. Leitura na posição inicial da lâmina sem a aplicação do peso (A) e a leitura da deformação após aplicação do peso (B).

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. Com o deslocamento médio de cada lâmina foi calculado o Módulo de Elasticidade utilizando a Equação 1:



$$E = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot D_x \cdot I} * 0,098066 \quad (1)$$

Onde: E = Módulo de Elasticidade em MPa; P = Peso aplicado no centro do vão em kgf; L^3 = distância entre apoios em cm; D_x = deslocamento médio da peça em cm; I = inércia da peça em cm⁴. 0,098066 – constante para transformação de unidades.

Foram realizados os testes de Grubbs para exclusão de valores espúrios, teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das amostras utilizando Bartlett. Posteriormente, procedeu-se o teste de comparação de médias por Scott-Knott com 95% de confiabilidade para determinar se houve diferença significativa entre os módulos de elasticidade em relação às 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 (L) 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.

CARREIRA; DIAS (2005), 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 (CUNHA; MATOS, 2010).

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, conforme Tabela 2.

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 (%)
L	5.911,87 a	45,16	SE	12.729,14 a	20,4
SE	5.405,94 a	47,61	S1	11.557,87 a	6,84
S1	5.684,09 a	46,15	S2	11.754,79 a	24
S2	5.720,71 a	33,57	S3	10.210,67 b	23,9
S3	4.269,38 a	33,72	NE	9.205,18 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 (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009), que obteve MOE médio de 5.648,4 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 (ZANGIÁCOMO; CHRISTOFORO; LAHR, 2013), que obteve média de 7.724 MPa utilizando corpos de prova de pequenas dimensões de *P. elliotti*.

Pode-se observar por meio dos resultados estatísticos que o MOE das lâminas não se diferencia significativamente entre as classes visuais. Porém, há uma grande



variabilidade dos valores que se deve ao sistema de leitura com régua graduada de flecha adotada que possui uma baixa precisão, sendo a classificação mecânica dos MOE's tão importante quanto a visual.

Analisando os resultados obtidos pela Tabela 2 para *C. lusitanica*, é possível observar que a presença de defeitos exerceu diferença significativa sobre os valores médios de MOE. As primeiras classes visuais apresentaram valores de MOE significativamente superiores aos MOE's da classe S3 e das lâminas não estruturais.

Todoroki et al. (2015), em estudo realizado na Nova Zelândia com indivíduos de *C. lusitanica*, encontraram MOE médio de 10.900 MPa, semelhante à média apresentada neste estudo. Porém, outros autores descrevem resultados inferiores quanto ao desempenho médio da espécie para o MOE. (POLIZEI et al., 2010), por exemplo, encontraram média de 7.160 MPa em análise da influência diametral dos indivíduos no MOE em amostras de plantio experimental no norte do estado de Santa Catarina. (OKINO et al., 2010), em estudo de caracterização tecnológica de *Cupressus spp.* (aproximadamente 17 anos de idade) obtiveram MOE médio de apenas 3.122 MPa, sendo que a presença de nós foi constatada nos corpos de prova avaliados.

4. CONCLUSÕES

A classificação visual das lâminas revelou que para os lotes estudados, a espécie *C. japonica* foi a que mais apresentou peças de primeira categoria (Classe L e S2), porém, com MOE's abaixo dos valores obtidos com a espécie *C. lusitanica*. Apesar de maiores valores de MOE, o lote da espécie *C. lusitanica* não apresentou lâminas limpas (L) e uma alta representatividade de peças da Classe SE e não estruturais. Obtendo-se um rendimento baixo para a produção de elementos MLC.

As lâminas de *C. japonica* da classe L e S2 podem ser posicionadas nas camadas de maior tensão da MLC, levando-se em conta, principalmente a classificação pelo MOE, e não pelos defeitos. Constatou-se uma alta variabilidade dos resultados dos ensaios que provavelmente se deu devido a baixa precisão do sistema de leitura com régua graduada adotado.

Contudo, para a madeira de *C. lusitanica*, a utilização de um sistema de classificação visual é tão importante quanto à classificação pelo MOE e pode vir a ser determinante na composição da MLC, pois foram encontradas diferenças significativas entre as classes visuais e seus respectivos MOE's.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. ASTM D245 - Standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. West Conshohocken: ASTM, 1993;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projetos de estruturas de madeira – NBR 7190. Rio de Janeiro: 1997. 107p.



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

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.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. Mechanics of wood and wood composites. Krieger Publishing. Nova York, 1993, 712p.

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.

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.

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.

CARREIRA, M.R. Critérios para classificação visual de peças estruturais de *Pinus* sp. Dissertação. São Carlos, 2003, 197 p.

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.

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.

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.

GOMES, R.C. Desenvolvimento de uma base de dados de imagens digitais de madeira serrada de coníferas. 2013. 95p. Dissertação (Mestrado em agronomia). Botucatu- sp.

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.

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.

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.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

SEGUNDINHO, P. G. A ZANGIÁCOMO, 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.

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.

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.

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.



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

