

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE VIGAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA COM DIFERENTES ESPESSURAS DE LÂMINAS

Lucas Marquardt (1); Márcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)lucas.marquardt@unesc.net, (2)marciovito@unesc.net

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar a influência de diferentes espessuras de lâminas em vigas de madeira laminada colada de *Pinus Elliottis*. Foram confeccionadas 15 vigas de 5x15x200cm, sendo três compostas por lâminas de 15mm, três por lâminas de 25mm, três por lâminas de 30mm, três por lâminas de 50mm e três maciças para referência. Para cada grupo de amostras foi efetuado o ensaio de flexão à quatro pontos, onde foi possível obter as cargas de ruptura, as deformações máximas, as cargas aplicadas no deslocamento vertical admissível e o módulo de elasticidade. O grupo que apresentou maior média de resistência à carga de ruptura foi o grupo de vigas com lâminas de 15mm, resistindo 2096,60Kgf, e a menor o grupo de vigas maciças, resistindo 1332,07Kgf. No deslocamento vertical máximo, o grupo de vigas que apresentou maior média de deformação foi o grupo de vigas maciças, com deslocamento vertical de 52,24mm, já a que apresentou o menor foi o grupo de vigas com lâminas de 30mm, com 20,48mm. Para a carga no deslocamento admissível, o grupo de vigas que apresentou maior média foi o grupo com lâminas de 50mm, com carga de 872,16Kgf, já o que apresentou menor média foi o grupo de vigas maciças, com carga de 463,42Kgf. A análise de variância (ANOVA), comprovou que não há evidências estatísticas de que as diferentes médias encontradas entre as vigas de madeira laminada colada sejam significativas. Entretanto, análises estatísticas comprovaram diferenças significativas na comparação entre as vigas de madeira laminada colada com as vigas maciças.

Palavras-chave: Viga de madeira. Madeira laminada colada. MLC. *Pinus Elliottis*.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia para o uso da madeira laminada colada (MLC) é vastamente disseminado em diversos países, tais como Estados Unidos, Canadá e países Europeus.

De acordo com Miotto (2009, p. 01), a madeira laminada colada (MLC) ainda não é um material plenamente justificável para o emprego nas construções brasileiras, resultado da pequena tradição no seu uso, elevado custo de adesivos e reduzido número de empresas envolvidas na sua fabricação. No entanto Bohn (1995, p. 3-4) discorre sobre algumas das vantagens da madeira laminada colada, afirmando que

além de compor elementos de grandes dimensões a partir de pequenas peças, reduz-se o número de ligações nas estruturas, e as dimensões dos elementos não mais são limitados pelas dimensões das árvores, mas sim pelas condições de transporte.

Pfeil (2012, p.13) define a madeira laminada colada como sendo um produto estrutural, formado por associação de lâminas de madeira selecionada, coladas com adesivos e sob pressão, com espessura de lâminas variando de 15mm à 30mm, podendo excepcionalmente atingir até 50mm.

Conforme o item 7.4.4 da NBR 7190 (1997, p. 29), as peças de madeira laminada colada devem ser formadas por lâminas com espessuras não superiores a 30mm de madeira de primeira categoria. O item 6.3 da ANSI A190.1 (2017, p. 05) determina que as laminações não devem exceder 51mm de espessura, já o item 6.2.3 da DIN EN 386 (2001, p. 09) especifica espessura máxima de 45mm para coníferas de primeira classe.

Segundo Icimoto (2016, p.01) “A madeira é o elemento principal e o adesivo é responsável por unir peças de madeira para moldar adequadamente os produtos finais. O custo do adesivo, em vários casos, pode ser maior que o da madeira”. Referindo-se que para obter um produto de menor custo, o ideal é utilizar lâminas com uma maior espessura a fim de chegar à um elemento final de mesma seção transversal e com menor quantidade de linhas de cola.

No entanto um dos fatores preponderantes que influencia diretamente nestas considerações de custo-benefício é o valor de cargas de ruptura e deslocamentos obtidos através de ensaios de flexão. Diante do exposto, no presente trabalho, pretende-se verificar a influência da espessura das lâminas integrantes de vigas de madeira laminada colada no seu comportamento quando submetida à ensaios de flexão à quatro pontos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

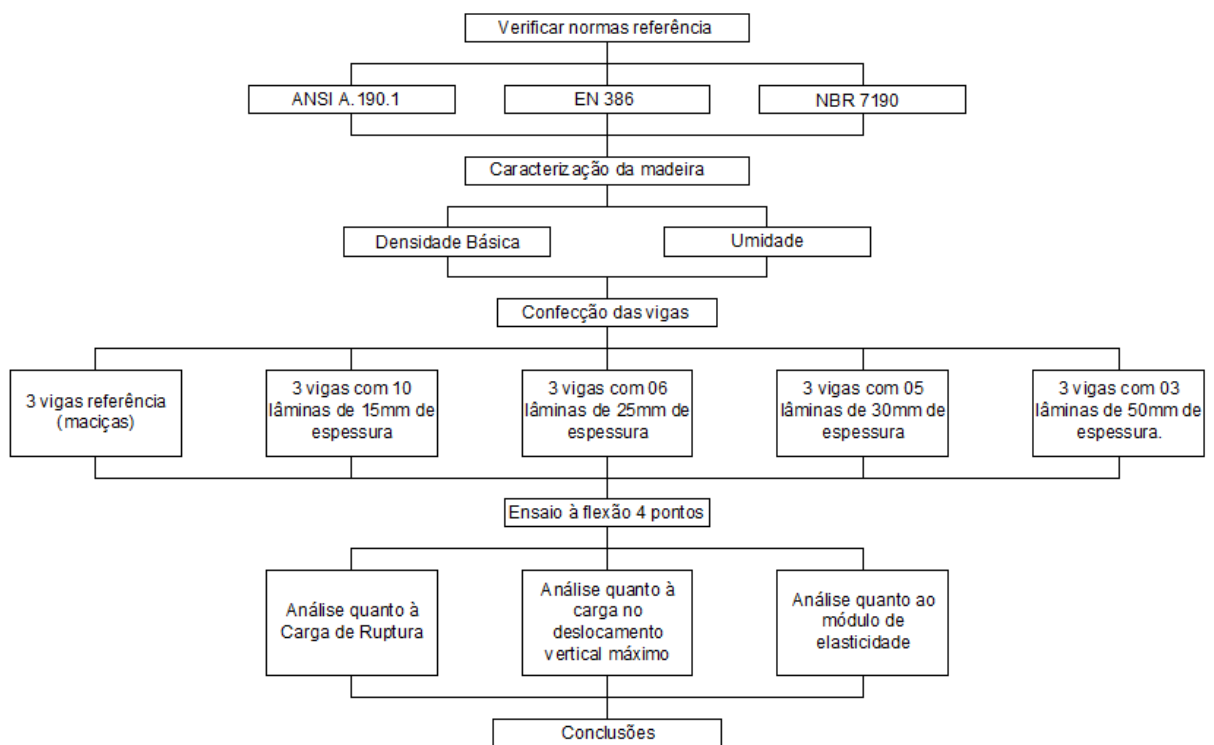
Foram confeccionadas 15 vigas de madeira com seção transversal de 50x150mm, sendo três delas maciças para referência, três com lâminas de 15mm, três com lâminas de 25mm, três com lâminas de 30mm e três com lâminas de 50mm. A madeira utilizada foi do tipo *Pinus Elliottis*. O adesivo estrutural utilizado foi à base de resina epóxi.

Três ensaios foram realizados, sendo o primeiro de umidade, o segundo para determinação a densidade básica e o terceiro ensaio de flexão à 4 pontos. Todos os ensaios experimentais foram realizados no LEE (Laboratório experimental de estruturas) e LMCC (Laboratório de materiais da construção civil), ambos localizados no I-Parque (Parque científico e tecnológico), integrados à UNESC (Universidade do Extremo Sul Catarinense).

Através dos ensaios de flexão à quatro pontos, analisou-se o comportamento das amostras quanto à carga e deslocamento vertical na ruptura, deslocamento vertical admissível por norma ($L/200$), e módulo de elasticidade.

Verifica-se na Figura 2 um fluxograma dos procedimentos citados anteriormente.

Figura 02 – Fluxograma do Procedimento Experimental



Fonte: Do Autor, 2017.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

A madeira adotada foi da espécie *Pinus Elliottis*, devido a sua disponibilidade na região sul do Brasil, vasta aplicação na construção civil e suas propriedades físico-mecânicas, apresentadas na Tabela 01, obtidas no item E.3 da NBR 7190/1997.

Tabela 01 – Propriedades do Pinus *Elliottis*

Propriedades de Resistência e Rigidez	Resistência padrão 12% (kN/cm ²)
Resistência à compressão paralela às fibras (fc,0)	4,04
Resistência de tração paralela às fibras (ft,0)	6,6
Resistência à tração normal às fibras (ft,90)	0,25
Resistência ao cisalhamento (Fv)	0,74
Módulo de elasticidade (E)	1.188,90

Fonte: NBR 7190/1997

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO ADESIVO

Adotou-se um adesivo estrutural à base de resina epóxi, de média viscosidade. De acordo com o fabricante, possui excelente aderência a superfícies de madeira. Segundo especificação técnica do produto, fornecida pelo fabricante, possui no primeiro dia, com temperatura de 25°C e umidade relativa do ar de 50%, uma resistência à compressão de 60 MPa. Aos sete dias, nas mesmas condições de temperatura e umidade do ar, pode chegar em uma resistência à compressão de 90 MPa.

2.3. ENSAIO DE UMIDADE

Para a determinação do teor de umidade do lote, foi seguido o item B.5 da NBR 7190/1997, onde tem-se uma relação entre a massa inicial e a massa seca da madeira. A massa seca foi determinada após colocar a amostra inicial em estufa e analisar de seis em seis horas a variação de umidade entre as amostras. Quando a amostra obteve uma variação menor ou igual a 0,5%, considerou-se a massa seca. Para a realização deste ensaio foram utilizadas uma balança com precisão de 0,01g e uma estufa com temperatura máxima em torno de 103°C ± 2°C.

2.4. ENSAIO DE DENSIDADE BÁSICA

Para a realização do ensaio de densidade básica seguiu-se conforme o item B.6 da NBR 7190/1997, em que foram divididos a massa da amostra seca pelo volume

saturado. Para a realização deste ensaio foram utilizadas uma balança com precisão de 0,01g e uma estufa com temperatura máxima em torno de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

2.5. CONFECÇÃO DAS VIGAS

A seção transversal final das vigas foi de 5x15cm e comprimento de 200cm, compostas por lâminas de 15, 25, 30 e 50mm de espessura, sendo estes, valores contemplados nas normas NBR 7190/1997, DIN EN 386 e ANSI A190.1 (Figura 03).

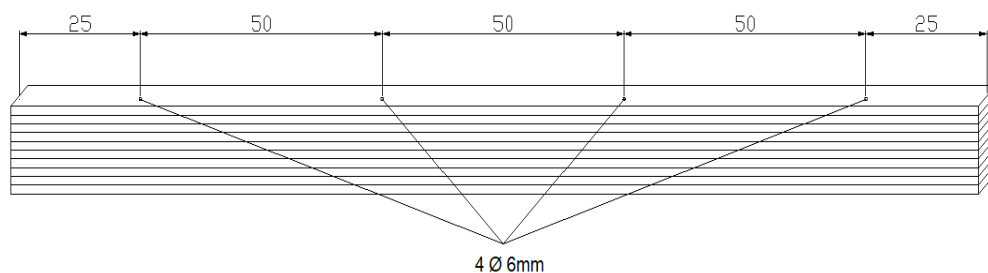
Figura 03 – Seções transversais das vigas



Fonte: Do Autor, 2017.

Para que houvesse pressão entre as lâminas e a resina, foram feitos quatro furos com 6,0mm de diâmetro, equidistantes que atravessaram toda a viga, onde foram passados parafuso com rosca sem fim, com diâmetro de 5,0mm. Estes parafusos ficaram localizados a 25cm das extremidades, e com distância entre eles de 50cm (Figura 04).

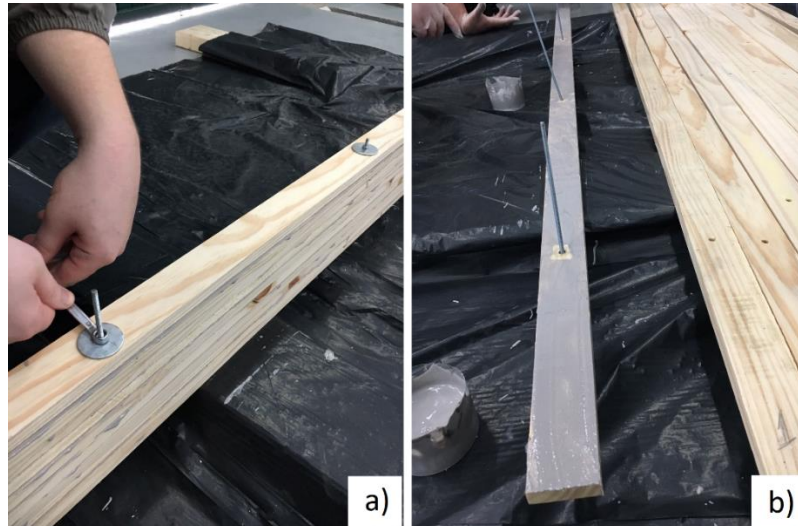
Figura 04 – Furos na seção longitudinal da viga (medidas em cm)



Fonte: Do Autor, 2017.

A pressão foi feita manualmente através de porcas, arruelas e chave sextavada (Figura 05a). A espessura da linha de cola teve 1mm, e a resina foi aplicada com espátula e pincel em apenas um lado da face das lâminas (Figura 05b).

Figura 05 – a) Pressão manual; b) Aplicação resina epóxi

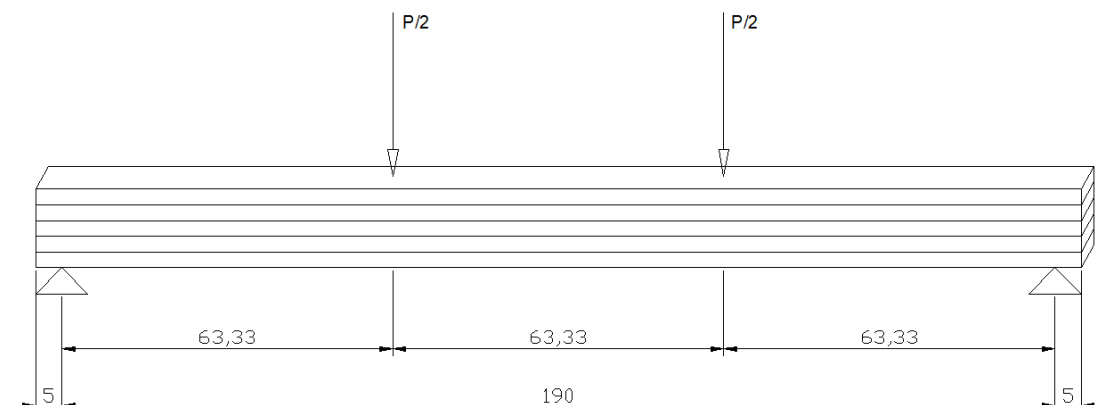


Fonte: Do Autor, 2017.

2.6. ENSAIO DE FLEXÃO À 4 PONTOS

O ensaio de flexão à 4 pontos foi realizado nas 15 vigas, sendo três para cada amostra, de forma a permitir uma análise dos resultados para cada conjunto de amostras. As vigas foram posicionadas acima de dois roletes, simulando vínculos de primeira classe. Um carregamento vertical negativo “P” foi aplicado pelo macaco hidráulico, transmitindo a carga nos terços médios do vão teórico da viga (Figura 06).

Figura 06 – Carregamento das amostras (medidas em cm)



Fonte: Do Autor, 2017.

A leitura dos dados foi realizada com QuantumX modelo MX840B. Os deslocamentos verticais foram coletados com o uso de medidores LVTD (Linear Variable Differential Transformer – Transformador Diferencial Variável Linear) e os dados obtidos foram armazenados eletronicamente. Verifica-se o ensaio de flexão à quatro pontos (figura 07a) e a viga rompida após ensaio de flexão estática à quatro pontos (figura 07b), evidenciando que a viga rompeu por flexão na madeira e não por descolamento das lâminas.

Figura 07 – a) Ensaio de flexão estática à quatro pontos; b) viga rompida após ensaio de flexão estática à quatro pontos



Fonte: Do Autor, 2017.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ENSAIO DE UMIDADE E DENSIDADE BÁSICA

O teor de umidade da madeira foi obtido através da relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, dado pela Equação 01:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 01}$$

Em que:

m_i = massa inicial da madeira (g)

m_s = massa seca da madeira (g)

A densidade básica é uma massa específica convencional e foi obtida através da razão entre a massa seca e o volume saturado, conforme Equação 02:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad \text{Equação 02}$$

Em que:

m_s = massa seca da madeira (Kg)

V_{sat} = volume da madeira saturada (m^3)

Para a confecção de todas as vigas, foi utilizado o mesmo lote de madeira, que apresentou os percentuais de umidade e valores de densidade básica apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Teor de umidade (%) e densidade básica média (Kg/m^3)

Umidade (%)	Densidade básica ρ_{bas} (Kg/m^3)
$14,95 \pm 0,70$	$385,09 \pm 5,36$

Fonte: Do Autor, 2017.

3.2. ENSAIO DE FLEXÃO À QUATRO PONTOS

Obtidos os resultados do ensaio de flexão à quatro pontos, analisou-se os resultados pela carga de ruptura, carga atuante com deslocamento vertical máximo por norma, e módulo de elasticidade.

3.2.1 CARGA DE RUPTURA

Os valores de ruptura obtidos no ensaio de flexão à quatro pontos estão descritos na Tabela 03, onde tem-se a Carga de Ruptura (Kgf) e deslocamento vertical máximo (mm). No ensaio foram utilizados dois medidores LVDT para determinação do deslocamento vertical, considerando o resultado final a média entre os mesmos.

Tabela 03 – Carga de Ruptura (Kgf) e Deslocamento Vertical na Carga de Ruptura (mm)

Grupo	Viga	Carga de Ruptura (Kgf)	Deslocamento Vertical máximo (mm)
A	V1	1727,80	23,58
	V2	2548,90	40,12
	V3	2013,10	25,37
Média		2096,6 ± 1035,56	29,70 ± 22,55
B	V4	1827,60	20,90
	V5	1599,50	22,35
	V6	1743	24,06
Média		1723,37 ± 286,45	22,44 ± 3,93
C	V7	1780,00	19,89
	V8	1633,90	20,35
	V9	1759,90	21,20
Média		1724,60 ± 196,72	20,48 ± 1,66
D	V10	1874,90	21,27
	V11	1498,80	27,04
	V12	2042,40	20,04
Média		1805,37 ± 691,56	22,79 ± 9,28
E	V13	1224,50	32,77
	V14	1352,40	49,91
	V15	1419,30	74,03
Média		1332,07 ± 245,88	52,24 ± 51,5

Fonte: Do Autor, 2017.

Verifica-se através das médias aritméticas, que o grupo com maior carga de ruptura é o grupo A (com maior quantidade de linhas de cola), com um valor de 2096,60Kgf e um deslocamento vertical de 29,70mm. O grupo com menor carga de ruptura é o grupo E (vigas maciças), apresentando um valor de 1332,07Kgf e um deslocamento vertical de 52,24mm.

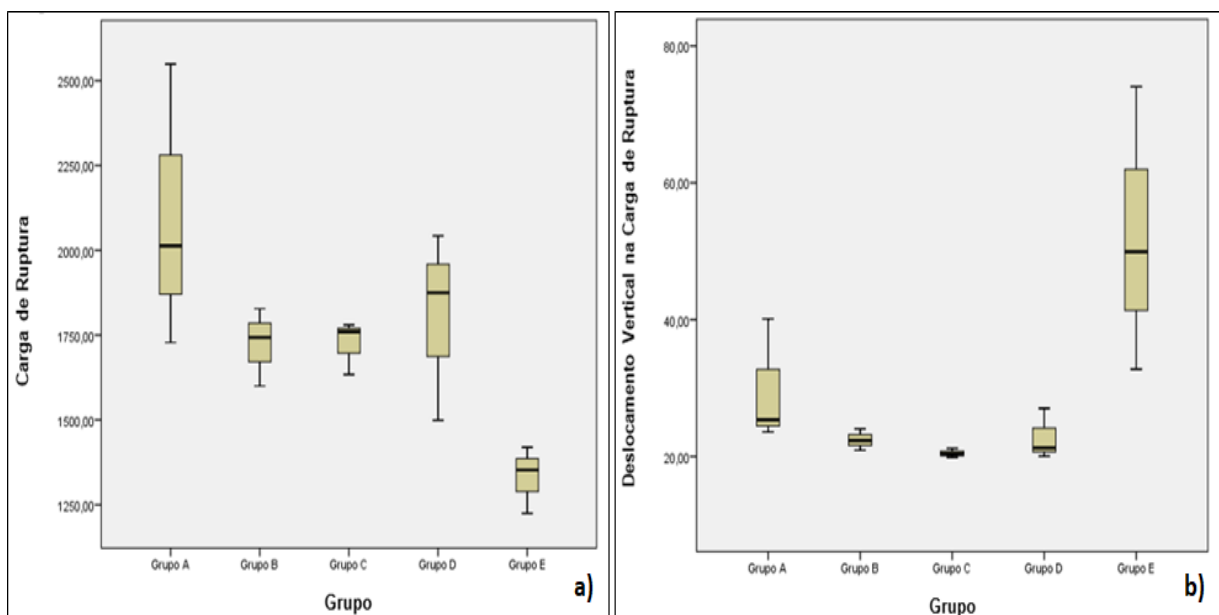
A amplitude de resultados nas médias da Carga de Ruptura foi de 764,53Kgf, e nas médias de deformação vertical de 22,54mm.

Os valores dos coeficientes de variação das médias foram, para Carga de Ruptura e Deslocamento Vertical, respectivamente, de 49,39% e 75,93% para o grupo A, de 16,62% e 17,51% para o grupo B, de 11,41% e 8,11% para o grupo C, de 38,31% e 40,72% para o grupo D e 18,46% e 98,58% para o grupo E.

Analisando estatisticamente estes dados, verifica-se na Figura 08a o gráfico boxplot para a carga de ruptura e na figura 08b o gráfico boxplot para os dados de

deslocamento vertical na carga de ruptura. Os valores “p” obtidos na análise de variância (ANOVA) para a carga de ruptura e o deslocamento vertical na carga de ruptura foram de 0,035 e 0,019 respectivamente, confirmando, com 95% de probabilidade, a existência de pelo menos uma diferença estatisticamente significativa entre as médias, chegando, através do ensaio de Tukey na relação apresentada na Tabela 04.

Figura 08 – a) Gráfico Boxplot para a Carga de Ruptura (Kgf); b) Gráfico Boxplot para Deslocamento Vertical na Carga de Ruptura (mm)



Fonte: Do Autor, 2017.

Tabela 04 – Resultado do teste de médias para Carga de Ruptura e Deslocamento Vertical na Carga de Ruptura

Tratamento	Médias das Cargas de Ruptura (Kgf)		Médias dos Deslocamento Verticais na Carga de Ruptura (mm)	
Grupo A	2096,60	a	29,69	ab
Grupo B	1723,37	ab	22,44	a
Grupo C	1724,60	ab	20,48	a
Grupo D	1805,37	ab	22,79	a
Grupo E	1332,07	b	52,24	b

Fonte: Do Autor, 2017.

Onde médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Verifica-se na Tabela 03 e na Figura 08a, a grande heterogeneidade entre os valores das vigas dos grupos A e D. Através da análise estatística, conclui-se, conforme Tabela 04, que os únicos grupos que diferem entre si são os grupos A e E (lâminas de 15mm e de viga maciça). Portanto existem dois grupos com comportamentos estatisticamente iguais, sendo um grupo composto por todas as vigas de madeira laminada colada e outro composto pelas vigas maciças e pelas vigas dos grupos B, C e D (lâminas de 25, 30 e 50mm de espessura).

Para os deslocamentos verticais na carga de ruptura, verifica-se na Tabela 03 e na Figura 08b, grande amplitude nos valores das amostras do grupo E. Através da Tabela 04, conclui-se a existência de dois grupos com comportamento estatisticamente iguais, sendo um deles constituído por todas as vigas de madeira laminada colada e outro constituído pelas vigas maciças e pelas vigas do grupo A (laminas com 15mm de espessura).

3.2.2. CARGA ATUANTE NO DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO

O valor do deslocamento vertical máximo foi calculado, conforme previsto no item 9.2.1 da NBR 7190:1997, pela Equação 03:

$$f_{adm} = \frac{L}{200} \quad \text{Equação 03}$$

Em que:

L = vão teórico da viga (mm)

Como o vão teórico das amostras é de 190cm, obtém-se um f_{adm} de 9,5mm. Na Tabela 05 se apresentam os valores de carga aplicada nas amostras no momento em que o Deslocamento vertical é igual ao deslocamento admissível.

Verifica-se através das médias aritméticas apresentadas na Tabela 05, que o grupo com maior carga no deslocamento vertical admissível é o grupo D (lâminas de 50mm), com um valor de 872,16Kgf, porém apresenta um coeficiente da variação bastante

elevado. O grupo que apresenta menor carga é o grupo E (vigas maciças), apresentando um valor de 463,42Kgf. A amplitude de resultados foi de 408,74Kgf.

Tabela 05 – Valores de Carga (Kgf) no deslocamento vertical admissível

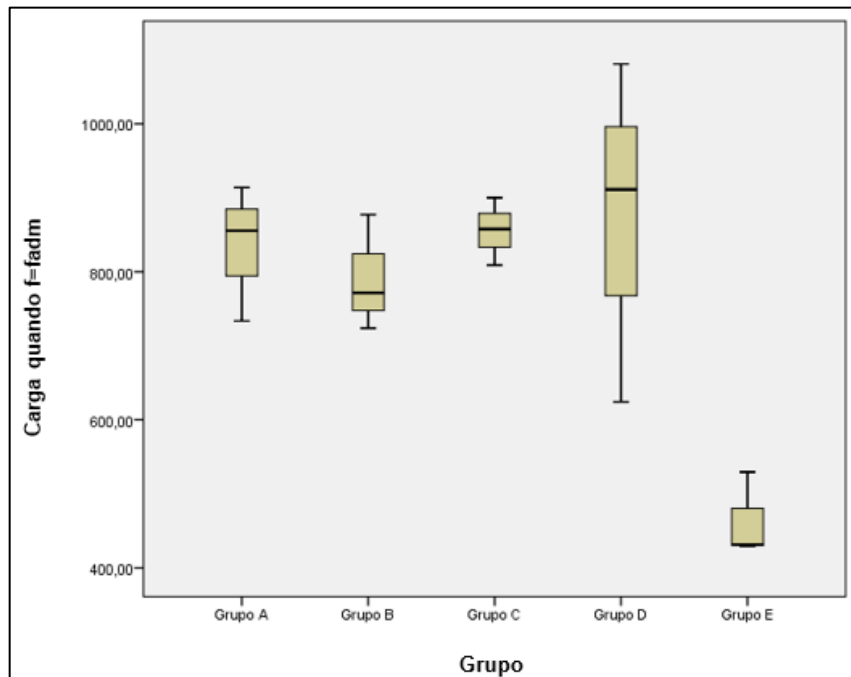
Grupo	Viga	Carga (Kgf)	Deslocamento Vertical (mm)
A	Vigas com 10 lâminas de 15 mm	V1	733,70
		V2	913,87
		V3	855,48
Média		834,35 ± 228,36	9,5
B	Vigas com 6 lâminas de 25 mm	V4	877,30
		V5	771,56
		V6	723,97
Média		790,94 ± 194,96	9,5
C	Vigas com 5 lâminas de 30 mm	V7	900,07
		V8	808,94
		V9	857,75
Média		855,58 ± 113,28	9,5
D	Vigas com 3 lâminas de 50 mm	V10	911,32
		V11	624,41
		V12	1080,73
Média		872,16 ± 573,01	9,5
E	Vigas Maciças	V13	429,26
		V14	529,52
		V15	431,48
Média		463,42 ± 142,22	9,5

Fonte: Do Autor, 2017.

Os valores dos coeficientes de variação das médias foram de 27,37% para o grupo A, 26,65% para o grupo B, 13,24% para o grupo C, 65,70% para o grupo D e 30,69% para o grupo E, mostrando grande heterogeneidade nas amostras.

Analisando estatisticamente estes dados, apresenta-se na Figura 09 o gráfico do boxplot para a carga quando se configura o deslocamento vertical admissível (L/200). O valor “p” da análise de variância (ANOVA) para a carga aplicada no momento do deslocamento vertical máximo foi de 0,010, confirmando, com 95% de probabilidade, a existência de pelo menos uma diferença estatisticamente significativa entre as médias, chegando, através do ensaio de Tukey na relação apresentada na Tabela 06.

Figura 09 – Gráfico do Boxplot para a Carga quando $f=f_{adm}$



Fonte: Do Autor, 2017.

Tabela 06 – Resultado do teste de médias para Cargas quando $f=f_{adm}$

Tratamento	Médias das Cargas quando $f=f_{adm}$ (Kgf)	
Grupo A	834,35	a
Grupo B	790,94	a
Grupo C	855,58	a
Grupo D	872,16	a
Grupo E	463,42	b

Fonte: Do Autor, 2017.

Onde médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Na carga quando temos o deslocamento vertical admissível, verifica-se na Tabela 05 e no gráfico da Figura 09, grande heterogeneidade entre os valores das amostras do grupo D. A tabela 06 mostra a existência de dois grupos com comportamento estatisticamente iguais, sendo o primeiro grupo composto por todas as vigas de madeira laminada colada, e o segundo pelas vigas maciças.

3.2.3. MÓDULO DE ELÁSTICIDADE

De acordo com o item B.14.2 da NBR 7190 (1997, p. 62), “A rigidez da madeira à flexão é caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama carga x deslocamento”. Os módulos de elasticidade E_M obtidos no ensaio de flexão à quatro pontos foram calculados através da equação 04:

$$E_m = \frac{(F_{m50\%} - F_{m10\%})L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%})4bh^3} \quad \text{Equação 04}$$

Em que:

$F_{M,10\%}$ e $F_{M,50\%}$ = Cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo-de-prova (N)

$V_{10\%}$ e $V_{50\%}$ = Deformações no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga estimada (m).

b = Largura da seção transversal (m)

h = Altura da seção transversal (m)

L = Vão teórico da viga (m)

Também segundo a NBR 7190 (1997, p.16), permite-se avaliar o módulo de elasticidade E_{c0} por meio de ensaio de flexão, admitindo a relação descrita na equação 05:

$$E_m = 0,85E_{c0} \quad \text{Equação 05}$$

Os valores de módulo de elasticidade estão apresentados na tabela 07. O grupo com a maior média aritmética para módulo de elasticidade, com valor de $E_M = 4174,95\text{MPa}$ é o grupo D, portanto apresenta um coeficiente de variação bastante elevado. O menor módulo de elasticidade foi o das amostras do grupo E (Vigas maciças), com $E_M = 2103,68\text{MPa}$. A amplitude das médias do módulo de elasticidade é de $2071,27\text{MPa}$.

Tabela 07 – Módulos de elasticidade E_M e E_{c0}

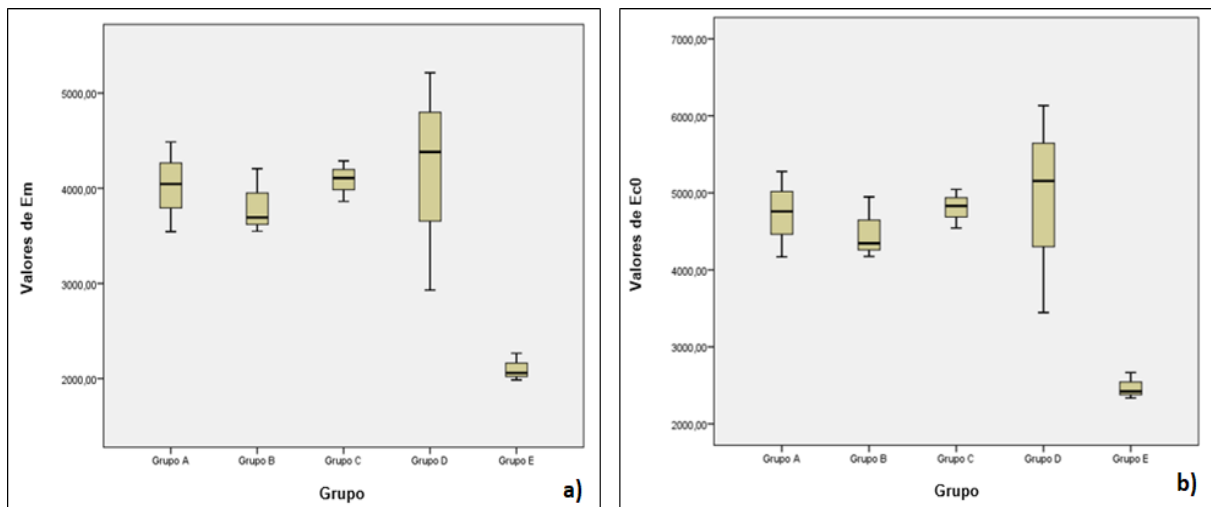
Grupo	Viga	Módulo de elasticidade E_M (MPa)	Módulo de elasticidade E_{c0} (MPa)
A	V1	3543,64	4168,98
	V2	4486,32	5278,02
	V3	4044,47	4758,20
Média		4024,81 ± 1171,64	4735,07 ± 1378,39
B	V4	4206,26	4948,55
	V5	3693,23	4344,97
	V6	3548,5293	4174,74
Média		3816,01 ± 858,59	4489,42 ± 1010,11
C	V7	4287,94	5044,63
	V8	3862,94	4544,64
	V9	4106,44	4831,11
Média		4085,77 ± 529,74	4806,79 ± 623,03
D	V10	4382,16	5155,48
	V11	2928,96	3445,83
	V12	5213,75	6133,82
Média		4174,95 ± 2872,66	4911,71 ± 3379,6
E	V13	2058,83	2422,15
	V14	2266,38	2666,34
	V15	1985,79	2336,23
Média		2103,68 ± 361,61	2474,9 ± 425,44

Fonte: Do Autor, 2017.

Os valores dos coeficientes de variação das médias do E_M são de 29,11% para o grupo A, de 22,50% para o grupo B, de 12,96% para o grupo C, de 68,80% para o grupo D e de 17,19% para o grupo E.

Analisando estatisticamente estes dados, apresenta-se na Figura 10 o gráfico do boxplot para os valores de E_M e E_{c0} . Os valores “p” da análise de variância (ANOVA) para E_M e E_{c0} foram de 0,008, confirmando, com 95% de probabilidade, a existência de pelo menos uma diferença estatisticamente significativa entre as médias, chegando, através do ensaio de Tukey na relação apresentada na Tabela 08.

Figura 10 – a) Gráfico Boxplot para os valores de E_M ; b) Gráfico Boxplot para os valores de E_{c0}



Fonte: Do Autor, 2017.

Tabela 08 – Resultado do teste de médias para os valores de E_M e E_{c0}

Tratamento	Médias dos E_M (MPa)	Médias dos E_{c0} (MPa)
Grupo A	4024,81 a	4735,07 a
Grupo B	3816,01 a	4489,42 a
Grupo C	4085,77 a	4806,79 a
Grupo D	4174,95 a	4911,71 a
Grupo E	2103,68 b	2474,90 b

Fonte: Do Autor, 2017.

Onde médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Para os módulos de elasticidade, através da Tabela 07 e dos gráficos das figuras 10a e 10b, confirma-se uma grande amplitude nos valores das amostras do grupo D. A tabela 08 mostra a existência de dois grupos com comportamento estatisticamente iguais, sendo o primeiro grupo formado pelas vigas de madeira laminada colada e o segundo formado pelas vigas maciças.

4. CONCLUSÕES

Quando analisados os valores apresentados para as 15 vigas, verifica-se que estatisticamente, apesar da diferença de médias descritas, as vigas de madeira

laminada colada apresentam o mesmo comportamento, independentemente da espessura das lâminas de madeira da espécie *Pinus Elliottis*.

Porém, quando comparadas com as vigas de madeira maciça, analisando-se a carga de ruptura, apenas as vigas com lâminas de 15mm apresentaram valores que diferem estatisticamente. Já no deslocamento vertical na carga de ruptura, as vigas de madeira laminada colada que diferem das vigas maciças são as do grupo B, C e D (25, 30 e 50mm). Tanto para a carga no deslocamento admissível quanto para o módulo de elasticidade, todos os grupos de vigas de madeira laminada colada apresentaram valores que diferem estatisticamente das vigas maciças.

Portanto, de maneira geral, conclui-se que não temos diferença estatisticamente significativa entre as diferentes espessuras de lâminas para as variáveis estudadas neste trabalho, nos mostrando que a NBR 7190 está gerando um maior custo na fabricação das vigas, quando comparada com a DIN EN 386 e a ANSI A.190, já que exige um maior número de linhas de cola. Entretanto as vigas que apresentaram menor amplitude e maior confiabilidade entre suas médias foi o grupo de vigas de madeira laminada colada com lâminas de 30mm, que é a espessura máxima admitida pela NBR 7190.

Conclui-se também que as vigas de madeira laminada colada apresentaram comportamentos superiores e diferenças estatisticamente significativas quando comparadas com as vigas maciças.

5. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Ampliar o número de amostras para garantir maior confiabilidade dos resultados;
- ✓ Testar os ensaios e procedimentos deste trabalho em diferentes espécies de madeira;
- ✓ Testar os ensaios deste trabalho com diferentes procedimentos para colocar pressão entre as lâminas e a resina;
- ✓ Testar os ensaios e procedimentos deste trabalho com diferentes seções transversais e espessuras de lâminas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de madeira**: NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997.

AMERICAN NATIONAL STANDART. **Standart for wood Products – Structural Glued Laminated Timber**: ANSI A190.1. Nova Iorque, 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Glued laminated timber – Performance requirements and minimum production requirements**: DIN EN 386, 2001.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements**: EN 14080, 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design**: EN 1995-1-2, 2004.

ICIMOTO, Felipe Hideyoshi. **Influence of lamellar thickness on strength and stiffness of glued laminated timber beams of Pinus oocarpa**. International Journal of Materials Engineering. p. 51-55, 2016.

FRANÇA, Lélío Caiado Abreu. **Madeira laminada colada (MLC) de Acácia Mangium Willd produzida com adesivos estruturais**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2012.

ORTIZ, Isabel Heloisa Mendes. **Análise da influência da umidade na resistência mecânica de vigas de madeira Cambará (Qualea spp)**. TCC (Graduação) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2017

NETO, Carlito Calil. **Madeira laminada colada (MLC): Controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

PELLIS, Bruno Piva. **Desempenho mecânico de vigas de madeira laminada colada armada confeccionadas com adesivo poliuretânico.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americanas NDS e europeia EUROCODE 5.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

BOHN, Adolar Ricardo. **Influência da espessura das lâminas e da cola na madeira laminada colada.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

GRANATO, Facchini Granato. **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada.** TCC (Graduação) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

MIOTTO, José Luiz. **Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de Eucalipto.** Revista tecnológica, Edição especial ENTECA. p. 35-45, 2009.

TEREZO, Rodrigo Figueiredo. **Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke).** Revista Scientia Forestalis v.38. p.471-480, 2010.