

Confecção e Análise de Rigidez de Painéis de Madeira Lamelada Colada Cruzada de *Pinus taeda*

Romeu Lucena², Rodrigo Terezo¹, Ângela do Valle², João Righez¹,
Guilherme Motta¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV)

²Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Centro Tecnológico (CTC)

correalucena@gmail.com, rodrigo.terezo@udesc.br, angela.valle@ufsc.br,
joaolaryanbr@gmail.com, guilhermemottamm@gmail.com

Resumo. A madeira lamelada colada cruzada, ou *cross laminated timber* (CLT), é um material construtivo de tecnologia recente, fabricado com madeira de reflorestamento, que vem chamando atenção por suportar grandes esforços utilizando material considerado, no Brasil, de baixa qualidade construtiva. No artigo é apresentado o processo de fabricação de painéis de CLT confeccionados no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da UDESC em Lages, elaborados com madeira obtida de floresta plantada da região serrana. Analisou-se, por meio de ensaio, a rigidez de 5 painéis de *Pinus taeda* fabricados para o trabalho. Entre os painéis avaliados, apenas um painel atendeu aos requisitos da norma técnica europeia ETA 06/0138.

Abstract. The *cross laminated timber* (CLT) is a new constructive material, made with reforestation timber, which has attracted attention by your high load bearing capacity. In this article, the manufacturing process of CLT panels is presented. They are made in the CAV – UDESC, Lages. Through bending tests, the modulus of elasticity of 5 panels was obtained. Only one panel met the requirements of European Technical Standard ETA 06/0138.

1. Introdução

O nome CLT vem do inglês *cross laminated timber*, ou madeira lamelada cruzada. Trata-se de painéis estruturais constituídos por tábuas de madeira, coladas em camadas. Na fabricação dos painéis, tábuas de *Pinus* são coladas em camadas transversais com adesivos de alta performance, formando painéis com elevada resistência mecânica e desempenho térmico e acústico. Utilizando esses painéis como laje e parede, construções de pequeno, médio e grande porte podem ser construídas sem a necessidade de vigas, pilares ou outros materiais estruturais. A figura 1 ilustra a configuração de um painel de CLT.

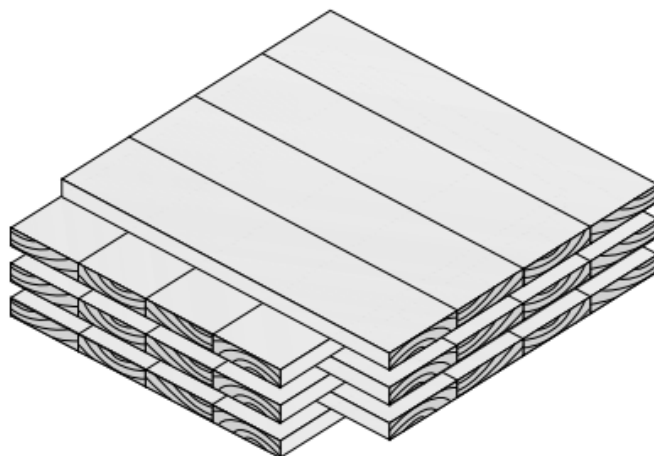


Figura 1. Ilustração de um painel de CLT (CLT Handbook, 2013).

A tecnologia do CLT foi desenvolvida na Europa, por meio de parceria entre indústria e universidade austríacas, e começou a ganhar popularidade por lá a partir dos anos 2000. Hoje, em lugares como Canadá, Austrália e parte da Europa, o CLT já é uma realidade, com prédios de até 10 andares construídos apenas em madeira, e competindo de maneira igualitária com construções de concreto e aço (CLT Handbook, 2013).

Entre as vantagens de se construir com o CLT, em relação aos materiais estruturais tradicionais (concreto e aço), está em se tratar de um material sustentável. Ele é composto por madeira, material da construção civil de fonte renovável e que possui a vantagem de sequestrar gás carbônico da atmosfera durante o crescimento da árvore e produção da madeira. A produção dos painéis consome apenas 50% da energia necessária para produzir o volume unitário de concreto e menos de 1% da necessária para produzir o aço. O processo de construção também é mais limpo que os métodos tradicionais, com níveis de poeira reduzidos devido ao alto nível de acabamento. O CLT também possui a vantagem da pré-fabricação, tendo pouco tempo de montagem, necessidade de poucos trabalhadores, baixo desperdício de material e a opção de se trabalhar com módulos. Além do bom isolamento térmico e acústico natural da madeira (CLT Handbook, 2013).

O Estado de Santa Catarina, em especial a Região Serrana, é um grande produtor nacional de madeira de floresta plantada. Porém, a madeira ainda é subutilizada no setor da construção civil, segundo Szücs (*apud* Meirelles, 2007). O uso de técnicas construtivas inadequadas no Brasil, ao longo de sua história, fez com que as construções em madeira sejam sinônimos de sub-habitação ou de pouca durabilidade. Os novos paradigmas de sustentabilidade e as transformações que a sociedade vem passando fazem com que esse estigma necessite ser revisto. Com o CLT, a madeira ganha capacidade construtiva e agrega valor ao material.

Por se tratar de um material com função estrutural, é necessário o conhecimento de parâmetros como rigidez e resistência à flexão para possibilitar o correto dimensionamento da estrutura. O objetivo principal do trabalho é apresentar o processo de fabricação do material e avaliar a rigidez de cinco painéis de três camadas da espécie *Pinus taeda*.

Como base para avaliar os valores de módulo de elasticidade obtidos por meio do ensaio, foi utilizado o documento técnico European Technical Approval ETA 06/0138, que recomenda, para painéis de CLT, o valor mínimo de módulo de elasticidade de 12000 MPa (ETA 06/0138, 2012).

2. Materiais e método

2.1. Beneficiamento da madeira utilizada nos painéis

A madeira de *Pinus taeda* utilizada para a confecções dos painéis é proveniente de reflorestamento do Planalto Catarinense. As árvores tinham idade entre 15 e 18 anos e diâmetros variando entre 18 a 25 centímetros.

O sistema utilizado para o processamento de desdobro das toras, em tábuas, foi realizado em um sistema de serras-fitas do tipo tandem, com carro transportador de toras (Turbina Metalúrgica) fita para desdobro com cabeçote duplo (E-Lux) e utilização de refiladeira.

O processo de desdobro das tábuas ocorreu em parceria com a empresa Righez Madeiras Ltda., localizada no Município de Capão Alto, Santa Catarina. A empresa utiliza a espécie do estudo como sua principal fonte de matéria-prima, destinando a comercialização para o setor da Construção Civil, com aplicabilidade em andaimes e formas de concreto.

Após o processamento de desdobro, foram utilizadas 90 tábuas de *Pinus taeda*, com dimensões de 20 mm de espessura, 200 mm de largura e 3000 mm de comprimento, totalizando um volume de 1,080 m³.

O processo de secagem foi realizado no pátio fabril da empresa em parceria, através de sistema simples de secagem não artificial, as tábuas foram gradeadas e mantidas ao tempo, por aproximadamente um período de 35 dias.

Posteriormente, foram transportadas e armazenadas no Laboratório de Construções em Madeira do Centro de Ciências Agroveterinárias.

O valor de umidade média do lote de madeira de 17% foi obtido por meio do uso de um higrômetro e a densidade aparente encontrada foi 510 kg/m³. Também foi realizada classificação visual de madeira serrada de coníferas oriunda de reflorestamento, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. As tábuas são divididas em quatro classes, denominadas pela norma como classe estrutural Especial (SE), classe estrutural N° 1 (S1), classe estrutural N° 2 (S2) e classe estrutural N° 3 (S3), assim, as tábuas que não se encontram de acordo com a norma foram eliminadas do lote.

Através de parceria com a WL Madeiras Ltda., localizada no município de Lages, foi realizado o aplainamento das tábuas nas duas faces com maior largura. Após este processo, as tábuas ficaram com 15 mm de espessura, já a largura e o comprimento permaneceram os mesmos, com 200 mm e 3000 mm respectivamente. Esse processo é importante pois os poros da madeira devem estar abertos na hora da prensagem para maior penetração da cola.

2.2. Determinação do módulo de elasticidade das tábuas

Todas as peças foram identificadas e avaliadas quanto à rigidez com ensaio não destrutivo, baseado na Norma Americana ASTM D4761 (2013), que regulamenta ensaio de flexão à três pontos com carregamento na direção transversal da menor inércia da peça de madeira para obter seu módulo de elasticidade longitudinal na flexão.

Os ensaios foram realizados por determinação, feitos mediante uso de um transdutor indutivo acoplado a um sistema de aquisição automático de dados (sistema de aquisição de dados HBM modelo MX440A). O transdutor (W 50 mm) foi posicionado no meio do vão e na linha neutra das tábuas.

Foram submetidas cargas de 21 N, 51,7 N e 97,9 N nas faces superior e inferior. Para cada valor de carga, foi medido o seu respectivo deslocamento vertical na peça.

O módulo de elasticidade longitudinal na flexão atribuído a cada tábua foi determinado a partir do valor médio dos módulos obtidos nos seis carregamentos. Na Figura 2 é possível visualizar uma tábua durante o ensaio de determinação do módulo de elasticidade realizado.



Figura 2. Ensaio de flexão para determinação do módulo de elasticidade das tábuas.

2.3. Posição das tábuas nos painéis

A metodologia escolhida para definir a posição de cada tábua nos painéis foi feita a partir dos valores de módulo de elasticidade longitudinal na flexão (E_x). Visando melhor aproveitamento das tábuas, decidiu-se utilizar as tábuas de maior E_x do lote nas camadas periféricas, pois segundo Bodig e Jayne (1982), as melhores lâminas devem ser posicionadas no terço superior e inferior das vigas (regiões de maior esforço na flexão) e as de menor qualidade no terço interior. Com o E_x das tábuas ordenados de forma decrescente (Tabela 1), optou-se por selecionar as 10 tábuas de maior E_x do lote com as 5 tábuas de menor E_x para fabricar o primeiro painel, e assim sucessivamente. Na Tabela 1 é apresentada a identificação das tábuas utilizadas em cada painel por meio da escala de cinza. É importante notar que o valor de E_x das tábuas externas vai decrescendo do Painel 1 ao Painel 5.

Tabela 1. Lista das tábuas ordenadas pelo seu módulo de elasticidade

Peça	E_x (MPa)	Peça	E_x (MPa)	Peça	E_x (MPa)	Peça	E_x (MPa)
29	17887,0	18	10939,4	61	9401,2	27	7595,2
14	16750,8	22	10776,3	40	9236,2	15	7528,0
70	16158,0	2	10764,4	58	9079,5	57	7414,9
11	14116,7	53	10763,1	42	9062,3	32	7320,0
51	14060,3	69	10694,1	64	9037,7	73	7311,6
4	12960,5	67	10681,5	20	9032,7	41	7243,1
75	12723,7	19	10596,3	3	9020,2	8	7229,7
10	12382,8	68	10477,9	62	8973,4	12	7161,0
60	12359,9	16	10446,5	23	8545,8	25	6797,1
21	12340,8	78	10305,2	50	8222,5	26	6730,7
7	12223,4	59	9950,7	74	8195,2	37	6485,1
48	11726,6	65	9912,5	72	8115,2	34	6389,2
79	11447,2	55	9886,2	76	8054,3	43	6173,0
5	11284,5	63	9862,0	71	8028,7	9	6121,7
39	11121,1	33	9819,3	45	8010,0	28	6039,4
56	11105,3	31	9756,1	52	7907,5	6	6015,9
35	11054,8	49	9741,0	13	7650,6	38	5966,1
36	11051,4	1	9608,2	30	7645,4	44	5760,3
47	10979,1	66	9559,2	17	7633,6	24	5402,6
54	10973,3	77	9407,4			46	5372,3

Legenda:

	Tábuas utilizadas no Pannel 1		Tábuas utilizadas no Pannel 4
	Tábuas utilizadas no Pannel 2		Tábuas utilizadas no Pannel 5
	Tábuas utilizadas no Pannel 3		Tábuas não utilizadas

Das 10 tábuas de maior módulo de elasticidade de cada painel, 5 foram utilizadas na camada superior e 5 na camada inferior. Na busca de maior uniformidade nas propriedades mecânicas entre os painéis, distribuíram-se as tábuas de maneira subsequente na montagem de cada painel. As 5 tábuas de menor rigidez foram serradas, dividindo do comprimento inicial de 300 cm para três peças de 100 cm de comprimento, e dispostas em ordem alternada na camada intermediária. Para exemplificar, na Figura 3 é possível observar como foram distribuídas as tábuas do painel 1.



Figura 5. Painel de CLT produzido no CAV.

2.4. Montagem dos painéis

As etapas da montagem dos painéis de CLT são identificadas a seguir:

- 1) Plainar as tábuas até a espessura de 15 mm;
- 2) Distribuir as tábuas da camada inferior lado a lado;
- 3) Aplicar cola na face inferior das tábuas da camada intermediária e distribuí-las lado a lado, no sentido transversal, sobre a camada inferior;
- 4) Aplicar cola na face inferior das tábuas da camada superior e distribuí-las lado a lado sobre a camada intermediária;
- 5) Prensar o painel durante no mínimo 24 horas.

O adesivo utilizado na montagem dos painéis foi a Kleiberit® 501, cola monocomponente que endurece em contato com umidade, a base de poliuretano, para colagens de alta resistência. As superfícies que seriam coladas foram plainadas no máximo 24 horas antes da montagem dos painéis. Dessa forma, no momento da montagem os poros da madeira estavam abertos para a melhor penetração da cola. Caso fosse maior o tempo entre plainar a tábua e a sua colagem, a madeira liberaria resina, que impediria ocorrer total aderência entre a superfície da madeira e adesivo, diminuindo a eficiência na adesão.

Foram utilizadas luvas de borracha para aplicar o adesivo, assim a gordura das mãos não entra em contato com a cola. A quantidade de cola recomendada pelo fabricante é de 100 a 200 g/m² e o tempo de prensagem para 20 °C é de 24 horas segundo a ficha técnica (Ficha Técnica Kleiberit® 501, 2017).

Para aplicar pressão foi utilizada uma prensa manual com pressão de colagem de 6 MPa, na qual 12 barras com distância de 25 cm entre si, como mostra a Figura 6, distribuem a carga de prensagem na forma mais uniforme possível sobre o painel. As faces laterais foram prensadas por uma cinta de amarração com catraca. A pressão de colagem foi mantida por 24 horas.



Figura 6. Prensagem do painel.

2.3. Ensaio de flexão nos painéis

Para avaliar a rigidez dos painéis, foram realizados ensaios de flexão. O ensaio foi feito de forma não destrutiva, no regime elástico, para permitir futura caracterização da resistência mecânica do painel. Devido a isso, foi possível realizar o ensaio nos dois lados de um mesmo painel, identificados como lados A e B.

A distância teórica entre os apoios foi de 2,2 m e a carga máxima aplicada foi de 3 kN distribuída ao longo da largura no meio do vão. Os painéis estavam apoiados em peças de madeira de Angelim pedra (*Hymenolobim petraeum* Ducke) de seção retangular. Para efeito de comportamento estrutural, os vínculos foram considerados articulados.

Na figura 7 é possível observar o sistema de aplicação de força preparado para o ensaio. Ele consiste em um cutelo de Angelim pedra, com dimensões de 4 cm x 16 cm x 110 cm, para distribuir o carregamento em uma maior superfície de contato com os painéis; outra peça de Angelim pedra, com dimensões de 4,5 cm x 16 cm x 40 cm, foi acoplada ao cutelo para apoiar a célula de carga; uma célula de carga U10M/5kN para medição da carga aplicada e um macaco hidráulico com capacidade de 15000 kN.



Figura 7. Ensaio de flexão do painel.

Como esse sistema de aplicação de carga não estava suspenso e sim apoiado no próprio painel que seria ensaiado, foi considerada uma carga inicial de 190 N, que é o peso do sistema. Para medição do deslocamento foram utilizados dois transdutores de deslocamento de WA 50 mm, no centro dos lados do painel. O programa de aquisição de dados utilizado para registrar a leitura dos transdutores de deslocamento e da célula de carga foi o HBM Catman Easy (Figura 8).



Figura 8. Imagem do monitor durante uso do programa HBM Catman Easy para leitura da carga e do deslocamento durante o ensaio de flexão.

Para aumentar o valor do carregamento aplicado, o macaco hidráulico era acionado manualmente e este empurrava o cutelo em direção ao painel, pois estava impedido de deslocar para cima pela prensa. A velocidade de aplicação de força foi de aproximadamente 10 mm/min, controlada pela observação do gráfico de força x deslocamento no monitor.

3. Resultado e discussões

A tabela 2 mostra os resultados do deslocamento máximo dos painéis durante os ensaios de flexão, e o valor do módulo de elasticidade longitudinal E_x . Cada painel foi ensaiado com suas duas faces posicionadas para cima, identificadas como A e B.

Tabela 2. Deslocamento e módulo de elasticidade dos painéis.

<i>Amostras</i>	<i>Deslocamento (mm)</i>	<i>Módulo de elasticidade (MPa)</i>
P1A	5,61	13745,6
P1B	6,03	12916,4
P2A	6,74	11283,0
P2B	6,69	11571,5
P3A	8,78	8810,5
P3B	7,65	10075,5
P4A	7,67	10034,9
P4B	7,62	10020,8
P5A	7,83	9805,9
P5B	8,90	8621,2

Média	7,35	10688,5
-------	------	---------

É possível observar que, como esperado, os painéis com tábuas de maior módulo de elasticidade nas camadas periféricas, iniciando pelo Pannel 1, apresentaram maior módulo de elasticidade, com exceção do painel P3A que apresentou valor discrepante.

Segundo o documento técnico ETA 06/0138, o valor mínimo de módulo de elasticidade recomendado é de 12000 MPa, dessa forma, apenas o painel P1 atenderia ao requisito. Esse valor poderia ser alcançado, com a mesma espécie de madeira, utilizando tábuas de maior espessura ou utilizando maior número de camadas.

Referências

FPINNOVATION. CLT Handbook US Edition. Port-Claire, QC, Canadá, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 2002.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti. Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. 2007.

BODIG, J. e JAYNE, B. A. Mechanics of wood and wood composites. Nova Iorque, 1982.

Ficha Técnica Kleiberit 501, 2017.

ETA 06/0138. European Technical Approval – KLH MassivHolzplatten. European Organisation for Technical Approvals. Viena, 2012. Disponível em: <http://www.klhuk.com/media/9379/klh_eta_certificate_en.pdf>. Acesso em 03/12/2017.