

PAINÉIS ESTRUTURAIS EM MADEIRA LAMINADA CRUZADA¹

Leonardo Kellet Coelho², Rodrigo Figueiredo Terezo³, Alexsandro Bayestorff da Cunha⁴

¹ Vinculado ao projeto Painéis Estruturais em Madeira Laminada Cruzada

² Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal – CAV – Bolsista PROBITI/UDESC

³ Orientador, Departamento de Engenharia Florestal – CAV – rodrigo.terezo@udesc.br

⁴ Co-Orientador, Departamento de Engenharia Florestal – CAV – alexsandro.cunha@udesc.br

Os Painéis Autoportantes em Madeira (PAM), também conhecido por sua abreviação em inglês CLT (Cross Laminated Timber), são formados por camadas de tábuas sobrepostas de forma cruzada (usualmente 90 graus) com suas faces mais largas coladas entre si. Os painéis PAM são fabricados geralmente com três e até sete camadas, variando em número ímpar. Em configurações especiais, camadas seguidas podem estar dispostas na mesma direção, para obter características estruturais específicas. Os painéis têm função estrutural, funcionando como laje e parede numa construção. Deste modo, esse trabalho visa apresentar o processo de manufatura dos painéis autoportantes em madeira utilizando a espécie de *Pinus taeda*, avaliar a rigidez dos painéis através de ensaios laboratoriais, comparar e analisar entre os painéis feitos com lamelas classificadas visualmente de acordo com a NBR 7190 anexo G e painéis feitos com as lamelas classificadas pelo método de módulo de elasticidade obtido previamente pela EN 338:2016 e pinus bruto. As toras de *Pinus taeda* foram aleatoriamente escolhidas no pátio de uma serraria em Capão Alto, Santa Catarina, Brasil. Uma empresa terceira forneceu as toras para a serraria, cujas florestas plantadas são localizadas em Campo Belo do Sul, Santa Catarina, Brasil. A latitude da área é 27°53'55" S e longitude 50°45'26" W, com classificação de Köppen Cfb, e precipitação anual média de 1406mm. As toras possuíam um diâmetro entre 350-450mm, com 3060 mm de comprimento e idade de 30 anos. O diâmetro médio das toras foi obtido pela razão entre a circunferência e número pi. A média das circunferências foi determinada pelas medidas da ponta fina e da ponta grossa de cada uma das toras. O sistema de desdobro das toras foi implementado de acordo com as medidas comerciais praticadas pela serraria, cujas dimensões foram de 25 x 150 x 3060 mm e 25 x 100 x 3060 mm (espessura, largura, comprimento). Este padrão de desdobro teve como objetivo obter a maior quantidade de tábuas (visando maior rendimento). Por causa do desdobro utilizado, a maior parte das tábuas tiveram uma distribuição radial. Antes de entrarem na linha do desdobro as toras foram numeradas. Após o desdobro cada tábua foi marcada de acordo com a respectiva tora de origem. Em seguida, as tábuas seguiram para a estufa de secagem, com programação visando o teor de umidade final de 12%. O programa da estufa também seguiu o já utilizado pela empresa. Para manter o controle dentro da estufa, oito pares de eletrodos foram pregadas na madeira. A madeira após seca foi transportada para o Laboratório de Construções e Materiais na Universidade do Estado de Santa Catarina, no Centro de Ciências Agroveterinárias, localizado em Lages, SC. Antes de serem feitos os painéis, as tábuas passaram pela classificação visual de madeira serrada, segundo o anexo G do projeto de norma PNBR-7190 (2006). As tábuas foram 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 encontravam de acordo com a especificação foram eliminadas do experimento. E após a classificação visual, foram realizados ensaios de flexão a três pontos, para se obter o módulo de elasticidade de cada tábua, para serem classificadas estruturalmente de

acordo com a EN 338:2016. Com as tábuas devidamente classificadas estruturalmente, foram delineados os tratamentos dos painéis autoportantes sendo, o tratamento 1 (T1), todas as 3 camadas foram constituídas aleatoriamente de tábuas do grupo NS1 (sem classe estrutural), o tratamento 2 (T2), as camadas externas com tábuas do grupo $\geq C24$ e a camada interna com a mistura de tábuas dos grupos C16 e $\geq C18$, o tratamento 3 (T3), as camadas externas com a mistura de tábuas dos grupos C16 e $\geq C18$ e a camada interna com tábuas a mistura dos grupos C14 e C16 e o tratamento 4 (T4), as camadas externas com a mistura de tábuas dos grupos C14 e C16, e a camada interna com tábuas do grupo NS2 (não estruturais). Após a classificação das lamelas, elas passaram pelo processo de aplainamento, realizado no Laboratório de Construções e Materiais, esse processo é importante, pois os poros da madeira devem estar abertos na hora da prensagem para maior penetração da cola. A cola foi aplicada nas tábuas da camada intermediária e distribuídas lado a lado, no sentido transversal, sobre a camada inferior. Posteriormente foi aplicada cola nas tábuas da camada superior e distribuídas lado a lado sobre a camada intermediária. A quantidade do adesivo utilizado foi de 200 g/m² nas lamelas de 2100 mm de comprimento e 80 g/m² nas lamelas de 750 mm de comprimento. Ao final o painel foi prensado numa prensa manual com pressão de 6 MPa. O adesivo estrutural utilizado na montagem dos painéis é à base de poliuretano monocomponente PUR da empresa Kleiberit. As laterais foram prensadas por meio de cintas de amarração tensionadas com catracas. A pressão de colagem foi mantida por 24 horas, seguido de 72 h sem pressão para garantir o término da cura do adesivo. Todos os corpos de prova foram submetidos a uma fase de secagem prévia, em ambiente climatizado, com temperatura de (20 ± 2) °C e umidade relativa do ar de (65 ± 5) %, visando condicionar os corpos de prova a um teor de umidade próximo de 12 %. Este procedimento foi adotado para diminuir o erro cometido ao reportar os resultados dos ensaios ao teor de umidade de referência. Para avaliar a rigidez dos painéis, foram realizados ensaios de flexão a quatro pontos. Os ensaios foram feitos de forma não destrutiva, no regime elástico. Os resultados de resistência mecânica determinados nesta pesquisa pelos painéis com classificação prévia do módulo de elasticidade de acordo com a EN 338:2016 estão acima do exigido pela norma American National Standard Institute - ANSI/APA PRG 320, e da ETA 06/0138 (2012), a qual indica valores de 12.000 MPa para o módulo de elasticidade na flexão, onde foi obtido nos testes os valores médios mínimos do (T1) 4.427,33 MPa, para o (T4) 8.810,00 MPa, para o (T3) 9.948,66 MPa, e o valor máximo médio para o (T2) 12.953,00 MPa, sendo o coeficiente de variação de 4,01% para o valor médio entre os tratamentos. O trabalho de classificação das lâminas e o seu correto ordenamento nas camadas são responsáveis pelo baixo coeficiente de variabilidade dos resultados, revelando assim uma linearidade do comportamento mecânico na proporção de 1:2 (força:deslocamento). Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que, para se fazer painéis Cross Laminated Timber com *Pinus taeda* para o mercado estrutural, é necessário a classificação das lamelas pelo módulo de elasticidade, para atender os parâmetros de norma, utilizando somente a classificação visual, não é possível ter um painel estrutural compatível com as normas.

Palavras-chave: Cross Laminated Timber. Madeira estrutural. *Pinus taeda*.