

Qualidade da colagem de painéis compensados com a madeira de *Cupressus lusitanica* Mill.

Bonding quality of plywood with Cupressus lusitanica Mill. wood

Karina Soares Modes ¹(ORCID 0000-0002-2249-2873), **Vitoria Cozer** ²(ORCID 0000-0002-0297-6897), **Alexsandro Bayestorff da Cunha** ³(ORCID 0000-0001-5554-5276), **Mario Dobner Júnior** ⁴(ORCID 0000-0001-7216-781X), **Magnos Alan Vivian** ¹(ORCID 0000-0001-7793-8425)

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibaanos, SC, Brasil. *Autor para correspondência: ksmodes@gmail.com

²SUMATRA Inteligência Ambiental, Lages, SC, Brasil.

³Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

⁴Florestal Gateados Ltda, Campo Belo do Sul, SC, Brasil.

Submissão: 15 de Fevereiro, 2024 | Aceite: 03 de Fevereiro, 2025

RESUMO

O estado de Santa Catarina ocupa uma posição de destaque nas exportações nacionais de compensado de coníferas e cuja produção é altamente dependente da madeira de pinus. Com vistas a ampliar as possibilidades de inclusão de novas matérias-primas nesse segmento, o estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da colagem de painéis compensados confeccionados com lâminas da madeira de *C. lusitanica* e combinação desta com a madeira de *P. taeda* e comparar o desempenho com painéis compostos apenas desta última e com os requisitos estipulados para compensado de Pinus pelo Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM). Os painéis com 17 mm de espessura, colados com resina fenólica na gramatura de 328 g/m², consolidados em prensa à temperatura de 135 °C e pressão específica de 12 kgf/cm² foram avaliados quanto à qualidade da colagem das linhas de cola superior, central e inferior pelo ensaio de resistência ao cisalhamento após pré-tratamentos básico e adicional para classes de colagem 2 e 3. Observou-se que a matéria-prima utilizada não promoveu influência na tensão média ao cisalhamento dos painéis compensados produzidos e na qualidade da colagem entre as linhas de cola, bem como houve atendimento dos mesmos à resistência média ao cisalhamento para painéis de pinus de característica similar estipulado pelo PNQM, com exceção dos painéis resultantes da mistura da espécie *C. lusitanica* à espécie *P. taeda*, após o pré-tratamento "BDB". A utilização da madeira de *C. lusitanica* resultou em chapas com qualidade da colagem equivalente à obtida para painéis de *P. taeda*, podendo ser uma opção a ser introduzida no segmento de painéis de madeira compensada, sem necessidade de adaptação ao processo de manufatura já consolidado para a madeira de *P. taeda*.

PALAVRAS-CHAVE: Cisalhamento. Linha de cola. Espécie alternativa. Conífera.

ABSTRACT

The state of Santa Catarina occupies a prominent position in national exports of coniferous plywood and whose production is highly dependent on pine wood. With a view to expanding the possibilities of including new raw materials in this segment, the study aimed to evaluate the quality of gluing plywoods made with *C. lusitanica* wood veneers and its combination with *P. taeda* wood and compare performance with panels composed only of *P. taeda* and with the requirements stipulated for Pine plywood by the National Wood Quality Program (PNQM). Panels with 17 mm thick, glued with phenolic resin at a amount of adhesive of 328 g/m², consolidated in a press at a temperature of 135 °C and specific pressure of 12 kgf/cm² were evaluated for the quality of the bondline upper, central and lower by the shear strength test after basic and additional pre-treatments for gluing classes 2 and 3. It was observed that the raw material did not influence the average shear stress of the plywoods produced and the quality of the gluing between the gluelines, and attended the average shear resistance for pine plywoods with similar characteristics by PNQM, with the exception of panels resulting from the mix of the species *C. lusitanica* and the species *P. taeda*, after

Publisher's Note: UDESC stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

pre-treatment "BDB". The use of *C. lusitanica* wood resulted in pannels with gluing quality equivalent to that obtained for *P. taeda* panels and could be an option to be introduced in the plywood panel segment, without the need to adapt to the already consolidated manufacturing process for the plywoods of *P. taeda*.

KEYWORDS: Shear strength. Bondline. Alternative species. Conifer.

INTRODUÇÃO

De acordo com dados do relatório referente ao ano de 2022 da indústria Brasileira de Árvores (IBÁ 2023), no referido ano o setor de árvores cultivadas no Brasil gerou 2,6 milhões de empregos diretos e indiretos e alcançou uma receita bruta de R\$ 260 bilhões, sendo esse resultado do corte e replantio de uma área de 9,94 milhões de hectares composta de poucas espécies, em sua quase totalidade pelo eucalipto, abrangendo 76% dessa área plantada, seguido pelo pinus, com 19% do total, sendo os 5% restantes representados pela seringueira, teca e acácia.

Segundo a Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR 2022) no ano de 2021 o estado de Santa Catarina participou com um total de 1,03 milhões de hectares de área plantada com aproximadamente 69% desta composta pelo pinus, responsável pelo abastecimento dos segmentos de madeira serrada, painéis de madeira, celulose, papel, portas, molduras, móveis, altamente dependentes desta matéria-prima, e nos quais o estado está entre os líderes de exportação.

Nesse sentido iniciativas de estudos com vistas a ampliar as possibilidades de fornecimento de matéria prima alternativa para o setor madeireiro vem surgindo no estado de SC como o estudo conduzido por DOBNER JÚNIOR (2021) que observou para a espécie *Cupressus lusitanica* Mill., em crescimento na região serrana catarinense, produtividades de até 31 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ nas idades entre 16 e 18 anos, portanto comparável à registrada para o gênero Pinus no estado.

Nesse sentido, tendo em vista o potencial de crescimento já relatado para esta espécie no estado de SC, a elevada dependência do setor madeireiro pela madeira de pinus e a necessidade de atender a crescente demanda de exportação de compensado de coníferas, impulsionado pelo elevado valor agregado desse tipo de produto, e no qual o estado se destaca na segunda posição nacional, desenvolveu-se o presente estudo com vistas a verificar a possibilidade de inserção da espécie *C. lusitanica* como matéria-prima no segmento do compensado de coníferas.

Com relação à viabilidade técnica da utilização da madeira de *C. lusitanica* nas propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira compensada, MODES et al. (2023) avaliando os mesmos painéis do presente estudo, concluíram que a utilização da madeira de *C. lusitanica* na forma pura ou combinada à madeira de *P. taeda* na manufatura dos painéis resultou em chapas mais leves, de estabilidade dimensional e de resistência à flexão estática equivalente à obtida para painéis somente com a madeira de *P. taeda*, podendo, em função das referidas características técnicas, se tornar uma opção a ser considerada na indústria de chapas de madeira compensada. Assim, a fim de complementar a investigação do potencial da espécie *C. lusitanica* em atender o segmento de madeira compensada, é importante avaliar o efeito da interação da espécie com o processo industrial a que foi submetida sobre a qualidade da colagem e, portanto, no grau de consolidação do produto final para um adequado desempenho em uso.

Para LIMA et al. (2011) a linha de cola só apresentará problemas podendo gerar falhas no produto final se durante o processo de colagem não forem levados em considerações fatores como a qualidade e viscosidade do adesivo, teor de umidade das lâminas e o grau de limpeza da superfície. Adicionalmente ao relatado pelos autores, tem-se ainda os aspectos relacionados à etapa de prensagem a quente dos painéis, como temperatura, pressão e tempo de prensagem, este último responsável pela adequada transferência do calor das camadas superficiais do painel, em contato direto com a chapa aquecida da prensa, até a linha de cola mais interna, e manutenção desta pelo tempo necessário à evaporação da umidade e cura da resina.

Nesse sentido, é importante verificar se os aspectos operacionais já consolidados para a madeira de *P. taeda* na indústria de painéis compensados atendem os aspectos de industrialização para a madeira de *C. lusitanica*, a fim de que esta última possa ser introduzida no referido segmento na forma de painéis puros ou combinados à madeira de *P. taeda*. Sendo assim, o estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da colagem de painéis compensados confeccionados com lâminas da madeira de *C. lusitanica* e combinação desta com a madeira de *P. taeda* e comparar os resultados obtidos com os painéis confeccionados somente com a madeira de *P. taeda*, bem como com os requisitos mínimos estipulados para compensado de Pinus pelo Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM).

MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente estudo, foram avaliados painéis compensados produzidos industrialmente por uma empresa do setor localizada no município de Presidente Getúlio, SC, a partir de lâminas de madeira das espécies *Pinus taeda* L. e *Cupressus lusitanica* Mill. sob três configurações: painéis compostos exclusivamente por lâminas da madeira de *P. taeda* (tratamento 1), painéis compostos exclusivamente por lâminas da madeira de *C. lusitanica* (tratamento 2) e painéis compostos pela combinação de lâminas de *P. taeda* e *C. lusitanica* (tratamento 3). Para esse último, as lâminas de madeira de *C. lusitanica* foram orientadas longitudinalmente na composição dos painéis. Foram avaliados três painéis por tratamento, compostos de sete lâminas coladas com resina fenólica na gramatura de 328 g/m² e espessura total de 17 mm, consolidados em prensa à temperatura de 135 °C, tempo de prensagem de um minuto por cada mm de espessura nominal do painel e pressão específica de 12 kgf/cm².

Para a colagem de lâminas foi utilizada a resina fenol-formaldeído, com teor de sólidos de 34%, pH de 11 a 13 e viscosidade Brookfield de 120 a 200cP. A batida de cola foi preparada com a seguinte composição: 320 kg de resina fenol-formaldeído, 90 kg de extensor (farinha de trigo) e 90 kg de água.

De cada painel foram confeccionadas 30 amostras, num total de 90 corpos de prova para cada configuração de painel. Desse total, os corpos de prova foram divididos em dois lotes de 45 corpos de prova cada, compostos por 15 corpos de prova para avaliação da colagem na linha de cola central, 15 corpos de prova para avaliação da linha de cola superior e 15 corpos de prova para avaliação da linha de cola inferior. Para isso, os corpos de prova sofreram entalhes com corte de serra até

o interior da camada referente à linha de cola a ser avaliada.

Um dos lotes foi submetido ao pré-tratamento básico “24 h Imersão fria” que consistiu na imersão dos corpos de prova por 24 h em água a uma temperatura não inferior a 17 °C (Figura 1A), seguido do ensaio de cisalhamento na linha de cola, e o outro submetido ao pré-tratamento adicional “BDB” que consistiu na imersão dos corpos de prova por 4 h em água em ebulição, secagem em estufa ventilada por 16 h a 20 h à temperatura de 60 ± 3 °C, imersão em água em ebulição por 4 h, seguidas de resfriamento em água a uma temperatura inferior a 30 °C por pelo menos 1 h antes da execução do ensaio (Figura 1A, 1B e 1C). Antes dos pré-tratamentos os corpos de prova tiveram medidos o comprimento e a largura da área de cisalhamento com paquímetro digital. O preparo dos corpos de prova, metodologia dos pré-tratamentos e execução do ensaio de cisalhamento na linha de cola (Figura 1D) seguiu recomendações da Norma Brasileira NBR 12466-1 (ABNT 2012a). Já os critérios referentes à interpretação dos resultados referente aos requisitos de colagem no que se refere a tensão média de cisalhamento e a média da ruptura coesiva aparente na madeira, seguiu o recomendado pela NBR 12466-2 (ABNT 2012b).

As propriedades obtidas pelos painéis de cada tratamento foram comparadas entre si e com os requisitos exigidos para compensado de Pinus de 18 mm estabelecidos pelo Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI 2002).



Figura 1. Etapas da execução dos pré-tratamentos nos corpos de prova antes do ensaio de cisalhamento na linha de cola. Corpos de prova imersos em água fria (A), Corpos de prova imersos em água em ebulição (B), Secagem dos corpos de prova em estufa ventilada (C); Corpo de prova submetido ao ensaio de cisalhamento na linha de cola em máquina universal de ensaios mecânicos (D).

Figure 1. Steps for carrying out pre-treatments on the specimens before the shear strength test on the bondline. Specimens immersed in cold water (A), Specimens immersed in boiling water (B), Drying of specimens in a drying oven (C); Specimen subjected to the shear test in the glue line on a universal mechanical testing machine (D).

Os valores médios de tensão ao cisalhamento na linha de cola das diferentes composições de painéis compensados foram analisados estatisticamente adotando-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), utilizando o programa Sisvar. A normalidade dos dados foi determinada pelo teste de Shapiro Wilks e a verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de Barlett. Os resultados de tensão ao cisalhamento na linha de cola entre tratamentos e dentro de um mesmo tratamento foram submetidos à análise de variância e, havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, aplicou-se o teste Tukey ao nível de 5% de significância com o intuito de identificar essas diferenças.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 constam os resultados referentes ao ensaio de cisalhamento nas linhas de cola avaliadas em cada tratamento (composição de painel) após aplicação dos pré-tratamentos básico (24 h Imersão fria) e adicional (BDB).

Tabela 1. Valores médios de resistência ao cisalhamento nas linhas de cola superior, central e inferior e média geral dos painéis de cada tratamento.

Table 1. Average values of shear strength in the upper, central and lower glue lines and overall average of the panels in each treatment.

Tratamento/ Pré-tratamento	24 h Imersão fria Linha de cola				BDB Linha de cola			
	S	C	I	Média	S	C	I	Média
	N/mm ²							
<i>P. taeda</i>	1,68A (0,41)	1,66A (0,61)	1,65A (0,51)	1,67a* (0,51)	1,38A (0,30)	1,51A (0,42)	1,44A (0,46)	1,44a (0,39)
<i>C. lusitanica</i>	1,76A (0,45)	1,66A (0,60)	1,74A (0,27)	1,72a (0,44)	1,42A (0,39)	1,53A (0,45)	1,41A (0,37)	1,45a (0,40)
<i>P. taeda x C. lusitanica</i>	1,52B (0,35)	1,96A (0,37)	1,50B (0,43)	1,66a (0,38)	1,29A (0,38)	1,39A (0,26)	1,30A (0,40)	1,32a (0,34)

*médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Valores entre parênteses se referem ao desvio padrão; 24 h Imersão fria: imersão dos corpos de prova por 24 h em água a uma temperatura não inferior a 17 °C; BDB: imersão dos corpos de prova por quatro h em água em ebulição, secagem em estufa ventilada por 16h a 20h à temperatura de 60 ± 3 °C, imersão em água em ebulição por quatro h, seguidas de resfriamento em água a uma temperatura inferior a 30 °C por pelo menos uma h antes da execução do ensaio; S: Linha de cola superior; C: Linha de cola central; I: Linha de cola inferior.

Observa-se que não há diferença estatística da resistência média da linha de cola ao esforço de cisalhamento entre os painéis compensados das diferentes configurações, ou seja, o tipo de matéria-prima utilizada não promoveu influência na qualidade da colagem dos painéis avaliados após a aplicação de ambos os pré-tratamentos, sendo esta uma vantagem comparativa da introdução da espécie alternativa *C. lusitanica* no processo de industrialização já consolidado da empresa de origem dos painéis. Já em relação à tensão ao cisalhamento entre as linhas de cola avaliadas dentro de um mesmo tratamento observa-se que, com exceção do apresentado pelo tratamento resultante da mistura das espécies *P. taeda* e *C.*

lusitanica após o pré-tratamento “24 h Imersão fria”, todos os demais não apresentaram diferença desse parâmetro entre as linhas de cola avaliadas. Com relação ao tratamento “*P. taeda* x *C. lusitanica*” se observa que a linha de cola central, embora seja considerada como a mais crítica no que se refere à qualidade da colagem, foi a que apresentou a melhor performance, cujo valor médio foi estatisticamente superior aos registrados pelas linhas de cola superior e inferior.

Em relação ao pré-tratamento “24 h Imersão fria” observa-se que a resistência média dos painéis e a apresentada por cada linha de cola de todos os tratamentos, superaram o valor médio de 1,37 N/mm² para ensaio úmido, estipulado para painéis compensados de pinus com características similares (sete lâminas com 18 mm de espessura), conforme consta no Catálogo Técnico para Painéis de Compensados de Pinus da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI 2002). Já para o pré-tratamento “BDB” não houve atendimento a este critério pelo tratamento resultante da mistura das espécies, tanto em relação à sua média geral como em suas linhas de cola superior e inferior, com valores aquém em 3,65%, 5,84% e 5,11%, respectivamente.

Já com relação ao valor mínimo de 0,78 N/mm² definido pelo mesmo documento, observou-se que dos corpos de prova submetidos ao pré-tratamento “24 h Imersão fria” apenas um corpo de prova dos 45 avaliados em cada tratamento, que incluiu todas as linhas de cola avaliadas, não atingiu o valor mínimo. Já naqueles submetidos ao pré-tratamento “BDB” 2 corpos de prova em cada tratamento apresentaram tensão de cisalhamento inferior ao valor mínimo.

A NBR 12466-2 (ABNT 2012b) que trata dos requisitos para avaliação da qualidade da colagem, estabelece que cada pré-tratamento deve ser aplicado a um conjunto de não menos do que cinco corpos de prova por linha de cola e que do total avaliado há necessidade de que um mínimo de 10 corpos de prova, por linha de cola ensaiada, satisfaça a combinação dos critérios de tensão média de cisalhamento e a média da ruptura coesiva aparente na madeira. O mesmo documento ainda estabelece que não haja necessidade de avaliação do percentual de ruptura coesiva aparente da madeira quando a tensão média de cisalhamento for superior a 1,0 N/mm². Nesse sentido, no presente estudo não foi analisado o percentual de ruptura coesiva da madeira na área cisalhada, uma vez que do total de 15 corpos de prova avaliados por linha de cola em cada pré-tratamento, houve atendimento ao número mínimo de corpos de prova mencionado pelo documento normativo quanto à tensão média de cisalhamento superior a 1,0 N/mm².

CONCLUSÃO

Não houve influência da utilização da madeira de *C. lusitanica* e sua mistura à madeira de *P. taeda* na tensão média ao cisalhamento dos painéis compensados produzidos, bem como não houve comprometimento na qualidade da colagem entre as linhas de cola.

Com exceção dos painéis compensados resultantes da mistura da espécie *C. lusitanica* à espécie *P. taeda* avaliados após o pré-tratamento “BDB”, houve atendimento dos painéis produzidos à resistência média da linha de cola ao cisalhamento em ensaio úmido para painéis compensados de característica similar

estipulado pelo Catálogo Técnico para Painéis de Compensados de Pinus proposto pela Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente.

A utilização da madeira de *C. lusitanica* na forma pura ou combinada à madeira de *P. taeda* resultou em chapas com qualidade da colagem equivalente à obtida para painéis apenas com a madeira de *P. taeda* podendo ser uma opção a ser introduzida no segmento de painéis de madeira compensada, sem necessidade de adaptação ao processo de manufatura já consolidado para a madeira de *P. taeda*.

CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

Conceitualização, metodologia e análise formal, Karina Soares Modes, Magnos Alan Vivian e Alexsandro Bayestorff da Cunha; software e validação, Karina Soares Modes e Magnos Alan Vivian; investigação, Karina Soares Modes, Alexsandro Bayestorff da Cunha e Vitoria Cozer; recursos e curadoria de dados, Karina Soares Modes, Vitoria Cozer e Mario Dobner Junior; redação - preparação do rascunho original, Karina Soares Modes e Vitoria Cozer; redação - revisão e edição, Karina Soares Modes; visualização, Karina Soares Modes; supervisão, Karina Soares Modes e Alexsandro Bayestorff da Cunha; administração do projeto, Karina Soares Modes e Mario Dobner Junior; obtenção de financiamento, Mario Dobner Junior. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

FINANCIAMENTO

Este trabalho não foi apoiado por nenhuma agência de financiamento.

DECLARAÇÃO DO CONSELHO DE REVISÃO INSTITUCIONAL

Não aplicável a estudos que não envolvam humanos ou animais.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Não aplicável porque este estudo não envolveu humanos.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados podem ser disponibilizados mediante solicitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa G13 Compensados pela confecção e transporte dos painéis compensados avaliados.

CONFLITOS DE INTERESSE

Não há conflitos de interesse a declarar.

REFERÊNCIAS

- ABIMCI. 2002. Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente. Catálogo técnico de compensado de pinus. Curitiba: PNQM.
- ABNT. 2012a. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Madeira compensada – Qualidade de colagem. Parte 1: Métodos de ensaio: NBR 12466-1. Rio de Janeiro: ABNT.

- ABNT. 2012b. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Madeira compensada – Qualidade de colagem. Parte 2: Requisitos: NBR 12466-2: Rio de Janeiro: ABNT.
- ACR. 2022. Associação Catarinense de Empresas Florestais. Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2022 (ano base 2021). Lages: ACR.
- DOBNER JÚNIOR M. 2021. Growth and yield of even-aged *Cupressus lusitanica* plantations in southern Brazil. *Floresta* 51: 980-989.
- IBÁ. 2023. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual 2023 (ano base 2022). São Paulo: IBÁ.
- LIMA NN et al. 2011. Influência da gramatura na resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleífera* Ducke. *Acta Amazonica* 41: 83-90.
- MODES KS et al. 2023. Propriedades físico-mecânicas de painéis compensados com a madeira de *Cupressus lusitanica* Mill. *Ciência Florestal* 33: 1-17.