Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 02/09/2023

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until Sept. 02, 2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

MURILO ALVES LIMA

VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LÂMINAS DE BAMBU COMO REFORÇO EM ESTRUTURAS DE LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) DE PINUS E ADESIVO POLIURETANO À BASE DE MAMONA

Botucatu
2022

MURILO ALVES LIMA

VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LÂMINAS DE BAMBU COMO REFORÇO EM ESTRUTURAS DE LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) DE PINUS E ADESIVO POLIURETANO À BASE DE MAMONA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal

Orientador(a): Juliana Cortez Barbosa

Coorientador(a): Elen Aparecida Martines Morales

Botucatu

2022

L732v

Lima, Murilo Alves
Viabilidade técnica do uso de lâminas de bambu como reforço em estruturas de laminated veneer lumber (LVL) de pinus e adesivo poliuretano à base de mamona / Murilo Alves Lima. -- Botucatu, 2022
53 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientadora: Juliana Cortez Barbosa
Coorientadora: Elen Aparecida Martines Morales

1. Produtos de Bambu. 2. Construção mista. 3. Guadua angustifolia. 4. Construção de madeira laminada. 5. Poliuretanas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LÂMINAS DE BAMBU COMO REFORÇO EM ESTRUTURAS DE LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) DE PINUS E ADESIVO POLIURETANO A BASE DE MAMONA

AUTOR: MURILO ALVES LIMA
ORIENTADORA: JULIANA CORTEZ BARBOSA
COORIENTADORA: ELEN APARECIDA MARTINES MORALES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª JULIANA CORTEZ BARBOSA (Participaçao Virtual)
Engenharia Industrial Madeireira / Universidade Estadual Paulista Campus Experimental de Itapeva

Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO (Participaçao Virtual)
Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. VICTOR ALMEIDA DE ARAUJO (Participaçao Virtual)
Grupo de pesquisa LIGNO / Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva

Botucatu, 02 de setembro de 2022

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Senbra Indústria e Comércio de Madeiras, pelas lâminas de pinus sp. doadas para o trabalho.

À minha Mãe e o Matheus, pelo apoio e aprovação da minha carreira acadêmica.

Às Profª. Drª. Juliana, Elen e Maristela, pela orientação, ensinamentos, paciência com o meu trabalho nesta dissertação.

À todos os professores e funcionários da FCA.

À todos os professores da UNESP e Universidad Nacional del Sur que tive contato virtualmente dentro do período de pandemia.

À todos os funcionários da UNESP de Itapeva.

RESUMO

O bambu é extensamente presente no território nacional e seus colmos podem ser colhidos com 5 anos de idade e em algumas espécies com 4 anos. Os colmos de bambu apresentam propriedades mecânicas equiparadas e em alguns casos superiores às inúmeras espécies de madeiras. Com a demanda de produtos sustentáveis e com a proposta do uso de madeira em estruturas, o bambu tem características físico-mecânicas semelhantes à madeira para entrar neste mercado. O presente estudo tem como objetivo avaliar se as lâminas esquadrejadas de *Guadua angustifolia* bicolor (bambu) utilizadas como reforço incrementam as propriedades mecânicas do laminated veneer lumber (LVL) de *Pinus sp*. para uso estrutural. As dimensões dos colmos de bambu foram avaliadas em espessura de parede e diâmetro interno e processadas com o uso de uma faca radial, plaina desengrossadeira e desempenadeira para formar a camada do painel com lâminas esquadrejadas. Foram produzidos LVLs com e sem revestimento de bambu para avaliar a colagem e o incremento alcançado nas propriedades de flexão. As vigas com revestimento de bambu melhoraram a resistência da estrutura e reduziram peso.

Palavras-chave: bambu; laminated veneer lumber; pinus; *Guadua angustifolia* bicolor; poliuretano.

ABTRACT

Bamboo is widely present in the national territory and its stalks can be harvested at 5 years of age and in some species at 4 years of age. Bamboo culms have mechanical properties similar to and in some cases superior to countless wood species. With the demand for sustainable products and the proposal to use wood in structures, bamboo has physical-mechanical characteristics similar to wood to enter this market. The present study aims to evaluate whether squared veneer sheets of *Guadua angustifolia* bicolor (bamboo) reinforce increase the mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) of Pinus sp. for structural use. The dimensions of the bamboo culms were evaluated in wall thickness and internal diameter and processed using a radial knife, planer and planer to form the layer of the panel with squared blades. LVLs with and without bamboo cladding were produced to evaluate the bonding and the achieved increment in the flexural properties. Bamboo-clad beams improved the strength of the structure and reduced weight.

Keywords: bamboo; laminated veneer lumber; pinus; *Guadua angustifolia* bicolor; polyurethane.

LISTA DE SÍMBOLOS

h	Altura da seção quadrada da viga no ensaio de flexão
h_o	Altura inicial do corpo de prova
$b \cdot d$	Área da seção com largura “b” e comprimento “d”
b	Base da seção quadrada da viga no ensaio de flexão
$P_{\max}$	Carga máxima no teste de cisalhamento
$F_{\max}$	Carga máxima no teste de compressão
l	Comprimento da viga entre os dois suportes
ρ_m	Densidade aparente no teor de umidade “m”
ρ_o	Densidade Seca
d	Diâmetro maior do parafuso em metros
a	Distância entre o carregamento e o suporte mais próximo
Fi	Força exercida pela prensa em Newtons
$w_2 - w_1$	Incremento da deformação na região elástica do gráfico
$w_{40} - w_{10}$	Incremento da deformação na região elástica do gráfico
$F_2 - F_1$	Incremento de carga na região elástica do gráfico tensão-deformação
$F_{40} - F_{10}$	Incremento de carga na região elástica do gráfico tensão-deformação
K’	Índice do sistema
m_m	Massa no teor de umidade “m”
m_o	Massa seca
E_c	Modulo de elasticidade a compressão paralela as fibras
$E_{m,g}$	Modulo de elasticidade geral na flexão
σ_c	Resistência a compressão paralela as fibras
τ	Tensão de cisalhamento na linha de cola
MC%	Teor de Umidade
T	Torque do Torquímetro em N.m
V_m	Volume no teor de umidade “m”
V_o	Volume seco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA 17
2.1 Laminated Veneer Lumber (LVL) 17
2.2 Laminated Veneer Bamboo (LVB) 18
2.3 Guadua angustifolia bicolor Londoño 19
2.4 Bambu em Sistemas Estruturais 20
2.5 Mercado do Bambu 20
2.6 Conclusão da Revisão Bibliográfica 21
3 METODOLOGIA 22
3.1 Delineamento Experimental 22
3.1.1 Processamento e Análise do Material – Bambu 22
3.1.2 Processamento e Análise do Material – Pinus 27
3.1.3 Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veener Lumber (com e sem reforço) 30
3.2 Ensaio Físicos e Mecânicos do Produto 33
3.2.1 Teor de Umidade e Densidade 34
3.2.2 Qualidade da Colagem 35
3.2.3 Flexão flatwise 35
3.3 Análise dos resultados 37
4 RESULTADOS 38
4.1 Ensaio Físicos e Mecânicos do Produto 38
4.2 Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veener Lumber (com e sem reforço) 40
4.3 Processamento e Análise do Material – Bambu 40
4.4 Processamento e Análise do Material – Pinus 43
5 CONCLUSÃO 44
REFERÊNCIAS 45
APÊNDICE A 48
APÊNDICE B 53

1 INTRODUÇÃO

O bambu é uma matéria prima com idade de corte menor que a madeira, em uma touceira adulta pode ser colhido com 5 anos de idade (LIESE, 1998). Porém esta matéria-prima de rápido desenvolvimento no mercado formal nacional ainda é pouco explorada em comparação a sua importância comercial em outros países. O bambu engenheirado ainda se encontra em um campo emergente no uso e desenvolvimento de pesquisa para o uso em estruturas, como a sua forma laminada (SHARMA et al., 2015).

As aplicações do bambu em sistemas estruturais podem variar pela sua manufaturada, originando novos produtos e compósitos a base de sua forma roliça, laminado e desfibrado (strand woven bamboo e bamboo fiber composites). Na produção de painéis utilizando bambu laminado, o processo de conformação do bambu em lâmina plaina é categorizado por esquadrejamento, prensagem com placa plana e rolo compressor.

As propriedades mecânicas da madeira de pinus apresentam valores semelhantes ao do bambu e em alguns casos superam elas, sendo um potencial substituto ou reforço mecânico aos produtos de laminated veneer lumber (LVL) presentes no comercio, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades Físicas e Mecânicas do Pinus, Bambu e LVL Comercial

Propriedades	Madeira de Pinheiro (Pinus sp.)	Bambu	LVL Comercial
Tração Paralela às Fibras (MPa)	49 – 81	40 – 215	15,65 ± 2,34
Compressão Paralela às Fibras (MPa)	32 – 44	33 – 66	23,40 ± 4,90
Resistência a Flexão (MPa)	59 – 86	30 – 170	24,73 ± 6,25
Módulo de Elasticidade (GPa)	6,7 – 13,3	5,5 – 18	13,42 ± 1,06
Densidade Básica (kg/m³)		510 – 980	

Fonte: BORTOLETTO JÚNIOR (2008); Pereira & Beraldo (2007); “PR-L266 - VERSA-LAM® LVL, Boise Cascade Wood Products, LLC” (2022); “PR-L280(C) - LP® SolidStart® Laminated Strand

Lumber and Laminated Veneer Lumber, Louisiana-Pacific Corporation" (2021); "PR-L283 - MurphyLaminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division" (2022); "PR-L292 - Murphy Laminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division" (2021); "PR-L301 - GLOBAL Laminated Veneer Lumber, Global LVL Inc." (2022); "PR-L307 - Murphy ConBeam LVL, Murphy Engineered Wood Division" (2021); "PR-L329 - Pacific WoodtechPreservative-Treated Laminated Veneer Lumber, Pacific Woodtech Corporation" (2022); "PR-L329(C) - Pacific Woodtech Preservative-Treated Laminated Veer Lumber, Pacific Woodtech Corporation" (2022); "PR-L334 - West Fraser LVL Tension Lams, Sundre Forest Products Inc." (2021); Sharma et al. (2015).

A tabela 1 apresenta valores de madeira de coníferas que são representados por espécies de 15-25 anos de idade (BORTOLETTO JÚNIOR, 2008) e o período de corte do bambu em uma touceira adulta é de 5-14 anos (LIESE, 1998). A oportunidade do ciclo de fornecimento da matéria prima frente aos desafios do processamento indica uma oportunidade de uso do recurso.

Segundo Ostapiv & Gonçalves (2011), as lâminas de bambu apresentam resultados significativos como reforço em madeiras de baixa e média densidade e em alguns casos de elevada densidade. Apresenta um importante papel em painéis sarrafeados, melhorando a amarração e a união dos sarrafos entre si, bem como a resistência à flexão dos painéis.

O presente estudo tem como objetivo avaliar se as lâminas esquadrejadas da espécie de bambu *Guadua angustifolia* bicolor promovem aumentos significativos nas propriedades mecânicas do laminated veneer lumber de Pinus sp. produzido neste estudo para uso estrutural.

5 CONCLUSÃO

O Laminated Veneer Lumber (LVL) de pinus reforçado com *Guadua angustifolia* bicolor e unidos com o adesivo poliuretano à base de mamona é uma opção válida para o uso em estruturas de viga, por apresentar a vantagem de minimizar a massa do elemento estrutural, sob um modulo de elasticidade fixo, comparado ao painel com somente pinus e por apresentar uma idade de corte menor que a madeira de pinus, conforme é citado na revisão de literatura.

O processamento do *Guadua angustifolia* bicolor na linha de processamento “faca radial 45º - facão - plaina de desengrossadeira – desempenadeira” apresentou um aproveitamento de até 6 metros do colmo inteiro, limitado pela relação faca radial 45º e plaina desengrossadeira. Podendo obter outros valores de rendimento com o uso de faca radial com outras angulações ou uso de outro maquinário laminador. O trabalho na desempenadeira apresentou caráter artesanal, precisando de adaptações ou suportes para a industrialização.

A classificação das lâminas de pinus usando os documentos normativos ABNT NBR ISO 2074 (2012), ABNT NBR ISO 2426-1 (2006) e ABNT NBR ISO 2426-3 (2006) adaptados à uma classificação binária de sim ou não das variáveis de critério subjetivo (pouco, muito etc) apresentaram resultados significativos na tensão de ruptura e módulo de elasticidade do produto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 9-20**: *Standard terminology relating to wood and wood-based products*. West Conshohocken: ASTM, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 1037-06a**: *Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials*. West Conshohocken: ASTM, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 2395-14**: *Density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials*. West Conshohocken: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 4442-92**: *Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials*. West Conshohocken: ASTM, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 5456-21e1**: *Standard specification for evaluation of structural composite lumber products*. West Conshohocken: ASTM, 2021.

ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. Butterworth Heineman 1999.

BERALDO, A.; PEREIRA, M. A. DOS. **Bambu de Corpo e Alma**. 1. ed. Bauru,SP: Canal6 , 2007.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de Pinus merkusii. **Scientia Florestalis**, v. 36, n. 79, p. 237–243, set. 2008.

BUDYNAS, R. G.; J. KEITH, N. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS. IS 14616: *laminated veneer lumber – specification*. New Delhi. 1999.

CHEN, F. et al. Effect of laminated structure design on the mechanical properties of bamboo-wood hybrid laminated veneer lumber. European Journal of Wood and Wood Products, v. 75, n. 3, p. 439–448, 1 maio 2017.

CHEN, F. et al. Evaluation of the uniformity of density and mechanical properties of bamboo-bundle laminated veneer lumber (BLVL). BioResources, v. 9, n. 1, p. 554–565, 2014.

CHEN, F. et al. The bending properties of bamboo bundle laminated veneer lumber (BLVL) double beams. Construction and Building Materials, v. 119, p. 145–151, 30 ago. 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN EN 408:***Structural timber and glued laminated timber*. Brussels. 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN EN 14374:** *Structural laminated veneer lumber*. Brussels. 2005.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD/WTO (ITC) & INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO). ***International wooden furniture markers: A review***. Geneva: ITC/ITTO, 2005 xxxii, p. 233.

HAKKARAINEN, J. et al. **LVL handbook Europe**. 2. ed. Finland: Federation of the Finnish Woodworking Industries, 2020.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. 1. ed. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 1998.

LONDOÑO, X. Una nueva variedad de Guadua angustifolia Kunth de Colombia. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 17(65), p. 379–381, 1989.

MANHÃES, A. P. & SILVA, J. A. **Caracterização da Cadeia Produtiva do Bambu no Brasil: Abordagem Preliminar**. Dissertação (Graduação – Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 32 p.

MEREDITH, T. J. **Timber Press pocket guide to bamboo**. 1. ed. London: Timber Press Inc., 2009.

PR-L266 - VERSA-LAM® LVL, Boise Cascade Wood Products, LLC. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 23 out. 2022.

PR-L280(C) - LP® SolidStart® Laminated Strand Lumber and Laminated Veneer Lumber, Louisiana-Pacific Corporation. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 23 out. 2022.

PR-L283 - MurphyLaminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PR-L292 - Murphy Laminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PR-L301 - GLOBAL Laminated Veneer Lumber, Global LVL Inc. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PR-L307 - Murphy ConBeam LVL, Murphy Engineered Wood Division. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. GATE-TO-GATE LIFE-CYCLE INVENTORY OF GLUED-LAMINATED TIMBERS PRODUCTION. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. Corrim Special, p. 99–113, dez. 2005.

SANTOS, T. O. DOS et al. UTILIZAÇÃO DE AÇOS RECICLÁVEIS NA FABRICAÇÃO DE FACAS RADIAIS PARA CORTE LONGITUDINAL DE BAMBU. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 15, n. 1, p. 15–21, mar. 2018.

SHARMA, B. et al. Engineered bamboo: State of the art. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials**, v. 168, n. 2, p. 57–67, 1 abr. 2015.

SHARMA, B.; GATÓO, A.; RAMAGE, M. H. Effect of processing methods on the mechanical properties of engineered bamboo. **Construction and Building Materials**, v. 83, p. 95–101, 15 maio 2015.

TRADE OVERVIEW 2014**. *Bamboo and Rattan Products in the International Market***. INBAR – International Network for Bamboo & Rattan. Dec, 2016.

VAN DER LUGT, P. **Dutch Design meets Bamboo as a Replicable Model Design Interventions for Stimulating Bamboo Commercialization**. Delft: VSSD, 2008.