



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDRESSA MIKHAELLA DOS SANTOS BRITO OLIVEIRA

**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE LAMINADOS DE
BAMBU COLADOS PARA COMPOSIÇÃO DE PAINÉIS CLTB**

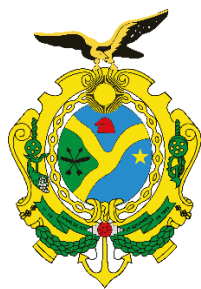
Londrina
2023

ANDRESSA MIKHAELLA DOS SANTOS BRITO OLIVEIRA

**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE LAMINADOS DE
BAMBU COLADOS PARA COMPOSIÇÃO DE PAINÉIS CLTB**

Exame de defesa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo das Universidades Estaduais de Londrina e Maringá, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de M. Moura.
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana C. Barbosa.



AMAZONAS

GOVERNO DO ESTADO

Wilson Miranda Lima
Governador do Estado do Amazonas

Secretaria de
Desenvolvimento
Econômico, Ciência,
Tecnologia e Inovação

Pauderney Tomaz Avelino
Secretário de Estado de Desenvolvimento Econômico,
Ciência, Tecnologia e Inovação - SEDECTI



Márcia Perales Mendes Silva
Diretora-Presidente da Fundação de Amparo
à Pesquisa do Estado do Amazona

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Oliveira, Andressa Mikhaella dos Santos Brito.

Comportamento estrutural de laminados de bambu colados para composição de painéis CLTB / Andressa Mikhaella dos Santos Brito Oliveira. - Londrina, 2023.

126 f.: il.

Orientador: Jorge Daniel de Melo Moura.

Coorientador: Juliana Cortez-Barbosa.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Laminado de bambu. 2. Tecnologia de aplainamento. 3. Madeira laminada colada cruzada e bambu. 4. Materiais lignocelulósicos. I. Moura, Jorge Daniel de Melo. II. Cortez-Barbosa, Juliana. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

CDU 711/72

ANDRESSA MIKHAELLA DOS SANTOS BRITO OLIVEIRA

COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE LAMINADOS DE BAMBU COLADOS PARA COMPOSIÇÃO DE PAINÉIS CLTB

Exame de defesa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo das Universidades Estaduais de Londrina e Maringá, como requisito para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de M. Moura
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana C. Barbosa
Universidade Estadual Paulista – UNESP

Professor Dr. César Imai
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Christian Gauss
Universidade de São Paulo – USP

Londrina, 25 de agosto de 2023.

*Dedico este trabalho à minha família,
o bem mais valioso que possuo.*

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à Deus, que me sustentou com sua mão direita, me acolheu em seus braços nos momentos de fraqueza e cansaço, tornando este sonho uma realidade. Esta dissertação é a prova de que o esforço e o tempo investidos na educação e no conhecimento juntamente com o direcionamento divino não foram em vão.

Agradeço ao meu marido Igor Oliveira, e aos meus amados filhos, Angelina Louise, Ângelo Salomão e Ayla Ivih, que participaram de todas as fases desta pesquisa, ajudando-me e compreendendo-me durante as muitas horas em que estive ocupada e ausente.

Aos meus pais Evandro e Tilza e aos meus irmãos Alerrandro, Ariel e Arianne, que, mesmo morando distantes de mim, oraram e torceram pela conclusão deste projeto. Como meus sogros Pedro e Francisca.

Ao Programa de Pós-graduação em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo das Universidades Estaduais de Londrina e Maringá pela oportunidade de realizar esse trabalho.

Sou muito grata à professora Vânia Maria Batalha Cardoso da Universidade Federal do Amazonas – UFAM por me contagiar com o seu amor e carinho pelos produtos de madeira reciclada.

Ao meu orientador prof. Dr. Jorge Daniel de M. Moura da Universidade Estadual de Londrina - UEL que me acolheu em seu grupo científico, me apresentou a esse incrível mundo do bambu e por todo ensino e conhecimento compartilhado que fizeram grande diferença no resultado deste trabalho. Assim como a minha coorientadora prof.^a Dr.^a Juliana C. Barbosa da Universidade Estadual Paulista - UNESP pelo tempo, dedicação e paciência.

Sou extremamente grata à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, bem como ao Programa de Pós-graduandos fora do Estado do Amazonas - POSGFE pelo apoio e pela bolsa que me permitiu continuar desenvolvendo este trabalho na Universidade Estadual de Londrina no Paraná. Sinto-me honrada por ter tido esta oportunidade.

Gostaria de agradecer à Universidade Estadual de Londrina e a todos os professores que sempre proporcionaram uma educação de qualidade. Assim como

todos os técnicos dos laboratórios que ajudaram no desenvolvimento do projeto, principalmente o técnico Carlos do laboratório de maquetes e modelo.

Gostaria também de agradecer a todos os colegas de pós-graduação e principalmente ao grupo de pesquisa LATA pela oportunidade de interagir e colaborar durante esses dois anos.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente participaram da realização deste trabalho.

*A sabedoria é árvore que dá vida a quem a abraça;
quem a ela se apegar será abençoado.*

(Provérbios 3:18)

RESUMO

OLIVEIRA, Andressa Mikhaella dos Santos Brito. Comportamento estrutural de laminados de bambu colados para composição de painéis CLTB. 2023. 109f. Defesa de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Metodologia de projeto de Arquitetura e Urbanismo) – Universidades Estaduais de Londrina e Maringá, Londrina, 2023.

A crescente escassez dos recursos naturais, associada ao crescimento populacional, ao déficit habitacional e ao aumento do número de resíduos produzidos na construção civil, tem sido tema de inúmeros debates, incentivando o desenvolvimento de alternativas sustentáveis como a madeira engenheirada produzida a partir das florestas plantadas. Em países desenvolvidos, a aplicação de novas tecnologias como *Wood Frame*, *Cross Laminated Timber* (CLT), Madeira Laminada Colada (MLC), *Laminated Veneer Lumber* (LVL), *Gridshell*, entre outros, tem sido feita de modo crescente em edificações. No Brasil, algumas dessas novas técnicas estão começando a surgir em pequenas proporções. O bambu, além de possuir excelentes propriedades físicas e mecânicas, é um excelente material para uso em laminados estruturais. Os produtos de bambu engenheirado e as tecnologias de aplainamento utilizadas foram investigados em artigos científicos por meio da revisão sistemática. O bambu *Dendrocalamus asper* foi empregado na produção de laminados colados na orientação horizontal para compor futuros painéis estruturais de Madeira Laminada Colada Cruzada e Bambu (CLTB), processados pelas metodologias de aplainamento convencional e em arco recombinação, denominadas de LCR e LCA, respectivamente. Os ensaios de flexão em quatro pontos mostraram que os corpos de prova produzidos não apresentaram diferenças significativas nas propriedades de flexão relacionadas à resistência máxima (f_m) e ao módulo de elasticidade global ($E_{m,g}$). Desse modo, ambos os modelos de aplainamento atendem aos critérios da norma ISO 23478 (2022), podendo ser utilizados para compor futuros painéis estruturais de CLTB.

Palavras-chave: Laminado de bambu, Tecnologia de aplainamento; Madeira Laminada Colada Cruzada e Bambu; Materiais lignocelulósicos.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Andressa Mikhaella dos Santos Brito. Structural behavior of glued bamboo laminates for the composition of CLTB panels. 2023. 109f. Master's Defense (Graduate Program in Methodology of Architecture and Urbanism Design) – State Universities of Londrina and Maringá, Londrina, 2023.

The growing scarcity of natural resources, associated with population growth, the housing deficit and the increase in the amount of waste produced in civil construction, has been the subject of numerous debates, encouraging the development of sustainable alternatives such as engineered wood produced from planted forests. In developed countries, the application of new technologies such as Wood Frame, Cross Laminated Timber (CLT), Glued Laminated Wood (MLC), Laminated Veneer Lumber (LVL), Gridshell, among others, the application of new technologies has been made increasingly in buildings. In Brazil, some of these new techniques are starting to appear in small proportions. Bamboo, in addition to having excellent physical and mechanical properties, is an excellent material for use in structural laminates. The engineered bamboo products and the planing technologies used were investigated in scientific articles through a systematic review. The *Dendrocalamus asper* bamboo was used in the production of glued laminates in horizontal orientation to compose future structural panels of Cross-glued Glued Wood and bamboo (CLTB), processed by conventional planing and recombined arch methodologies, called LCR and LCA, respectively. The four-point bending tests showed that the specimens produced did not show significant differences in the bending properties related to the maximum resistance (f_m) and the global elastic modulus ($E_{m,g}$). Thus, both planing models meet the criteria of the ISO 23478 (2022) standard, and can be used to compose future CLTB structural panels.

Keywords: Bamboo laminate, Planing technology; Cross-Glued Laminated Wood and bamboo; Lignocellulosic materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Templo Horyu-ji no Japão.....	18
Figura 2 - Casa flutuante e palafitas	19
Figura 3 - Distribuição da floresta de bambu e zonas climáticas.....	20
Figura 4 - Casa popular com bambu do Programa Social "Hogar de Cristo".....	21
Figura 5 - Característica morfológica do colmo de bambu	22
Figura 6 - Distribuição geográfica do bambu nativo no Brasil.....	23
Figura 7 - Índice de desmatamento acumulado - Amazônia Legal.....	26
Figura 8 - Corte, transporte e imunização dos colmos de bambu gigante	41
Figura 9 - Levantamento das medidas dos colmos	41
Figura 10 - Padrão de corte longitudinal estabelecido para os colmos de bambu	42
Figura 11 - Adesivo de poliuretano derivado do óleo da mamona.....	43
Figura 12 - Orientação horizontal das lâminas	44
Figura 13 - Dimensões dos corpos de prova.....	45
Figura 14 - Produção das lâminas de bambu.....	45
Figura 15 - Aparato de alinhamento retangular e prensagem manual.....	46
Figura 16 - Instrumento de remoção dos nós externos e internos.....	47
Figura 17 - Aparato de alinhamento em arco recombinação e prensagem manual.....	47
Figura 18 - Máquina de ensaio universal EMIC.....	51
Figura 19 - Peças para apoio e aplicação da carga	52
Figura 20 - Micrografia da linha de cola das amostras de LCR e LCA	53
Figura 21 - Verificação do rendimento das metodologias de aplainamento.....	54
Figura 22 - Aplicação da resina e processo de prensagem.....	54
Figura 23 - Remoção dos moldes	55
Figura 24 - Usinagem das placas de LCR e LCA.....	55
Figura 25 - Curvas da flexão de 4 pontos dos corpos de prova LCR e LCA.....	59
Figura 26 - Microscopia óptica dos corpos de prova LCR	64
Figura 27 - Microscopia óptica dos corpos de prova LCA	64
Figura 28 - Verificação do rendimento das placas de LCR e LCA.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtos de bambu engenheirado	29
Tabela 2 - Tecnologia de aplainamento para produtos de bambu engenheirado	32
Tabela 3 - Método adotado do ensaio de flexão para os laminados.....	50
Tabela 4 - Teor de umidade dos perfis laminados no momento do teste	56
Tabela 5 - Densidade seca dos laminados colados de bambu.....	57
Tabela 6 - Dimensões reais dos perfis laminados colados de bambu	58
Tabela 7 - Resistência máxima e módulos de elasticidade global.....	60
Tabela 8 - Comparação da resistência e módulos de elasticidade entre autores	61
Tabela 9 - Modo de falha típico de flexão dos corpos de prova LCR e LCA.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre a resistência à tração e peso específico de 3 materiais	21
Quadro 2 - Principais espécies de bambu no Brasil para construção.....	25
Quadro 3 - Relação entre tração e massa específica de algumas espécies de bambus	27
Quadro 4 - Resistência à compressão paralela às fibras entre as espécies.....	28
Quadro 5 - Módulos de elasticidade à compressão paralela às fibras entre as espécies	28
Quadro 6 - Classificação dos adesivos utilizados em madeira	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGT	Adesivo a base de óleo de mamona
ANS/APA PRG	American National Institute/The Engineered Wood Association
ASTM	ASTM American Society for Testing and Materials
CLT	Cross Laminated Timber
CLTB	Madeira Laminada Colada Cruzada e Bambu
EPI	Emulsão Polímero Isocianato
FF	Fenol-formaldeído
FF	Resorcinol-formaldeído
FRF	Fenol-resorcinol-formaldeído
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
INBAR	International Bamboo and Rattan Organization
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Laminado Colado em Arco Recombinado
LCR	Laminado Colado Retangular
LVL	Laminated Veneer Lumber
MDI	Difenil Metano Diisocianato
MF	Melamina-formaldeído
MLC	Madeira Laminada Colada
MUF	Melamina-ureia-formaldeído
NBR	Norma Técnica Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PUR	Poliuretano
PVAc	Polivinil acetato
UF	Ureia-formaldeído
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1.1. INTRODUÇÃO	14
1.1.1. Objetivo Geral.....	16
1.1.2. Objetivos Específicos	16
1.1.3. Justificativa.....	16
CAPÍTULO 2	18
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1.1. Matéria-Prima: Bambu.....	19
2.1.1.1. Bambu no Brasil.....	22
2.1.1.2. Bambu <i>Dendrocalamus asper</i>	27
2.1.1.3. Bambu Engenheirado	28
2.1.1.3.1. <i>Produtos de bambu engenheirado</i>	29
2.1.1.3.2. <i>Tecnologia de aplainamento para bambu engenheirado</i>	32
2.1.2. Adesivo.....	34
2.1.2.1. Resina PU à base de óleo de mamona	37
2.1.3. Conclusão da revisão	38
CAPÍTULO 3	40
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1.1 Matéria-Prima.....	40
3.1.1.1 Bambu	40
3.1.1.2 Adesivo.....	43
3.1.1.3 Descrição do corpo de prova.....	43
3.1.1.4 Determinação das dimensões dos corpos de prova.....	44
3.1.1.4.1 <i>Laminado colado retangular (LCR)</i>	45
3.1.1.4.2 <i>Laminado colado em arco recombinação (LCA)</i>	46
3.1.2 Métodos de Ensaio.....	48
3.1.2.1 Determinação do teor de umidade (TU)	48
3.1.2.2 Determinação da densidade úmida e seca	49
3.1.2.3 Determinação da taxa de deslocamento	49
3.1.2.4 Determinação da resistência e módulo de elasticidade global na flexão.....	50
3.1.2.5 Microscopia óptica.....	53

3.1.2.6	Rendimento de acordo com as metodologias de aplainamento	53
CAPÍTULO 4		56
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1.1	Teor de umidade (TU)	56
4.1.2	Densidade seca.....	57
4.1.3	Dimensões reais dos corpos de prova	58
4.1.4	Resistência máxima e módulos de elasticidade global.....	59
4.1.5	Modo de falha e ruptura	62
4.1.6	Microscopia óptica dos corpos de prova	64
4.1.7	Verificação das metodologias de aplainamento nas placas	65
CONCLUSÃO.....		66
SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES.....		67
REFERÊNCIAS.....		68
Apêndice A - Busca sistemática		75
Apêndice B - Matriz do Conhecimento		84
Apêndice C - Curvas de flexão dos corpos de prova		106
Apêndice D - Localização do modo de falha típico de flexão dos corpos de prova.....		114
Apêndice E - Seção transversal dos corpos de prova.....		113
Apêndice F - Microscopia óptica dos corpos de prova.....		113

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

Desde o período da colonização do Brasil no século XVI, o homem adotou um papel exploratório tratando a natureza de maneira insustentável. Esse comportamento muitas vezes veio intimamente relacionado ao crescimento e desenvolvimento do país (CONCEIÇÃO *et al.*, 2019). A atual demanda habitacional tem elevado a utilização dos recursos naturais, fazendo com que a indústria da construção civil avance em novas pesquisas e tecnologias, na tentativa de diminuir o consumo de matéria-prima não renovável, os impactos causados por sua extração e o descarte dos resíduos construtivos (RADAIK, 2018).

Com a implantação da Lei 5106/66, que dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais do Programa Nacional de Reflorestamento, o setor florestal expandiu, principalmente, nos gêneros eucalipto e pinus, devido à sua taxa de crescimento rápido e de suas propriedades físicas (RABELO *et al.*, 2020).

Segundo o Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2021), em 2020, a área total de florestas plantadas totalizou cerca de 9,55 milhões de hectares. Entre as espécies, 78% da área era composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,47 milhões de hectares e 18% de pinus, com aproximadamente 1,7 milhão de hectares, oriundos principalmente da região Sul do país.

Apesar dos avanços em alternativas sustentáveis, como o uso da *Cross Laminated Timber* (CLT), produzida a partir das florestas plantadas (DE ARAUJO *et al.*, 2020; DEFO; LACASSE, 2021), dos 9 milhões de hectares de árvores plantadas de eucalipto, pinus e outras espécies produzidas no setor, apenas 6% são destinados à construção civil no Brasil, para fabricação de painéis de madeira e pisos laminados e 4% em produtos sólidos de madeira, não sendo suficientes para atender a demanda habitacional (IBÁ, 2021).

O uso de bambu pela humanidade é milenar, sendo usado em diversas construções em países asiáticos e países vizinhos do Brasil, como Colômbia, Equador e Peru. Liese (1987) dedicou anos em estudos para contribuir com a compreensão e a importância do material para diversos setores.

Segundo a *International Bamboo and Rattan Organization* (INBAR,

2023), o bambu tem grande potencial de armazenamento de dióxido de carbono (CO²). Além de avaliar a taxa de sequestro de carbono no cultivo de algumas espécies de bambu como o *Moso*, que cresce principalmente na China, e o bambu *Guadua*, nativo de países da América Latina, o relatório também analisa o carbono armazenado em produtos feitos com bambu. Embora a redução de emissões de carbono por meio do deslocamento de produtos – substituindo materiais intensivos em carbono por alternativas de baixo carbono – não seja atualmente aprovado no Acordo de Paris para mudanças climáticas, esse aspecto é relevante, podendo ser incluído em futuros protocolos de redução de gases de efeito estufa.

Nesse cenário, a fabricação de produtos originados de madeira engenheirada ou bambu engenheirado tem despertado o interesse de grupos científicos brasileiros como a Comissão de Estudo de Estruturas de Bambu (CE-002:126.012) e o Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), que, desde 2016, vêm sendo apoiados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para aprofundar o conhecimento do bambu e de suas propriedades (DE ARAUJO *et al.*, 2020; ABNT NBR 16828-1, 2020; ABNT NBR 16828-2, 2020). Além disso, pesquisas recentes mostram que o processamento do bambu permite fabricar produtos com excelentes desempenhos mecânicos (GAUSS; KADIVAR; SAVASTANO, 2019; BLANCO *et al.*, 2020; SUN; HE; LI, 2020; SALGADO; GUNER, 2021; SANTOS, 2019).

Segundo Barreto *et al.* (2019), o desenvolvimento de um sistema construtivo baseado em Madeira Laminada Cruzada (CLT), com uso de materiais alternativos como a madeira de *Pinus ssp* e o Bambu-gigante, alcançara resultados satisfatórios quanto à resistência ao cisalhamento paralela ao grão, rigidez, resistência à ruptura e módulos de elasticidade. Embora o sistema de usinagem utilizado tenha resultado em painéis com parede relativamente fina não compatível com as medidas estabelecidas na norma internacional ANSI/APA PGR 320 (2012), o produto tem potencial para ser empregado em grandes estruturas. No entanto, as suas características anatômicas, decorrentes de sua heterogeneidade, devem ser consideradas para a fabricação de novos materiais.

Nesse contexto, o presente estudo busca realizar a caracterização mecânica em laminados de bambu colados, produzidos a partir de duas metodologias: o aplainamento convencional e o aplainamento em arco recombinado, para compor futuramente painéis Madeira Laminada Colada Cruzada e Bambu (CLTB) livres de

tratamento termo-hidro-mecânico.

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar a caracterização mecânica em laminados de bambu colados, a partir da dimensão mínima exigida na norma ANSI/APA PGR 320 (2012) de 35 mm de espessura para futuros painéis estruturais de três camadas, através das metodologias de aplainamento convencional e em arco recombinação.

1.1.2. Objetivos Específicos

- 1) Estabelecer medida ideal para corte longitudinal das lâminas de bambu.
- 2) Produzir instrumento para remoção dos nós externos e internos das lâminas de bambu.
- 3) Fabricar aparato de alinhamento para realização da colagem das lâminas do bambu.

1.1.3. Justificativa

Existem mais de 1.600 espécies conhecidas de bambu no mundo. Trata-se de um material renovável, leve e altamente resistente, com capacidade de adaptação, renovação e produtividade (CARBONARI *et al.*, 2017). Devido a sua alta velocidade de crescimento, segundo o INBAR, os bambus gigantes já são considerados absorvedores eficazes de CO². Seu cultivo pode armazenar cerca de 100 a 400 toneladas de carbono por hectare, uma quantidade de carbono semelhante às plantações de árvores, que armazenam entre 90 e 420 toneladas de carbono por hectare (BENAVIDE, 2019; SALGADO; GUNER, 2021).

O Brasil abriga a maior floresta de bambu nativa do mundo, localizada na Amazônia Sul-Occidental e com presença de bambu em 74,5% do território do Estado do Acre. Por conta das atividades exploratórias das madeireiras, os bambus dominantes acabam por diminuir as áreas basais, desequilibrando o ambiente e levando a uma dominância dos bambuzais sobre as demais espécies vegetativas da região (PEREIRA, 2019).

Mesmos os bambus que apresentam colmos com diâmetros menores

e menos resistentes, como os das espécies *G. sarcocarpa* e *G. weberbaueri*, podem fazer parte da área de interesse comercial para a exploração madeireira na forma bruta ou em ripas, ou em uso artesanal e produção de carvão vegetal. As espécies *G. angustifolia* são adequadas para uso na construção civil, assim como as espécies que foram introduzidas no país, como as do gênero *Bambusa* e *Dendrocalamus*, que possuem grande valor econômico. No entanto, as atividades econômicas relacionadas ao seu uso e à fabricação de novos produtos ainda estão surpreendentemente escassas (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

Entre as dificuldades encontradas na literatura para a fabricação de novos produtos estão as características anatômicas dos bambus, tais como: seção circular, parede externa com nó e interna com diafragmas, diâmetros externo e interno com dimensões variadas ao longo do seu comprimento, diferença entre a espessura das paredes e falta de retificação do colmo. Esses fatores diminuem sua utilização, necessitando de mais pesquisas e atenção compatível à diversidade de espécies.

CAPÍTULO 2

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A madeira é um material orgânico, consideravelmente leve e resistente. Está presente no desenvolvimento humano desde tempos passados e, mesmo antes da construção das primeiras moradias, o homem já utilizava a madeira em processos primitivos e manuais para proteção, preparo de alimentos, aquecimento e iluminação.

Ela tem sido utilizada em construções exuberantes como o Templo *Horyu-ji* no Japão (Figuras 1), considerada a construção em madeira mais antiga do mundo, com 1.300 anos de idade, declarado Patrimônio Mundial pela UNESCO em 1993. É também material usado em construções mais simples, como abrigos temporários e habitações ribeirinhas, como as casas flutuantes e palafitas encontradas na região norte do Brasil (Figura 2).

Figura 1 - Templo Horyu-ji no Japão



Fonte: NippoBrasil (2022).

Figura 2 - Casa flutuante e palafitas



Fonte: IBGE (2022).

Ao longo da história, porém, muito dos saberes e técnicas construtivas de madeira foram sendo perdidos frente ao apelo do desenvolvimento social do Brasil. As habitações de madeira foram sendo substituídas por conjuntos habitacionais em alvenaria e concreto armado (TATIBANA; REIS; BIANCHI, 2016; HEIMBECKER, 2015).

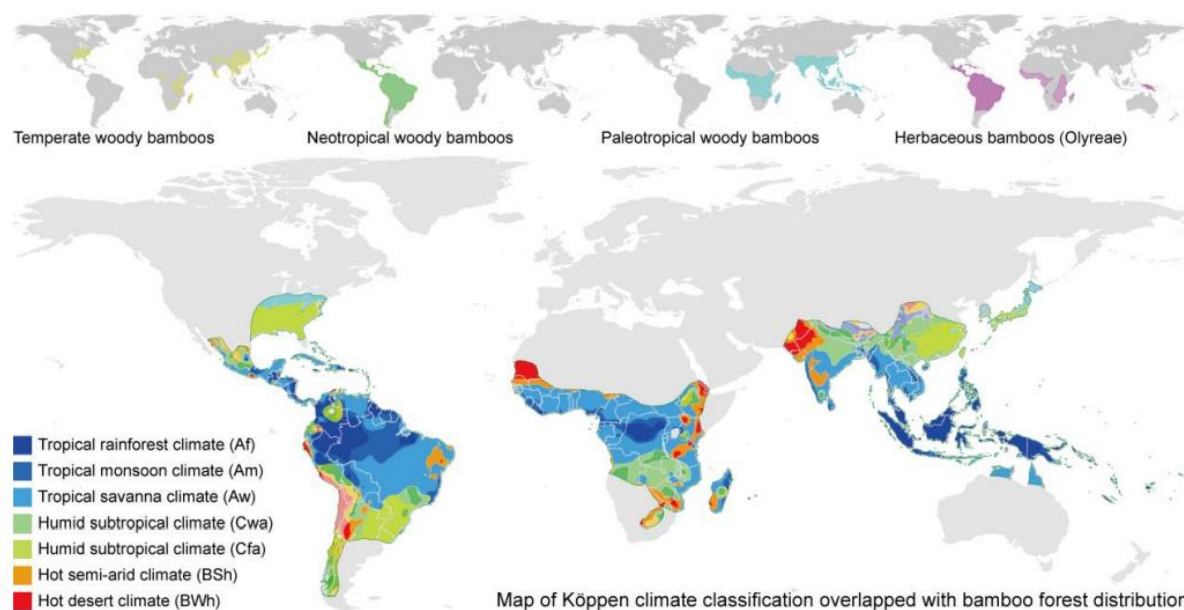
Contudo, novos incentivos têm sido realizados na tentativa de resgatar o uso da madeira na construção civil, como o Decreto nº 6.660 (2008), que estabeleceu novas leis socioambientais que regularizam a emissão e produção de agentes poluidores. O aumento na busca por alternativas mais sustentáveis para a redução dos impactos gerados pelas construções e os efeitos bioclimáticos sofridos pela perda da massa vegetal das florestas nativas tem gerado impacto na indústria da construção civil. Percebe-se que esta tem voltado a adotar como estratégia para a redução desses fenômenos o uso e a fabricação de madeira engenheirada produzida a partir das florestas plantadas, entre outros materiais lignocelulósicos, como o bambu (DE ARAUJO *et al.*, 2020; DEFO; LACASSE, 2021).

2.1.1. Matéria-Prima: Bambu

Historicamente, o bambu tem fornecido à humanidade alimento, abrigo, ferramentas, utensílios e uma infinidade de itens, sendo também muito utilizados em casas tradicionais em países como o Japão e a China. Conhecido também por taboca ou taquara em algumas regiões, é encontrado em maior

quantidade nas regiões quentes e áreas com alta pluviosidade. Sua distribuição mundial sobrepõe amplamente as áreas das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul, onde a população é mais densa (Figura 3) (MOTA, 2019; HUANG; SUN; MUSSO, 2017; RUSCH; CEOLIN; HILLIG, 2019).

Figura 3 - Distribuição da floresta de bambu e zonas climáticas



Fonte: Huang; Sun; Musso (2017).

O Brasil é o segundo país no mundo com o maior número de espécies nativas de bambus, superando a Índia. E sítios arqueológicos encontrados no Equador mostram que o bambu era utilizado na América do Sul há mais de 5.000 anos por povos indígenas da região. Contudo, a China lidera tanto no número de espécies, quanto no conhecimento e publicações sobre o material (DRUMOND; WIEDMAN, 2017; SIVIERO; SANTOS; MATTAR, 2019).

Países como Colômbia, Equador, Peru e Chile têm utilizado o bambu como elemento tradicional em suas culturas, desenvolvendo projetos sociais importantes como o programa social denominado “Hogar de Cristo” (Figura 4), que visa suprir a deficiência de moradias para a população de baixa renda (TALLER, 2013). O bambu *Guadua Angustifolia* é uma das espécies nativas do Equador e tem sido usada ancestralmente por diversas comunidades, permitindo recuperar e revalorizar a arquitetura vernacular da região. Desse modo, os conhecimentos ancestrais são combinados com novas tecnologias desenvolvidas para facilitar o processamento do bambu (MOTA, 2019).

Figura 4 - Casa popular com bambu do Programa Social "Hogar de Cristo"



Fonte: Mota (2019).

Os bambus são monocotiledôneos, plantas angiospermas que possuem apenas um cotilédone na semente. São considerados bons regeneradores ambientais devido à sua capacidade de ocupar solos degradados, auxiliando no sequestro de carbono, prevenção de erosões e lixiviação. São plantas tropicais, perenes, renováveis e de rápido crescimento, com altos rendimentos de biomassa, além de serem muito resistentes (RUSCH; CEOLIN; HILLIG, 2019). Tatibana, Reis e Bianchi (2016), comparam a resistência do bambu, relativo à tração e peso específico, com outros materiais, como o aço CA-50 e o alumínio, mostrando grande vantagem para sua utilização no mercado da construção civil (Quadro 1).

Quadro 1 - Comparação entre a resistência à tração e peso específico de 3 materiais

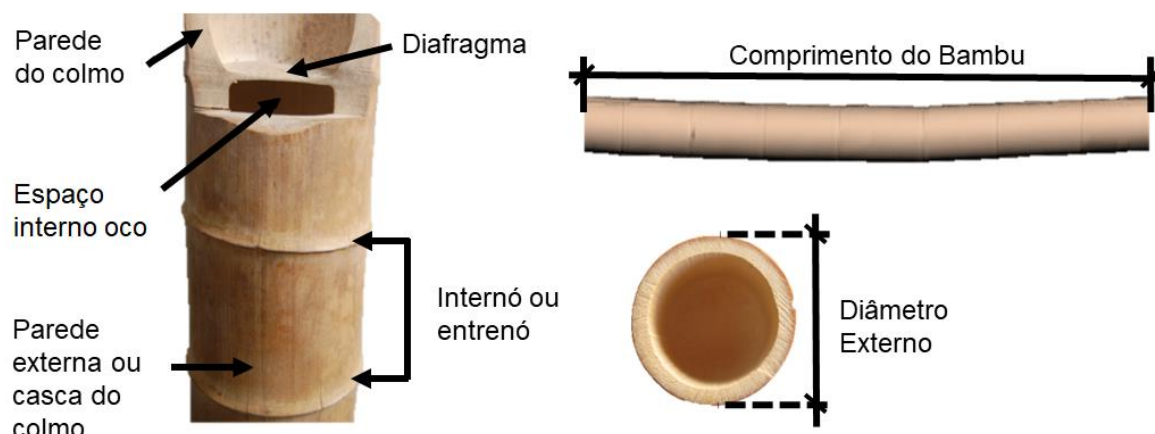
Material	Res. Tração σ_t (N/mm ²)	Peso específico (Kg/m ³)	$R = \sigma_t / \gamma \cdot 10^2$	$R/R_{AÇO} = 1,00$
Aço CA-50 A	500	7,83	0,63	1,00
Alumínio	304	2,70	1,13	1,79
Bambu	140	0,80	1,75	2,77

Fonte: Tatibana, Reis e Bianchi (2016).

Os bambus não apresentam tronco central como as árvores. Seu crescimento é chamado de broto e ocorre apenas em comprimento, assim, em poucas semanas o novo colmo atinge sua altura total. Além das raízes, os bambus possuem em sua estrutura de fundação o rizoma, essa característica permite que, em uma única gema, novos brotos de bambu surjam, produzindo novos rizomas (LIBRELOTTO;

OSTAPIV, 2019).

Figura 5 - Característica morfológica do colmo de bambu



Fonte: Própria autoria.

A parede do colmo possui característica anatômica distinta uma das outras e ao longo de seu comprimento (Figura 5). É dela que a madeira de bambu é extraída (SALAMON; OSTAPIV, 2017). Ela é formada por feixes de fibras que protegem os vasos que constituem o protoxilema. As paredes são divididas em três partes: camada externa, interna e intermediária. Segundo Librelotto e Ostapiv (2019), a madeira da camada mais externa tem densidade maior que das regiões mais internas, devido à alta concentração de feixes de fibras. Em algumas espécies, a densidade da madeira externa dos colmos pode ultrapassar 1.000 kg/m^3 . A camada interna apresenta aproximadamente $1/3$ da espessura total da parede do colmo e possui a menor densidade, variando em torno de 400 a 500 kg/m^3 . Já a região intermediária, de onde normalmente é extraída a maior parte da madeira do bambu, a densidade varia entre 500 e 750 kg/m^3 , dependendo da espécie. No entanto, os feixes de fibras e vasos são envolvidos em uma matriz de células parenquimáticas, onde é armazenado o amido, tornando o bambu suscetível ao ataque de organismos xilófagos, necessitando de imunização preventiva ou impermeabilização.

2.1.1.1. Bambu no Brasil

O Brasil é o país com maior diversidade em espécies de bambu nas Américas, com cerca de 200 espécies entre nativas e exóticas, sendo a grande

maioria endêmica (Figura 6). De acordo com a Rede Internacional de Bambu, o mercado mundial movimenta cerca de US\$ 60 bilhões por ano (RADAIK, 2018).

É possível notar que o território brasileiro dispõe de clima favorável ao cultivo de bambu. Possui uma vasta extensão de áreas inaptas para outros cultivos ou utilidades, mas que poderiam se adequar ao plantio de diversas variedades de bambus de valor comercial, tornando-o uma excelente alternativa de matéria-prima ao setor da construção civil, com potencial até para substituir a madeira em várias aplicações (DRUMOND WIEDMAN, 2017).

Figura 6 – Distribuição geográfica do bambu nativo no Brasil



Fonte: Adaptado pela autora de Drumond e Wiedman (2017).

Somente no Brasil há 35 gêneros e 258 espécies nativas, representando 15,7% de todas as espécies de bambus do mundo, sendo 175 espécies endêmicas (10,7%), divididos em dois grandes grupos, bambus lenhosos e bambus herbáceos. Desses, 165 espécies de bambus são lenhosos e encontrados

em regiões tropicais, incluindo alguns bambus gigantes; 93 são herbáceos, sendo a grande maioria encontrados nos biomas da mata atlântica (64,3%), da Amazônia (34,9%), do cerrado (12,8%), da caatinga (4,3%) e do Pantanal (2,3%). Na região norte do país há maior incidência de bambus herbáceos, enquanto os bambus lenhosos são mais encontrados na região sudeste do país. Os gêneros *Guadua* (18 espécies) são os mais comuns e com mais potencial de utilização.

As espécies de bambu mais encontradas e adequadas para construção no Brasil são: *Bambusa vulgaris* (de maior ocorrência, mas muito suscetível ao ataque de insetos); *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante); *Bambusa tuldoides* e *Bambusa arundinacea*.

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), a Amazônia Legal corresponde à área de 59% do território brasileiro e engloba a totalidade de oito estados, divididos em duas partes: Amazônia Ocidental, composta pelos estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima; e Amazônia Oriental, composta pelos estados do Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso. Uma das maiores florestas de bambus nativos do mundo se encontra na Amazônia Sul-Ocidental, que engloba parte do estado do Amazonas e a maior parte do estado do Acre, além de áreas vizinhas em Pando, na Bolívia, e Madre de Dios, no Peru. Sendo que, só no Estado do Acre, 38% das florestas são compostas por bambuzais naturais, segundo um levantamento feito pelo INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia).

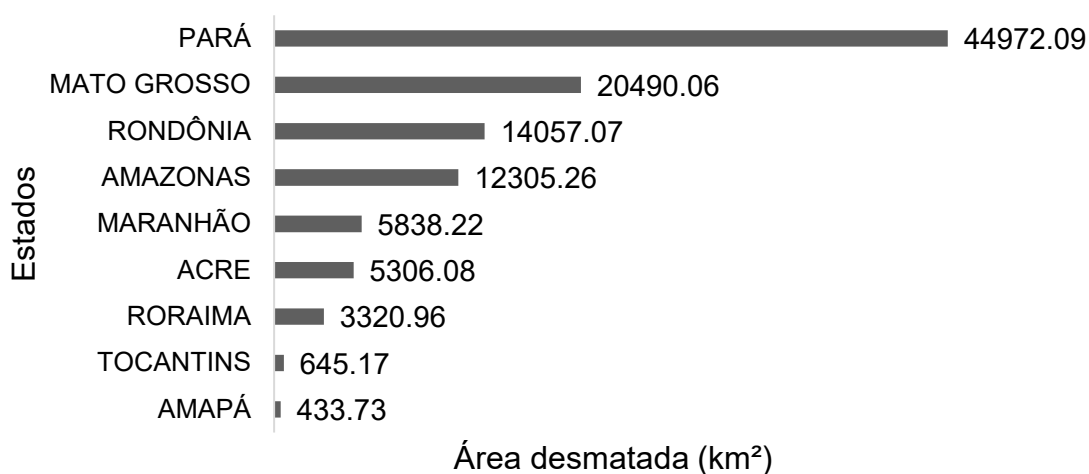
Na pesquisa realizada por Pereira (2019) foi possível observar a expansão de mais de 50% da área ocupada pelo bambu no ano imediatamente posterior à exploração madeireira nas tipologias florestais onde o bambu era dominante, enquanto que nas tipologias onde o bambu não era dominante, essa expansão foi de 98,9% da área ocupada anteriormente.

Com o aumento no índice de desmatamento nos últimos anos (Figura 7) e os períodos secos na região da Amazônia Sul-Ocidental, as espécies de bambus semi-alastrantes, como a espécie *Guadua angustifolia*, acabam competindo com outros indivíduos arbóreos, por serem mais resistentes ao desmatamento, interferindo na diversidade da flora local. Essa espécie tem grande potencial para uso na construção, como pode ser observado no Quadro 2 (DRUMOND; WIEDMAN, 2017; MOTA, 2019).

Quadro 2 - Principais espécies de bambu no Brasil para construção

Nome Científico	Origem (principal)	Comp. (cm)	Diâm. (cm)	Características ou usos
<i>Arundinaria sp.</i>	Índia e Nepal	3,00 - 10,00	1,50 - 4,30	Traçados para painéis de casas; coberturas e ligações.
<i>Bambusa arundinacea</i>	Índia	25,00 - 30,00	15,00 - 20,00	Paredes grossas com formas um pouco torcida, fortes e muito duradouras com presença de espinhos.
<i>Bambusa balcooa</i>	Índia	15,20 - 21,30	7,60 - 15,20	Muito adequado para diversas aplicações em construções.
<i>Bambusa blumeana</i>	Malásia, Java, Índia, Sumatra, Borneo e Filipinas	9,10 - 18,20	7,60 - 15,20	Paredes grossas; componentes construtivos de modo geral.
<i>Bambusa multiplex</i>	China	9,10	2,50	Entrenós longos e paredes finas; resistentes ao ataque de insetos; revestimentos para cobertura e painéis.
<i>Bambusa nutana</i>	Índia	10,00 - 15,00	4,00 - 8,00	Parede muito grossa, substância lenhosa forte, dura e muito apreciada; uso geral na construção civil.
<i>Bambusa polymorpha</i>	Índia, Paquistão, Birmânia e Tailândia	15,20 - 24,30	7,60 - 15,20	Considerado um dos melhores bambus para painéis, pisos e cobertura.
<i>Bambusa textilis</i>	China	14,10	5,00	Entrenós longos com capa lenhosa bastante delgada; traçados para painéis.
<i>Bambusa tuldoides</i>	China, Brasil, Malásia e El Salvador	19,10	5,00	Uso geral da construção civil.
<i>Dendrocalamus asper</i>	Malásia, Indonésia, Filipinas e Tailândia	30,50	15,20 - 20,30	Entrenós curtos, paredes muito grossas na região basal do bambu.
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Índia, Tailândia e Birmânia	24,30 - 30,50	20,30 - 25,40	Uso geral na construção civil.

Fonte: Toledo Filho e Barbosa (1990), *apud* Mota (2019).

Figura 7 - Índice de desmatamento acumulado - Amazônia Legal

Fonte: Adaptado pela autora de Inpe (2021).

Segundo Librelotto e Ostapiv (2019), apesar da riqueza biológica incontestável de bambus no território brasileiro, das espécies nativas de elevado interesse econômico, como os bambus do gênero *Guadua* e *Merostachys*, poucos são os estudos e utilizações comerciais. Por outro lado, muitas espécies exóticas, consideradas de grande potencial econômico foram introduzidas no território nacional. Algumas dessas espécies há muito tempo, como alguns bambus do gênero *Bambusa*, introduzidos pelos colonizadores portugueses e outras espécies apenas recentemente, como os bambus do gênero *Phyllostachys*, introduzidos principalmente por imigrantes japoneses. Os principais bambus exóticos de interesse econômico introduzidos no Brasil são: *Dendrocalamus asper* (entouceirante), *Bambusa vulgaris* (entouceirante), *Bambusa tuldoides* (entouceirante), *Bambusa vulgaris* variedade *vittata* (entouceirante), *Phyllostachys aurea* (alastrante), *Phyllostachys pubescens* (alastrante), *Guadua angustifolia* (semi alastrante).

Desse modo, o bambu torna-se um material promissor para o mercado brasileiro, pois, além de ser uma planta de rápido crescimento, de 3 a 7 anos, segundo a ABNT NBR 16828-1:2020 (2020), pode ser manejado em ciclos curtos de cortes e com rotação das espécies a serem exploradas em cada ciclo, a fim de aumentar área de biomassa da floresta, capazes de atingir grandes alturas e diâmetros (RUSCH; CEOLIN; HILLIG, 2019). Além disso, o bambu tem potencial para ser implantado em áreas degradadas, a fim de gerar crédito de carbono, e para a fabricação de produtos de bambu engenheirado, atendendo o setor da construção civil.

2.1.1.2. Bambu *Dendrocalamus asper*

O bambu *Dendrocalamus asper*, conhecido também como bambu gigante ou bambu balde é nativo da Malásia, país da Ásia. É um bambu entouceirante, em que seus colmos nascem próximos uns aos outros de forma concêntrica, sem invadir. É um bambu de grande porte, podendo chegar a 30 m de altura, diâmetro de até 25 cm e espessura das paredes de 4 cm na base, isso permite que seus colmos possam ser serrados, sendo ideal para compor grandes estruturas (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

Sua constituição química é basicamente formada pela celulose (50-55%), hemicelulose (20-25%) e lignina (20-25%). Suas principais propriedades físicas são: teor de umidade, densidade e estabilidade dimensional (retração e inchamento). Dependendo da aplicação desejada, pode ser um excelente aliado do isolamento térmico e comportamento acústico. Possui também uma excelente resistência à tração em relação a sua massa específica, como mostra o Quadro 3 de algumas espécies de bambus (CARBONARI *et al.* 2017).

Quadro 3 - Relação entre tração e massa específica de algumas espécies de bambus

Material	Resistência à tração (f_T)	Massa específica (ρ)	Relação (f_T/ρ)
<i>D. giganteus</i>	119	0,75	159
<i>B. oldhamii</i>	106	0,84	126
<i>B. tulda</i>	125	0,78	160
<i>B. nutans</i>	102	0,77	132

Fonte: Adaptado de Carbonari *et al.* (2017).

Conforme apresentado, existe uma grande variabilidade das propriedades anatômicas ao longo dos colmos de bambu. A maior concentração dos feixes de fibras nas camadas externas e a existência dos nós (diafragmas) eleva suas propriedades mecânicas. No entanto, segundo as pesquisas realizadas por Librelotto e Ostapiv (2019), embora existissem recomendação nas normas ISO (*international Standardization Organization*) para a realização dos ensaios em produtos de bambu, os resultados das propriedades mecânicas encontradas nas literaturas eram muito divergentes, pois as normas NBR 16828 para Estruturas de bambu e para a

determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu, só foram disponibilizadas em 2020. Ainda assim, os valores médios da resistência e do módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras da espécie do bambu *Dendrocalamus asper* são bastante elevados quando comparados a outras espécies de bambus, conforme apresentado nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 - Resistência à compressão paralela às fibras entre as espécies

Espécie de bambu	Resistência à compressão (MPa)	
	Com Nó	Sem Nó
<i>D. asper</i>	51,15±5,2%	49,84±4,5%
<i>B. beecheyana</i>	50,16±6,8%	48,20±5,1%
<i>D. giganteus</i>	48,27±3,5%	46,32±3,2%

Fonte: Adaptado de Librelotto e Ostapiv (2019).

Quadro 5 - Módulos de elasticidade à compressão paralela às fibras entre as espécies

Espécie de bambu	Módulo de elasticidade (GPa)	
	Com Nó	Sem Nó
<i>D. asper</i>	23,30±8,5%	24,80±6,7%
<i>B. beecheyana</i>	20,70±7,3%	19,70±5,5%
<i>D. giganteus</i>	21,90±6,4%	21,80±7,2%

Fonte: Adaptado de Librelotto e Ostapiv (2019).

2.1.1.3. Bambu Engenheirado

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de bambu engenheirado adequado para aplicações domésticas, industriais e estruturais vem aumentando, especialmente em regiões onde o bambu é um recurso natural amplamente disponível, como na China.

Os resultados com o processamento do bambu satisfizeram até mesmo os designs estruturais mais modernos, melhorando o desempenho estrutural, reduzindo a variabilidade natural dos colmos de bambu e proporcionando melhor qualidade em relação à madeira serrada ou ao bambu natural.

Com o vasto número de publicações acadêmicas no campo


experimental acerca do bambu engenheirado nos últimos 10 anos, a pesquisa adotou a revisão sistemática da literatura proposta pelos autores Aria e Cuccurullo (2017) para mapear as tecnologias de recombinação de bambu e os tipos de metodologia utilizadas para a fabricação desses produtos. As análises realizadas no *software* Bibliometrix e a matriz de conhecimento são apresentadas nos Apêndices A e B, respectivamente.

2.1.1.3.1. *Produtos de bambu engenheirado*


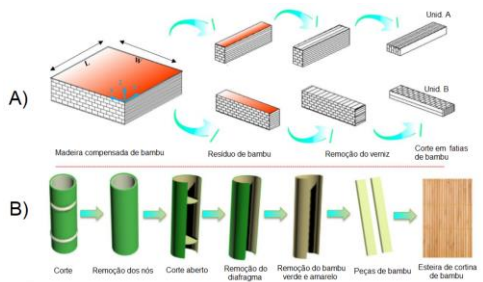

Os produtos de bambu engenheirado, segundo os autores Gauss *et al.*, (2019), podem ser classificados de acordo com a composição do material e da estrutura do produto, como: madeira compensada de bambu, laminados de bambu, aglomerado de bambu e placas compostas de bambu. Atualmente, o interesse por projetos estruturais à base de bambu engenheirado vem crescendo, fomentando novas pesquisas com potencial de inserção na indústria da construção civil.

A madeira laminada de bambu, bambu laminado colado e o bambu de fio paralelo, segundo os autores Sun, X., He e Li (2020) são atualmente os três produtos de bambu engenheirado mais comumente empregados em aplicações estruturais na China, sendo usados na construção de edifícios e pontes. Nesse contexto, esta pesquisa listou outros produtos de bambu engenheirado encontrados na literatura (Tabela 1).

Tabela 1 - Produtos de bambu engenheirado

Elemento de bambu	Descrição	Referência
	<p>Fabricação de vigas de bambu laminado de seções transversais retangulares com 60x120x2400 mm. As 10 vigas ensaiadas alcançaram resistência a flexão de 77 a 83 Mpa e o Módulo de elasticidade de 11 a 13 GPa, com a taxa de deslocamento de 10 mm/min.</p>	<p>(SHARMA <i>et al.</i>, 2015)</p>

Elemento de bambu	Descrição	Referência
	<p>Fabricação e análise físico-mecânica e tratamento de três tipos de prancha com lascas de (1) Álamo puro, (2) híbrido e (3) bambu Moso puro, com dimensões de 720 x 720 x 11 mm com estrutura de sanduíche de três camadas, distribuídas em 50% do peso total colocado aleatoriamente no núcleo e 25% em cada uma das camadas externas.</p>	<p>(SEMPLE; ZHANG; SMITH, 2015)</p>
	<p>Fabricação e análise de parede modular de compósito laminado folheado de bambu e folheado de madeira, com espessura de 60 mm. Em três camadas, uma no núcleo com espuma isolante e as externas com madeira laminada de bambu conectados com resina de isocianato.</p>	<p>(ZHOU, Haiying <i>et al.</i>, 2019)</p>
	<p>Fabricação e análise de viga pré-fabricadas em forma de caixa de madeira de bambu laminada com membranas de OSB (<i>Oriented Strand Board</i>), com quatro componentes: flanges de LBL (30 x 35 mm), almas em OSB (9,5 mm de espessura), adesivo estrutural de resina epóxi e pregos lisos (2,8 x 40 mm) com espaçamento de 150 mm.</p>	<p>(LIU <i>et al.</i>, 2019)</p>
	<p>Fabricação e análise de oito painéis laminados cruzados (900 x 320 x 27 mm) de tiras de madeira de <i>Pinus spp</i> e bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i>, com três camadas de 9 mm cada, com o uso de três adesivos: melamina-uréia-formaldeído, emulsão polimérica de isocianato e resina à base de mamona.</p>	<p>(BARRETO, M. I. M. <i>et al.</i>, 2019)</p>
	<p>Fabricação e análise de vigas de madeira laminada (300 x 22 x 13,5 mm) de vassoura de fibras de bambu <i>Neosinocalamus affinis</i>, prensadas a quente com adesivos de resina de fenol formaldeído a uma temperatura de 150°C e pressão de 3 MPa por aproximadamente 30 min.</p>	<p>(MA <i>et al.</i>, 2020)</p>

Elemento de bambu	Descrição	Referência
	<p>Fabricação e análise de oito combinações de painéis laminados cruzados (910 mm × 910 mm × 28 mm) de madeira de Abeto de ferro (cicuta canadense) e bambu <i>Phyllostachys pubescens</i>, com adesivo de fenol resorcinol-formaldeído, três camadas montadas de forma escalonada e com folga de 2 mm entre as tábuas de bambu.</p>	<p>(LI, Chao; WANG; ZHANG, 2020)</p>
	<p>Fabricação e análise de placas para estruturas de madeira laminada colada à base de bambu (2.000 a 2.500 mm de comprimento e 80 a 1.200 mm de largura). Tipo A com tiras grossas de bambu (5-8 mm de espessura e 20-25 mm de largura) e tipo B com tiras fina de telas de malha de bambu (2 mm de espessura e 20 mm de largura).</p>	<p>(LI, Z. <i>et al.</i>, 2021)</p>
	<p>Fabricação e análise de placas de madeira laminada de bambu. Tipo A: com uma camada de fatias de bambu e duas camadas de folheado seguidas, duas camadas de folheado, prensadas a quente a 2,5 Mpa, 65 s/mm e 130 °C. Tipo B: com lascas de bambu, colocadas em um instrumento de plasma de baixa temperatura com medidor de vácuo inferior a 40 Pa.</p>	<p>(WU <i>et al.</i>, 2021)</p>
	<p>Fabricação e análise de painéis compósito de fibra de bambu (50 × 50, 100 × 100 e 150 × 150 mm²), fabricadas manualmente e prensadas a quente em três espessuras: 15, 20 e 40 mm, nas seguintes etapas: a) primeira camada na placa de cobertura; (b) ajuntamento de esteira mostrando tiras com sobreposição mínima de tiras de núcleo; (c) disposição finalizada; (d) seção transversal de painel consolidado e (e,f) painel compósito de fibra de bambu.</p>	<p>(HU <i>et al.</i>, 2021)</p>
	<p>Fabricação e análise de dois tipos de estruturas de painéis de madeira laminada cruzada (2300 × 1250 × 51 mm) composta de painel de cortina de esteira de bambu moso (<i>Phyllostachys heterocycla</i>) e madeira serrada de Abeto (cicuta canadense), com três camadas, adesivadas com componente de poliuretano, prensado a frio com pressão de 1,2 Mpa por 2 horas.</p>	<p>(LI, H. <i>et al.</i>, 2021)</p>

Fonte: Própria autoria.

2.1.1.3.2. Tecnologia de aplainamento para bambu engenheirado

Segundo os autores Sun, He e Li (2020), o processo para a fabricação da maioria dos produtos de bambu engenheirado utiliza métodos e tecnologias usados também na fabricação das madeiras engenheiradas. Embora o processo de fabricação dependa do tipo de compósito de bambu a ser fabricado, as etapas de processamento mais comuns para a maioria dos produtos de madeiras engenheiradas de bambu podem ser separadas em: divisão, colagem, prensagem e pós-processamento.

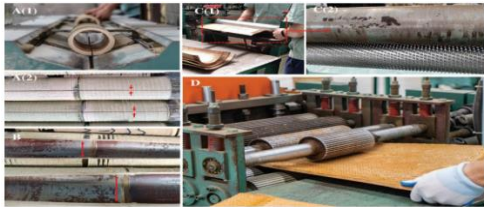

Na primeira etapa do processamento do bambu, os colmos são divididos em fios, feixes, tiras, lascas, lâminas, folhas ou apenas ao meio. Nessa fase, muitas tecnologias e ferramentas foram desenvolvidas com o interesse de se obter produtos de bambu mais regulares ou padronizados, para viabilizar a fabricação de laminados, esteiras, cortinas, aglomerados, placas e painéis em larga escala.

O processo mais comum é a fabricação de lâminas (ripas) de bambu, obtidas através da serragem por serra circular dupla ou fresadora de quatro faces, sendo essa transformação de baixo rendimento, pois existem sobras de material entre as lâminas no corte por serra, produzindo muito cavaco na operação até se obterem peças regulares. Nesse contexto, novos processos têm sido desenvolvidos para melhorar o aplainamento dos colmos (Tabela 2).

Tabela 2 - Tecnologia de aplainamento para produtos de bambu engenheirado

Elemento de bambu	Descrição da técnica	Referência
 <p data-bbox="280 1630 347 1653">Colmos</p> <p data-bbox="453 1630 520 1653">Divisão</p> <p data-bbox="592 1630 715 1653">Aplainamento</p>	<p data-bbox="751 1509 1225 1653">A divisão do colmo é feita em tiras finas através de máquina de seccionadora, aplainadas e processadas para criar seções transversais retangulares.</p>	<p data-bbox="1262 1554 1422 1615">(SHARMA <i>et al.</i>, (2015)</p>
	<p data-bbox="751 1659 1225 1962">O colmo é cortado a 1200 mm. Dividido em máquina de quebra mecânica com larguras de 40 mm. Aquecido em vapor de 2°C/5 min a 60 a 70°C e mantido por 24 a 36 h. Depois na câmara de secagem entre 80 e 100°C. Com máquina em forma de arco e fresadora, são removidos os nós externos e internos, ficando com largura uniforme e raio de arco de 50 mm.</p>	<p data-bbox="1246 1783 1422 1843">(ZHOU, Jianbo <i>et al.</i>, 2016)</p>

Elemento de bambu	Descrição da técnica	Referência
 <p>(a) Bambu (b) desmontamento de bambu (c) Pacote de bambu (d) Chapa de bambu (e) BLVL (f) Prensação a quente (g) Padrão de montagem (h) Imersão em resina FF</p>	<p>O colmo é dividido em 4 partes, prensado e são retirados os nós. É achatado na máquina de distorção por 5 a 7 vezes. É realizado tratamento químico, em resina de fenol formaldeído por 5 a 7 minutos. As folhas são prensadas a quente a 150 °C durante 10 minutos.</p>	<p>(WANG; CHEN, 2017)</p>
	<p>O colmo é dividido ao meio, retirado o diafragma e passado várias vezes em equipamento planificador com rolos com sulcos (vincos) internos e externos com discos, até ser planificado.</p>	<p>(SALAMON; OSTAPIV, 2017)</p>
 <p>Remove diaphragms & node ridges and slit. Saturated high-pressure steam 1.25 MPa 90°C 5-10 mins. Flattening. Roller with smooth surface. Roller with protrusions. Inner surface with indentations. Flattened bamboo. Inner surface with cross diagonal cuts.</p>	<p>O colmo é dividido ao meio. Os nós externos e internos são removidos. Amolecidos em recipiente selado a 190 °C por 5 a 10 min. São inseridos imediatamente em máquina com rolo superior de superfície lisa e o rolo inferior com protrusões. Depois são processados em uma plaina de superfície dupla, até que as camadas mais externas do bambu sejam totalmente aplainadas.</p>	<p>(FANG <i>et al.</i>, 2018)</p>
 <p>I. Bambu II. Colmo de bambu III. Colmo dividido IV. Suavização V. Achatamento VI. Bambu achatado</p>	<p>É feita uma fenda no colmo e removidos os nós externos e internos. É aplicado vapor em alta pressão de 140 °C a 160 °C por 8 min. Depois são inseridos imediatamente em máquina com rolo superior com superfície lisa e o rolo inferior com protrusões.</p>	<p>(ZHANG <i>et al.</i>, 2019)</p>
 <p>Raw bamboo Crosscutting Chipping Dipping Drying Assembling Hot pressing BOSL</p>	<p>O colmo é dividido em corte de 140-150 mm, e feitos pedaços finos na direção radial. As lâminas sem nós são lançadas em solução de resina fenol formaldeído por 5 minutos. São pesadas para atingir a carga de resina de 15%. Levadas para secar a 60 °C. A placa é prensada a quente a 150 °C por 15 minutos sob uma pressão de 4-7 MPa. Ficando em câmara climatizada a 25-30 °C entre 60-65% de umidade relativa por 14 dias.</p>	<p>(SUN, Yuhui <i>et al.</i>, 2020)</p>
 <p>Prensa Restrição e aquecimento Divisão de bambu curvado Restrição e aquecimento Densificado Prensa Bambu densificado</p>	<p>O colmo é dividido, mergulhado em resina de fenol-formaldeído e comprimido em prensa aquecida para o aplainamento. Os parâmetros de pressão, tempo e temperatura variam de acordo com a espécie de bambu.</p>	<p>(KADIVAR <i>et al.</i>, 2020)</p>

Elemento de bambu	Descrição da técnica	Referência
	<p>É feita uma fenda no colmo e a lâmina sem nós é submetida a amolecimento em composição química ou térmica a 160°C por 8 minutos. Em seguida é achatada em rolo de alisamento com pregos para torná-la livre de rachaduras.</p>	(LOU <i>et al.</i> , 2021)
	<p>É feita uma fenda linear no colmo e os nós são removidos. A suavização é feita por vapor de alta pressão 180°C por 8 minutos em tanque selado. Segue-se o achatamento não entalhado em rolos. Essa tecnologia permite produzir lâminas planas de 3,5 metros, sem furos ou rachaduras.</p>	(YUAN <i>et al.</i> , 2022)

Fonte: Própria autoria.

É possível observar que as tecnologias de aplainamento de bambu visam resolver o problema da curvatura do material, melhorando suas áreas de utilização e aplicação. De acordo com a revisão realizada, há dois tipos de técnicas utilizadas para o aplainamento do bambu: a de achatamento, denominada na literatura por “entalhadas ou com crack”; e a técnica de aplainamento denominada na literatura por “não entalhada ou sem crack”.

Na primeira técnica as fibras de bambu passam por estresse interno e externo, afetando sua aparência e suas propriedades mecânicas, com perfurações, arranhões e rachaduras nas superfícies do colmo. É amplamente utilizada na fabricação de produtos com dimensões reduzidas, como tábua de cortar alimento, artesanato, ou na indústria moveleira. Na segunda técnica o estresse nas fibras de bambu é neutralizado através de tratamento químico, tratamento térmico e/ou aumento do teor de umidade, de forma gradual, permitindo produzir superfícies sem buracos ou rachaduras. Pode ser utilizada em pisos, tetos, acabamentos de parede, tábuas e materiais estruturais, por permitir a produção de lâminas com elevado comprimento.

2.1.2. Adesivo

O adesivo é uma substância capaz de manter unida a superfície de dois ou mais materiais semelhantes ou diferentes. Os materiais unidos são mantidos

juntos por contato interfacial de tal forma que, ao receberem uma força mecânica, o adesivo distribui as tensões recebidas para a região da junção ou da superfície do outro material, caracterizando esse evento como adesão e garantindo uma boa resistência mecânica ao material (MÖLLEKEN, 2017)

Segundo Jesus (2000), para que haja uma perfeita união entre os materiais colados é fundamental o conhecimento do mecanismo pelo qual o processo de adesão ocorre. É necessário avaliar corretamente suas propriedades, penetração, extensão, difusão, solubilidade, deformação e fluxo reologia, tensões térmicas e de retração, viscosidade, tempo de cura, tempo de armazenamento e rendimento. Os dois mecanismos de adesão mais relevantes são: adesão mecânica, que ocorre em superfícies porosas, havendo o entrelaçamento do adesivo endurecido na junta de colagem e nos poros do aderente; e adesão química, onde as forças básicas envolvidas são as de ligações químicas primárias entre o adesivo e o aderente, responsável pela resistência e duração da ligação adesiva.

Os adesivos são classificados segundo a origem, os adesivos naturais são aqueles que podem ser obtidos de fontes animais, vegetais e minerais. Os adesivos semissintéticos são aqueles que foram derivados de produtos naturais que sofreram modificações químicas. Os adesivos sintéticos são formados através de reações de poliadição e policondensação em cadeia.

Segundo a pesquisa realizada por Mölleken (2017), o surgimento do adesivo à base de resorcinol-formaldeído foi na época da Segunda Guerra Mundial, criado pela empresa Bayer, na Alemanha. Apesar de possuir um custo maior, ele permitia a cura à temperatura ambiente e era mais resistente à água.

Como o avanço no estudo da química das macromoléculas, uma variedade de polímeros foi sendo desenvolvida possibilitando grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, de poliéster e de poliuretanas, além do incremento das aplicações dos processos de colagem, com as mais variadas finalidades. Teixeira (2015) observa que os adesivos com isocianato, ureia e fenol formaldeído são os mais utilizados na colagem de madeira por apresentarem um alto desempenho de adesão (Quadro 6).

Quadro 6 - Classificação dos adesivos utilizados em madeira

Classificação	Ambiente de uso	Tipos de Adesivos
Estrutural	Exterior	Fenol-formaldeído (FF)
		Resorcinol-formaldeído (FF)
		Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF)
		Emulsão polímero/isocianato
		Melamina-formaldeído (MF)
	Exterior limitado	Melamina-ureia-formaldeído (MUF)
		Isocianato
		Epóxi
	Interior	Ureia-formaldeído (UF)
		Caseína
Semiestrutural	Exterior limitado	Polivinil acetato “crosslinking”
		Poliuretano
Não Estrutural	Interior	Polivinil acetato (PVAc)
		Animal
		Soybean
		“Hot-melt”
		Amido

Fonte: Forestry Product Laboratory (1999), *apud* Mölleken (2017).

Segundo Barreto (2018) e Santos (2019), o Brasil se encontra em desenvolvimento de normativas para a fabricação de painéis estruturais de madeira laminada colada. As normas adotadas nas pesquisas brasileiras possuem padrões internacionais, como a norma ANSI/APA PRG 320 (2012), que recomenda os seguintes adesivos:

- a) Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF)
- b) Emulsão Polímero Isocianato (EPI)
- c) Poliuretano (PUR)

No entanto, os adesivos com isocianato, ureia e fenol formaldeído apresentam uma alta toxicidade, sendo necessário cuidado no manuseio e na aplicação no processo de colagem, devido à emissão de gases tóxicos. Já os adesivos

poliuretanos, que são polímeros que têm o grupo uretano na cadeia principal e são produzidos pela reação de compostos hidroxilados com isocianato, podem ter seus polióis derivados tanto de petróleo quanto de outras fontes renováveis como: óleos vegetais como soja, canola, milho, palma e mamona, sendo uma alternativa promissora e mais sustentável para o desenvolvimento de novos componentes estruturais (NOGUEIRA, 2017).

2.1.2.1. Resina PU à base de óleo de mamona

O poliuretano bicomponente é composto formado por um pré-polímero obtido a partir do Difenil Metano Diisocianato (MDI) e um poliálcool poliéster trifuncional sintetizado. A sua principal característica é a formação de uretanos após o processo de cura. A síntese dessa substância ocorre por meio da reação química entre um grupo de hidroxilo e o isocianato. Essa alteração permite uma variedade de diferentes tipos de poliuretanos, que podem ser enquadrados em dois principais grupos: poliuretano monocomponente e poliuretano bicomponente (NOGUEIRA, 2017). De acordo com Wilczak (2014), que avaliou o comportamento mecânico por meio de testes de flexão estática e cisalhamento da linha adesiva, foi relevante para a substituição dos adesivos comerciais à base de formaldeído, sendo viável para uso interno e externo.

A resina PU à base de óleo de mamona é obtida através da semente da planta *Ricinus communis L.*, arbusto popular em quase todo o mundo e muito encontrada em regiões tropicais e subtropicais do Brasil. Ela tem se tornado uma alternativa promissora e mais sustentável para o desenvolvimento de novos componentes estruturais, podendo substituir os adesivos de origem não natural (NELSON *et al.*, 2013). De acordo com tipo de prensagem e métodos de purificação utilizada, o óleo de mamona pode apresentar valores diferentes com relação à sua acidez e umidade. Essas características, aliadas à sua facilidade de se adaptar a determinados substratos, permitem sua aplicação em distintos segmentos da indústria como, por exemplo, nas obras de madeira e nas obras de aço (NOGUEIRA, 2017).

Por apresentar uma baixa viscosidade, a resina PU à base de óleo de mamona apresenta uma boa penetração nos poros dos substratos, formando ligações covalentes com substratos que tenham hidrogênio ativo, garantindo uma boa aderência entre os materiais colados, característica essencial para garantir aos

componentes estruturais rigidez, resistência química e proteção contra a umidade (MÖLLEKEN, 2017). Para que haja uma boa ancoragem do adesivo, Pereira (2014) aconselha realizar a colagem logo após o aplainamento das lâminas, pois esse processo abre os poros da madeira ajudando na fixação do adesivo. Caso o tempo após o aplainamento seja superior a 24 horas, a oxidação pode fechar os poros, dificultando a colagem.

MÖLLEKEN (2017) realizou um estudo sobre aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na fabricação de painéis de madeira de *Pinus taeda* e *Tectona grandis* colados lateralmente em quatro condições: seco, úmido, após fervura e em ciclos. A média encontrada para a resistência ao cisalhamento na linha de cola para a espécie da madeira seca de *Pinus taeda* foi de 8,55 MPa e para a espécie da madeira seca de *Tectona grandis* foi de 10,05 MPa.

No estudo desenvolvido por Barreto (2018), os painéis de CLTB com camadas de bambu/pinus/bambu fabricados com o adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona (AGT 1315) obtiveram resultados bem superiores da norma internacional ANSI/APA PRG 320 (2012), com valor máximo de 10,12 MPa e valor mínimo de 7,2 MPa. Seus valores ficaram bem próximos aos das peças fabricadas com o adesivo de melanina ureia formaldeído (MUF), com valor máximo de 12,3 MPa e valor mínimo de 8,8 MPa.

Nos ensaios de cisalhamento na linha de cola realizados por Santos (2019), as vigas de bambus laminados colados produzidos com o mesmo adesivo obtiveram resultados satisfatórios para ambos bambus utilizados. Para os bambus *P. pubescens*, as vigas apresentaram resistência entre 0,21 e 10,43 MPa e, para a espécie *D. giganteus*, as vigas apresentaram resistência entre 1,26 e 11,94 MPa. Os resultados de resistência na linha de cola ficaram dentro da faixa de valores de espécies de bambu pesquisadas por outros autores, relata o autor.

2.1.3. Conclusão da revisão

Por meio da revisão foi possível observar que os produtos de madeira à base de bambu são classificados de acordo com a composição do material ou estrutura utilizada, como: madeira compensada de bambu, laminados de bambu, aglomerado de bambu e placas compostas de bambu. E que a maioria dos produtos de bambu engenheirado utiliza métodos e tecnologias usadas para a fabricação das

madeiras engenheiradas. Embora o processo de fabricação dependa do tipo de compósito de bambu a ser fabricado, as etapas de processamento mais comuns podem ser separadas em: divisão, colagem, prensagem e pós-processamento. É nessa fase que as tecnologias ou ferramentas são desenvolvidas com o interesse de se obter produtos de bambu mais regulares ou padronizados.

Nesse contexto e com base no conhecimento das tecnologias de aplainamento utilizadas no processo de produção de produtos à base de bambu engenheirado, essa pesquisa adotou as seguintes estratégias para a produção de laminados colados de bambu para futuros painéis estruturais com três camadas de CLTB:

- a) Dimensão mínima especificada na ANSI/APA PGR 320 (2012) de 35 mm de espessura, uma vez que não há regulamentação brasileira para produção de painéis estruturais, com ou sem bambu;
- b) Bambu *Dendrocalamus asper*, por apresentar alta produtividade por hectare com média de 8 hastes/arbusto/ano, representa bom nível de sequestro de carbono e baixo custo de manutenção, desde o plantio até a colheita;
- c) A resina de poliuretano à base de óleo de mamona, por ser fabricada a partir de fontes renováveis e menos poluentes, sendo uma alternativa promissora e mais sustentável para o desenvolvimento de novos componentes estruturais;
- d) Metodologia de aplainamento convencional, por ser o método mais utilizado no processamento do bambu engenheirado;
- e) Metodologia de aplainamento em arco recombinado proposto pelos autores Zhou, J. *et al.* (2016), por ser um método que permite a utilização das lâminas de bambu sem a necessidade de adensamento ou achatamento por prensagem a quente.

CAPÍTULO 3

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo trata dos materiais e métodos utilizados para fabricação de laminados colados de bambu, produzidos para compor futuramente painéis estruturais de três camadas de CLTB, com base nos métodos de aplainamento convencional e aplainamento de arco re combinado.

3.1.1 Matéria-Prima

3.1.1.1 Bambu

O bambu utilizado na pesquisa é da espécie *Dendrocalamus asper*, também conhecido como bambu gigante. Foram retirados do Jardim Botânico de Londrina, na Av. dos Expedicionários, 1999 - Vivendas do Arvoredo, no dia 10 de maio de 2022 e da Universidade Estadual de Londrina (UEL), na rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380, no dia 12 janeiro de 2023.

Na coleta dos bambus, procurou-se realizar a classificação visual de cada colmo utilizando os seguintes critérios: diâmetro que melhor corresponde às dimensões para a produção das lâminas, colmos sólidos, sem defeitos, com coloração normal, sem manifestações evidentes de brocas, degradação, rachaduras ou manchas azuis.

Os colmos foram cortados 20 cm acima do solo imediatamente após o nó, sem expor o tronco ao acúmulo de água da chuva, com auxílio de motosserra. Para facilitar o transporte, cada colmo foi dividido em 4 seções de 3 metros cada. Após o transporte para o laboratório de maquetes e modelos da UEL, os colmos foram submetidos a 3 ciclos com intervalo de 3 dias de imunização preventiva com o inseticida JIMO Cupim, permanecendo no laboratório em temperatura ambiente (Figura 8).

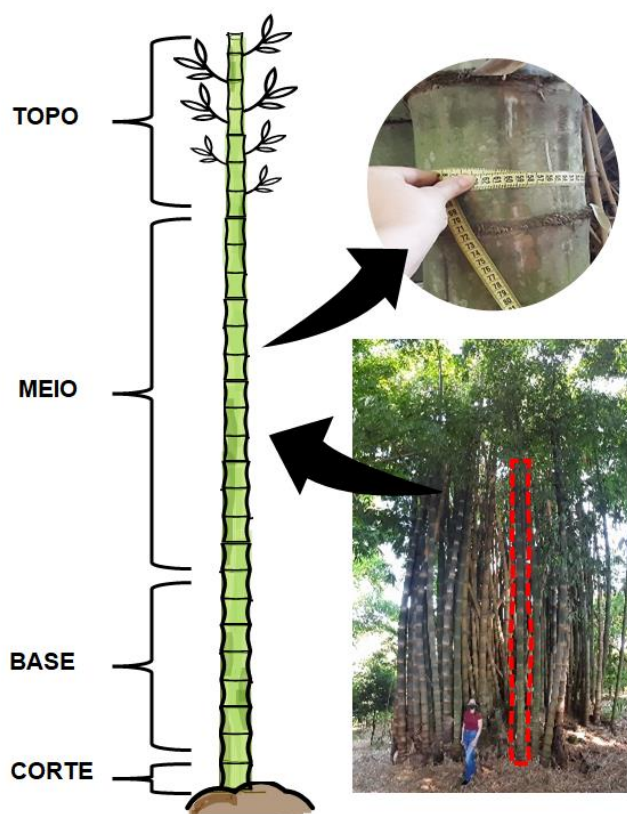
Figura 8 - Corte, transporte e imunização dos colmos de bambu gigante



Fonte: Própria autoria.

Para estabelecer um padrão de corte longitudinal para obtenção das lâminas de bambu, foi realizado um levantamento das medidas dos colmos (Figura 9). As dimensões mais constantes do menor eixo radial da base, centro e topo variaram entre: 44 e 46 centímetros (base), 38 e 40 ou 30 e 33 centímetros (meio) e 21 e 24 centímetros (topo).

Figura 9 - Levantamento das medidas dos colmos

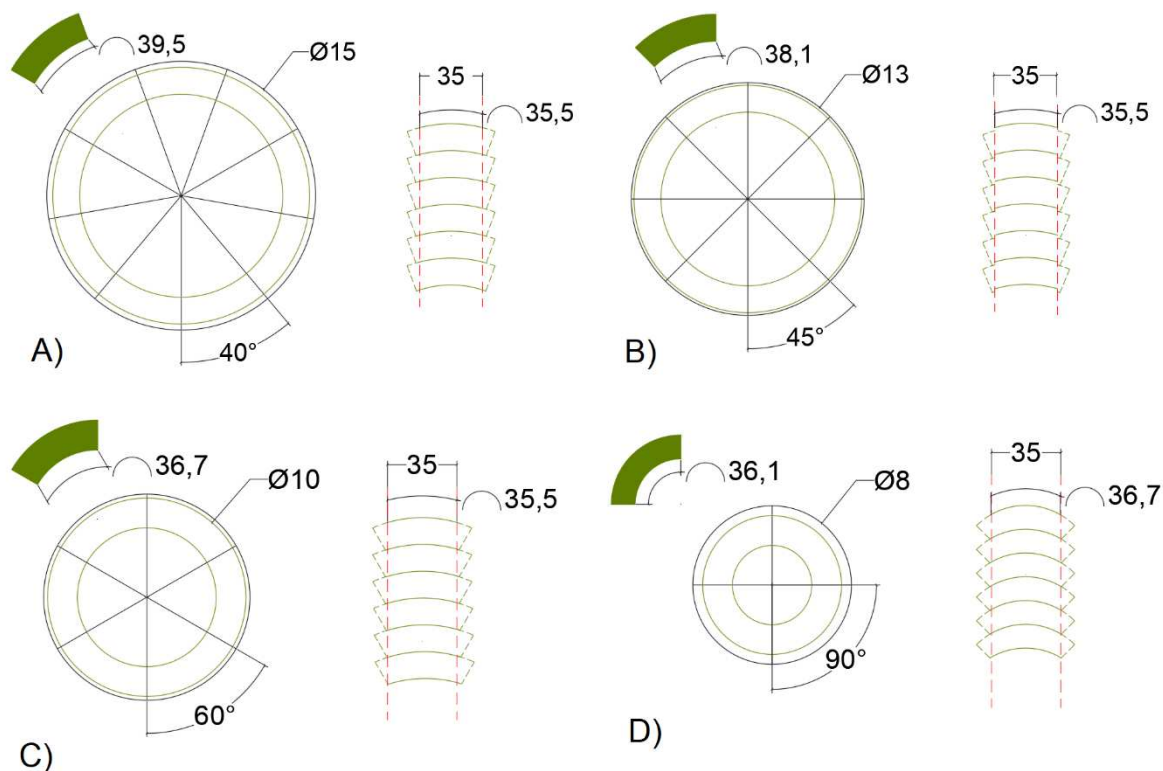


Fonte: Própria autoria.

Para lidar com diferentes circunferências ao longo do comprimento dos colmos, foram estabelecidos 4 padrões de corte longitudinal para as lâminas de bambu, na tentativa de obter o melhor aproveitamento do material após o processo de usinagem, tendo em vista a espessura final do material com 35 mm, dimensão mínima exigida na norma ANSI/APA PGR 320 (2012) para painéis estruturais com três camadas, como os painéis de CLTB (Figura 10).

Para a base dos colmos com a menor seção radial igual ou superior a 45 centímetros e com espessura da parede de 15 mm ou mais, é possível fabricar 9 lâminas, com largura superior a 35 mm em ângulo de 40° (Figura 10a). Para os colmos do meio com a menor seção radial igual ou superior a 40 centímetros e com a menor seção radial igual ou superior a 30 centímetros, com espessura de 15 mm ou mais, é possível fabricar 8 lâminas em ângulo de 45° e 6 lâminas em ângulo de 60°, respectivamente, com largura superior a 35 mm (Figuras 10b e 10c). E para o topo dos colmos com a menor seção radial igual ou superior a 21 centímetros, com espessura de até 12 mm, é possível fabricar 4 lâminas, em ângulo de 90° (Figura 10d).

Figura 10 - Padrão de corte longitudinal estabelecido para os colmos de bambu



Fonte: Própria autoria.

3.1.1.2 Adesivo

O adesivo utilizado foi o PU Bicomponente a base de óleo de mamona AGT 1315, da empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, localizada na Estrada de Servidão, Gleba II, Bairro Cachoeira do Itupeva, Aguaí – SP.

Após a usinagem das lâminas, com os poros do bambu abertos para ajudar na ancoragem química do adesivo, foi realizada a mistura manual do adesivo a frio do pré-polímero (componente A) e o polioli (componente B), misturados na proporção de 1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B, em massa respectivamente), conforme as instruções do fabricante (Figura 11).

O tempo médio de trabalho com adesivo AGT 1315 foi em torno de 15 minutos, enquanto a resina é homogênea, em dias frios o tempo médio aumenta. Após esse tempo, a cola fica no ponto de gel, o que dificulta o manuseio, levando à perda do material. Portanto, recomenda-se fazer a mistura em pequenas quantidades.

Figura 11 - Adesivo de poliuretano derivado do óleo da mamona



Fonte: Própria autoria.

A consistência da resina AGT 1315 é fluída, com coloração âmbar e isento de cheiro ou de elementos tóxicos. Segundo o fabricante, a secagem ao toque varia de 60 a 90 minutos dependendo da temperatura ambiente. O tempo mínimo de retirada do molde a temperatura ambiente é de 2 horas e para tempo de cura total e manuseio é de 24 horas.

3.1.1.3 Descrição do corpo de prova

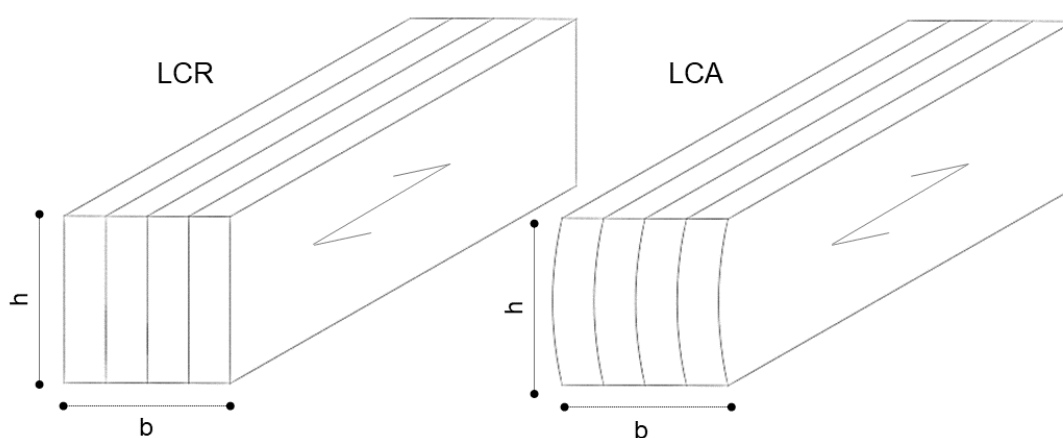
Foram produzidos 36 corpos de prova de bambu laminado colado da espécie *Dendrocalamus asper* com adesivo de PU Bicomponente a base de óleo de

mamona, separados em dois grupos de bambus laminados, conforme a metodologia de usinagem das lâminas:

- a) Laminado colado retangular, através da metodologia convencional com a planificação através da usinagem das fases do bambu, denominado LCR;
- b) Laminado colado em arco, através da metodologia em arco recombinação preservando a curvatura original das fases do bambu, denominado LCA.

Desses, 18 corpos de provas de LCR foram utilizados, sendo 10 para pré-testes e 8 para os ensaios finais e da mesma forma, 18 corpos de provas de LCA foram utilizados, sendo 10 para pré-testes e 8 para os ensaios finais. Não houve padronização quanto a espessura das lâminas. Os corpos de prova LCR e LCA foram fabricados em orientação horizontal das lâminas (Figura 12).

Figura 12 - Orientação horizontal das lâminas

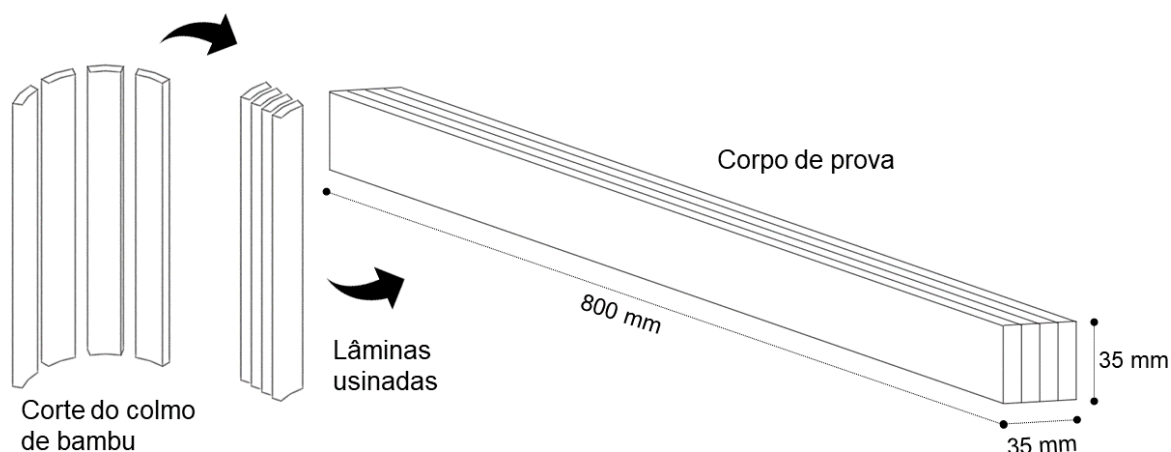


Fonte: Própria autoria.

3.1.1.4 Determinação das dimensões dos corpos de prova

Segundo a norma, o corpo de prova (Figura 13) deve ter um comprimento mínimo de 19 vezes a profundidade da seção. Como o presente estudo tem a finalidade de compor futuros painéis estruturais de CTLB, a determinação da profundidade da seção foi estabelecida a partir da espessura mínima determinada na ANSI/APA PRG 320-2012, com 35 mm para painel estrutural de três camadas.

Figura 13 - Dimensões dos corpos de prova



Fonte: Própria autoria.

3.1.1.4.1 Laminado colado retangular (LCR)

Na produção dos corpos de prova LCR, foi utilizada a plaina desengrossadeira para remoção das faces internas e externas igualmente, visando eliminar a curvatura natural do bambu (Figura 14).

Figura 14 - Produção das lâminas de bambu



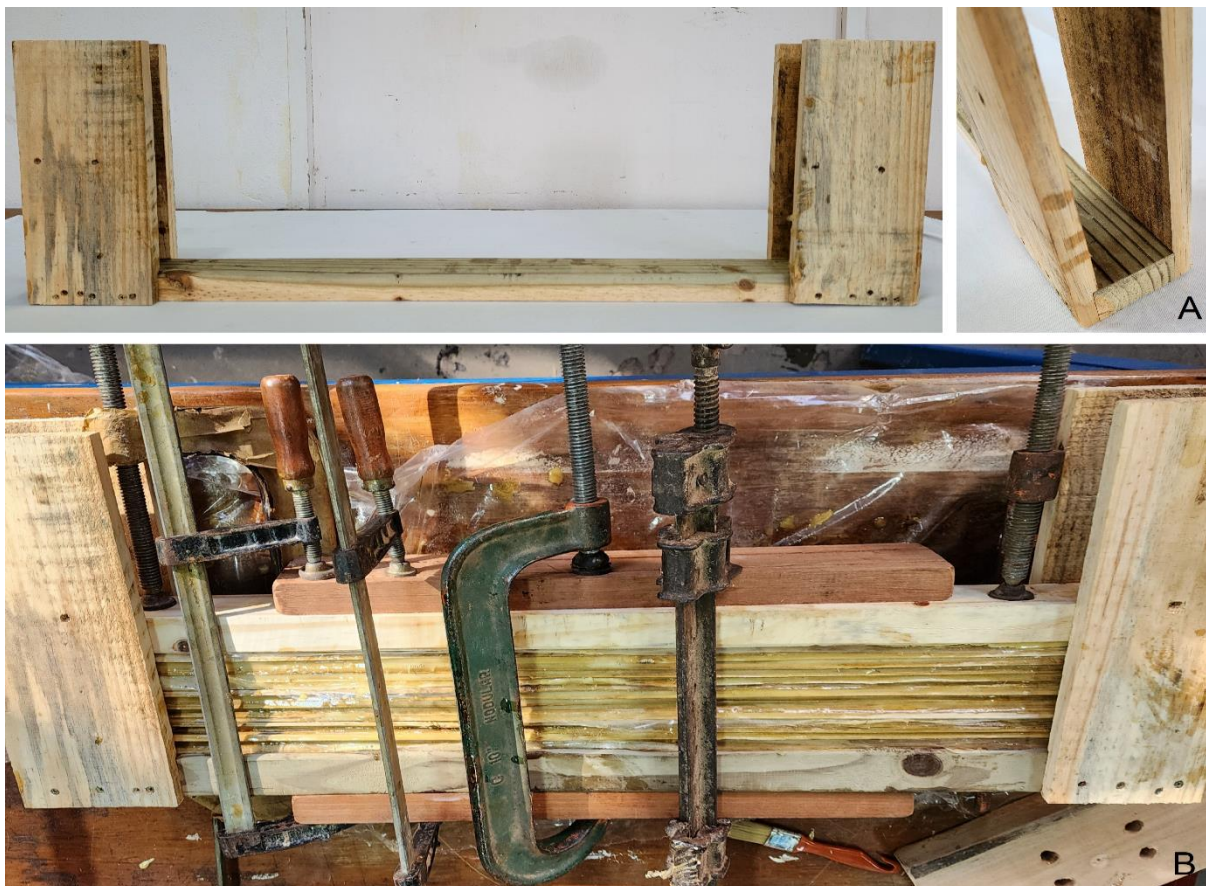
Fonte: Própria autoria.

Foram produzidos 18 corpos de prova com 40 mm de espessura e 90 cm de comprimento, com 3-4 lâminas. Após a planificação das faces do laminado os corpos de prova ficaram com 35 mm de espessura e 800 mm de comprimento.

Para realização da colagem, foi produzido um aparato de alinhamento a fim de evitar o deslizamento das lâminas no momento da prensagem manual (Figura 15a). A resina AGT 1315 foi aplicada nas duas faces das lâminas com pincel trincha média com cerdas grisalhas, sendo pressionadas com grampos para carpintaria tipo

sargento (Figura 15b). O tempo de prensagem foi de 24 horas em temperatura ambiente de 23 ± 3 °C e $65\pm 5\%$ de umidade relativa.

Figura 15 - Aparato de alinhamento retangular e prensagem manual

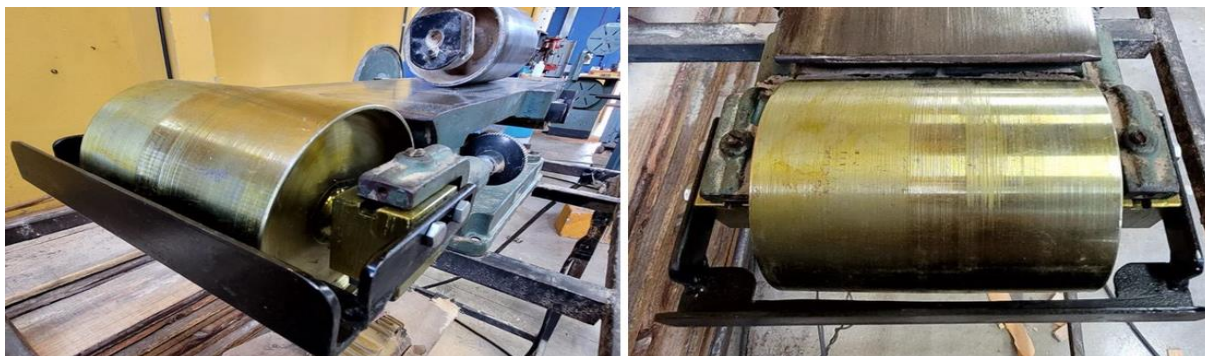


Fonte: Própria autoria.

3.1.1.4.2 Laminado colado em arco recombinao (LCA)

Na produção dos corpos de prova LCA, foi desenvolvido um instrumento de remoção dos nós externos e internos a partir de um tubo mecânico de $\varnothing 12,5$ por 14,8 cm de comprimento (Figura 16), com eixo linear, rolamento, duas flanges e dois perfis de seção quadrada, torneados para se encaixar na lixadeira do laboratório de maquetes e modelos da UEL, juntamente com um suporte para acomodar as lâminas, (com cantoneira, barra chata e parafusos) regulável de acordo com a espessura das lâminas.

Figura 16 - Instrumento de remoção dos nós externos e internos

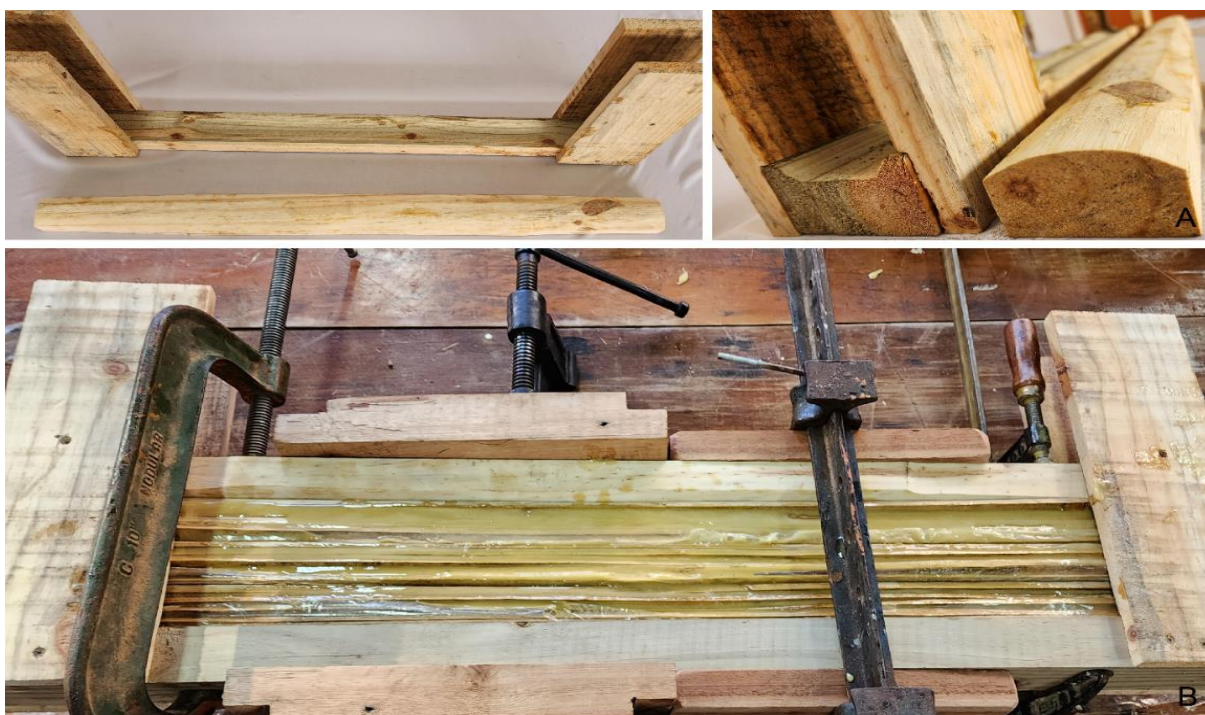


Fonte: Própria autoria.

Foram produzidos 18 corpos de prova com 40 mm de espessura e 90 cm de comprimento, com 3-5 lâminas. Após a planificação das faces do laminado os corpos de prova ficaram com 35 mm de espessura e 80 cm de comprimento.

Para realização da colagem, foi produzido um aparato de alinhamento em arco recombinação a fim de evitar o deslizamento das lâminas no momento da prensagem manual (Figura 17a). A resina AGT 1315 foi aplicada nas duas faces das lâminas com pincel trincha média com cerdas grisalhas, sendo pressionadas com grampos para carpintaria tipo sargento (Figura 17b). O tempo de prensagem foi de 24 horas em temperatura ambiente de 23 ± 3 °C e $65\pm 5\%$ de umidade relativa.

Figura 17 - Aparato de alinhamento em arco recombinação e prensagem manual



Fonte: Própria autoria.

3.1.2 Métodos de Ensaio

Os métodos de ensaios utilizado foram preconizados pela Norma Internacional ISO 23478-2022: Produtos de bambu engenheirado - Métodos de teste para determinação de propriedades físicas e mecânicas (2022). A parte experimental foi desenvolvida nos seguintes laboratórios da UEL: laboratório de maquetes e modelos, laboratório de materiais de construção, laboratório de estruturas, laboratório de saneamento e laboratório de nematologia agrícola.

3.1.2.1 Determinação do teor de umidade (TU)

A determinação do teor de umidade foi verificada em dois momentos. No primeiro momento, após o desdobro das lâminas foi realizada a primeira medição do teor de umidade, com 45 dias após a coleta dos colmos. As lâminas foram pesadas em balança de precisão e postas na estufa a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Após 24 horas foram retiradas e pesadas novamente. Após 45 dias o procedimento foi repetido em novas amostras dos colmos, sendo aplicada à Equação 1. De igual modo a determinação do teor de umidade foi realizada nos corpos de prova imediatamente após o ensaio mecânico. Após 24 h, a massa foi registrada em intervalos regulares de 2 h, sendo aplicada à Equação 1.

Equação 1 - Determinação do teor de umidade do corpo de prova

$$TU\% = \frac{(M_{úmida} - M_{seca})}{M_{seca}} \times 100$$

Onde:

TU% – Teor de umidade (%);

$M_{úmida}$ – Massa inicial úmida (g);

M_{seca} – Massa final seca (g).

A secagem foi considerada completa quando a diferença entre as pesagens sucessivas não superou 0,5 %. O teor de umidade observado foi de 12%, seguindo as recomendações das normas de ABNT NBR 7190 (1997), ABNT NBR 16828-1 (2020), ABNT NBR 16828-2 (2020) e ISO 23478 (2022).

3.1.2.2 Determinação da densidade úmida e seca

A densidade foi determinada analisando toda a seção transversal do corpo de prova, avaliando todas as dimensões com paquímetro digital de precisão de 0,1 mm, calculando o volume por multiplicação da altura (h), pela largura (L), e pelo comprimento (C).

Com balança de precisão de 0,5%, os corpos de prova foram pesados imediatamente após o ensaio mecânico para a determinação da densidade úmida, segundo a Equação 2:

Equação 2 - Densidade do corpo de prova úmido

$$\rho_{teste} = \frac{m_e}{V}$$

Onde:

ρ_{teste} - Densidade úmida dos corpos de prova (g/cm³)

m_e - Massa úmida dos corpos de prova (g)

V - Volume úmido dos corpos de prova (cm³)

Depois os corpos de provas foram colocados em estufa a uma temperatura de 103 ± 2°C. Após 24 h, a massa foi registrada em intervalos regulares de 2 h, seguindo os critérios da determinação do teor de umidade e aplicada na Equação 3.

Equação 3 - Densidade do corpo de prova seco

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

Onde:

ρ_0 - Densidade seca dos corpos de prova (g/cm³);

m_0 - Massa seca dos corpos de prova (g);

V_0 - Volume seco dos corpos de prova (cm³).

3.1.2.3 Determinação da taxa de deslocamento

A carga máxima estimada e a determinação da taxa de deslocamento

foram realizadas em pelo menos 10 corpos de provas. O objetivo do teste é determinar o tempo médio da carga aplicação à uma taxa constante até atingir o f_{max} próximo de 300 segundos.

Os testes preliminares foram realizados em 10 corpos de provas LCR e 10 corpos de provas LCA. Através do ensaio de flexão em quatro pontos, à taxa de aplicação de carga foi realizada utilizando os mesmos critérios dos ensaios finais, com os pontos de carga distantes entre si 210 mm e com o vão livre entre os apoios de 700 mm.

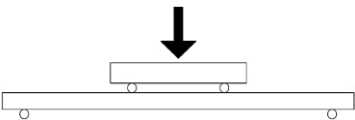
A taxa de deslocamento máxima utilizada foi de 10 mm/min e a mínima foi de 5 mm/min, a média dos corpos de provas que alcançaram o f_{max} em aproximadamente 5 minutos, com a aplicação da carga a uma taxa constante, foi de 7 mm/min.

3.1.2.4 Determinação da resistência e módulo de elasticidade global na flexão

Os corpos de provas permaneceram em ambiente condicionado 24h antes da realização do ensaio na câmara climática do laboratório de estruturas da UEL, em temperatura de 20 ± 3 °C e $65\pm 5\%$ de umidade relativa.

A taxa de deslocamento foi determinada a partir da média dos resultados dos testes preliminares nos 10 corpos de provas LCR e 10 corpos de provas LCA (Tabela 3).

Tabela 3 - Método adotado do ensaio de flexão para os laminados

Método do teste	Tipo de laminado	Nº	Dimensões (mm)	Taxa de deslocamento (mm/min)	Ilustração do ensaio
Flexão	LCR	8	35 x 35 x 800	7	
	LCA	8	35 x 35 x 800	7	

Fonte: Própria autoria.

O ensaio de flexão em quatro pontos foi realizado utilizando máquina de prensa universal EMIC DL 30000 adaptada para as dimensões dos corpos de prova, com célula de carga de 300 kN (Figura 18) e peças para o apoio e aplicação das cargas com aproximadamente 5 kg (Figura 19).

Foi realizado ensaio de flexão a 4 pontos no qual os pontos de carga

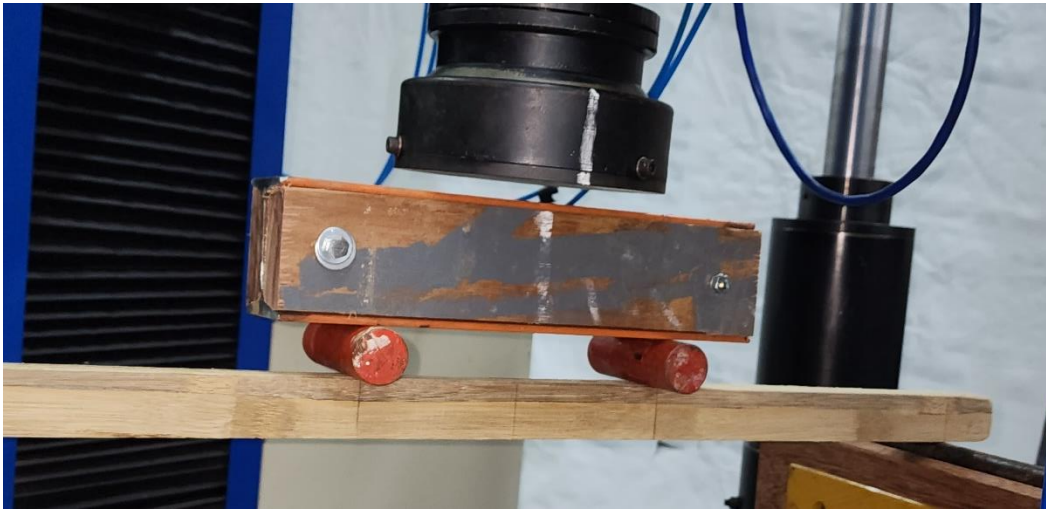
ficaram distantes entre si 210 mm e com o vão livre entre os apoios de 700 mm, a uma taxa de deslocamento de 7 mm/min, determinada a partir dos pré-testes. Este ensaio elimina a influência das tensões de cisalhamento no centro do vão do corpo de prova, o que permite uma análise mais precisa da resistência à flexão e do comportamento do material em diferentes pontos. O deslocamento foi medido com a utilização de um deflectômetro.

Figura 18 - Máquina de ensaio universal EMIC



Fonte: Própria autoria.

Figura 19 - Peças para apoio e aplicação da carga



Fonte: Própria autoria.

A resistência máxima e módulo de elasticidade global foram calculados segundo as Equações 4 e 5, respectivamente.

Equação 4 - Resistência máxima (f_m)

$$f_m = \frac{3aF}{bh^2}$$

Onde:

- a - Distância entre uma posição de carregamento e o apoio mais próximo (mm);
- b - Largura da seção transversal (mm);
- h - Profundidade da seção transversal (mm);
- F - f_{max} (N/mm²).

Equação 5 - Módulo de elasticidade global ($E_{m,g}$)

$$E_{m,g} = \frac{a}{4bh^3} (3l^2 - 4a^2) \left(\frac{F_{40} - F_{10}}{\Delta_{40} - \Delta_{10}} \right)$$

Onde:

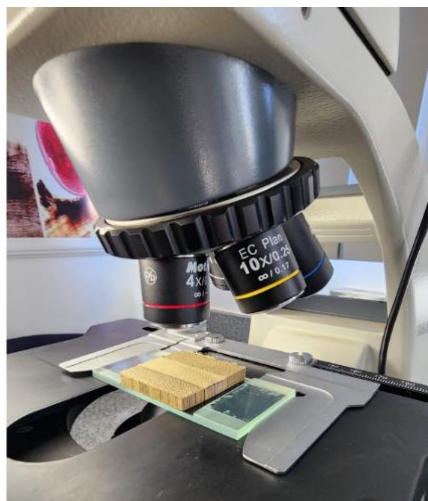
- a - Distância entre uma posição de carregamento e o apoio mais próximo (mm);
- b - Largura da seção transversal (mm);
- h - Profundidade da seção transversal (mm);
- l - Vão em flexão;
- F₄₀, F₁₀ - Cargas aplicadas a 40% e 10% de f_{max} , respectivamente;
- Δ₄₀, Δ₁₀ - Deslocamento correspondente a F₄₀ e F₁₀, respectivamente.

A análise estatística dos dados da resistência e módulo de elasticidade foram verificados por meio do pacote estatístico do software R Studio (R CORE TEAM, 2023) através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e o teste t Student ($p < 0,05$). O teste t Student foi utilizado por se tratar de um teste sensível à variabilidade dos valores médios para o nível de significância adotado segundo Carrasco; Lemes (2019).

3.1.2.5 Microscopia óptica

A microscopia óptica para verificação da linha de cola na interface das lâminas de amostras dos corpos de prova LCR e LCA, foi realizada com um microscópio óptico Motic BA310E, conectado a uma câmera digital com interface computacional do laboratório de nematologia agrícola da UEL (Figura 20). As amostras foram retiradas de uma seção transversal dos corpos de prova LCR e LCA com uma espessura de aproximadamente 5 mm.

Figura 20 - Micrografia da linha de cola das amostras de LCR e LCA



Fonte: Própria autoria.

3.1.2.6 Rendimento de acordo com as metodologias de aplainamento

O rendimento foi estimado em relação à massa inicial das lâminas pela massa final após a usinagem das lâminas. Foram retiradas de um mesmo colmo do bambu 24 lâminas para fabricação das placas de bambu colado, sendo separadas 12 lâminas para a metodologia do grupo LCR e 12 lâminas para a metodologia do

grupo dos LCA. Para realização da colagem, as lâminas foram posicionadas sobre bases de madeira (figura 21).

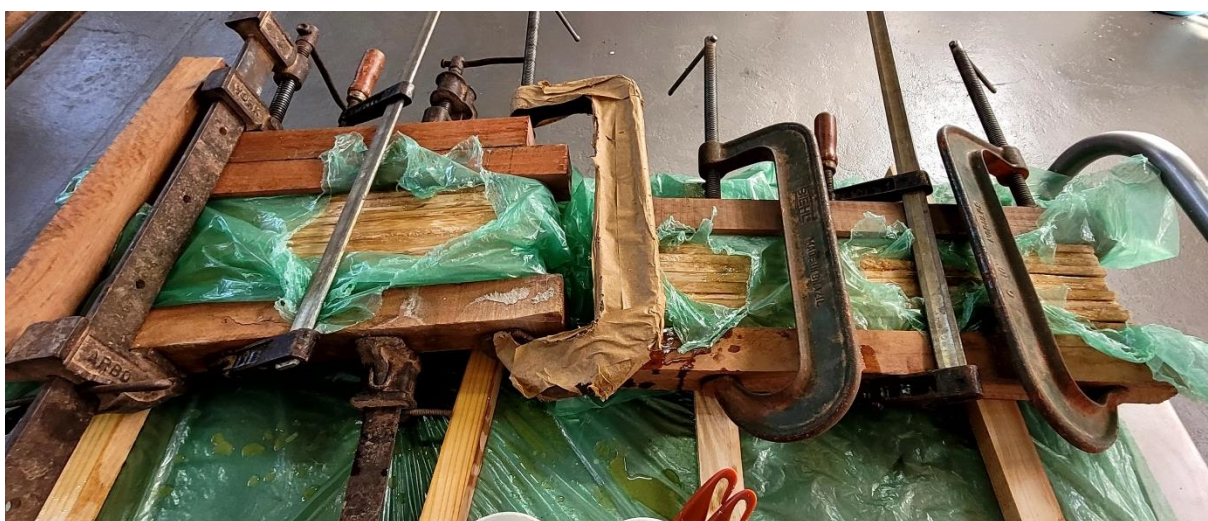
Figura 21 - Verificação do rendimento das metodologias de aplainamento



Fonte: Própria autoria.

A resina AGT 1315 foi aplicada nas duas faces das lâminas com pincel trincha média com cerdas grisalhas, sendo pressionadas com grampos para carpintaria tipo sargento (Figura 22). O tempo de prensagem foi de 24 horas em temperatura ambiente de 23 ± 3 °C e $65\pm 5\%$ de umidade relativa. A remoção dos moldes ocorreu após à cura do adesivo (Figura 23).

Figura 22 - Aplicação da resina e processo de prensagem



Fonte: Própria autoria.

Figura 23 - Remoção dos moldes



Fonte: Própria autoria.

Para a remoção das bordas irregulares e a planificação das faces da placa, foram utilizadas, a serra de disco, a desempenadeira de madeira, seguida da plaina desengrossadeira e finalizada na lixadeira, como mostra a Figura 24. Todo o procedimento realizado cuidadosamente para garantir o mínimo de perda na espessura final do material.

Figura 24 - Usinagem das placas de LCR e LCA



Fonte: Própria autoria.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos métodos descritos no capítulo anterior, tem-se a seguir os resultados dos ensaios realizados em 16 corpos de prova em bambu laminado colado da espécie *Dendrocalamus asper* com adesivo de PU Bicomponente à base de óleo de mamona para composição de painéis CLTB, denominados Laminados Colados Retangulares (LCR) e Laminados Colados em arco recombinação (LCA).

4.1.1 Teor de umidade (TU)

As amostras retiradas dos colmos 45 dias após a colheita tiveram a média das umidades em 34,3%, bem superior ao que as normas estabelecem. As amostras das lâminas com 90 dias tiveram a média das umidades dentro do limite estabelecido nas normas com 12%.

A Tabela 4 apresenta o valor médio e o desvio padrão do teor de umidade realizado nos corpos de prova LCR e LCA, logo após o ensaio de flexão.

Tabela 4 - Teor de umidade dos perfis laminados no momento do teste

Teor de umidade - LCR		Teor de umidade - LCA	
Corpo de prova	TU (%)	Corpo de prova	TU (%)
LCR 1	11,38	LCA 1	11,51
LCR 2	12,05	LCA 2	12,02
LCR 3	12,21	LCA 3	12,22
LCR 4	11,20	LCA 4	11,13
LCR 5	11,56	LCA 5	12,32
LCR 6	12,30	LCA 6	11,47
LCR 7	11,84	LCA 7	12,33
LCR 8	10,88	LCA 8	11,54
Média	11,68	Média	11,82
Desvio Padrão	0,47	Desvio Padrão	0,43
CV (%)	4,06%	CV (%)	3,64%

Fonte: Própria autoria. Legenda: CV- coeficiente de variação, TU- Teor de umidade

Após a etapa de secagem, os perfis laminados colados de bambu apresentaram uma perda de massa de média de $11,68 \pm 0,47$ % para os corpos de prova LCR e $11,82\% \pm 0,43\%$ para os corpos de prova LCA.

Comparando-se os valores médios do teor de umidade é possível afirmar que não houve diferença significativa entre os tipos de laminados.

4.1.2 Densidade seca

Na norma utilizada não há referência sobre o cálculo da densidade básica a partir dos dados das densidades úmida e seca dos corpos de prova. Logo, a Tabela 5 apresenta o valor médio e o desvio padrão da densidade seca dos corpos de prova LCR e LCA para fim de registro do relatório de teste.

Tabela 5 - Densidade seca dos laminados colados de bambu

Densidade seca – LCR		Densidade seca – LCA	
Corpo de prova	g/cm³	Corpo de prova	g/cm³
LCR 1	0,645	LCA 1	0,648
LCR 2	0,657	LCA 2	0,712
LCR 3	0,626	LCA 3	0,607
LCR 4	0,563	LCA 4	0,514
LCR 5	0,605	LCA 5	0,543
LCR 6	0,643	LCA 6	0,495
LCR 7	0,588	LCA 7	0,588
LCR 8	0,659	LCA 8	0,681
Média	0,623	Média	0,598
DP	0,033	DP	0,073
CV (%)	5,23%	CV (%)	12,29%

Fonte: Própria autoria. Legenda: CV- coeficiente de variação, DP- desvio padrão

Pode-se observar que os corpos de prova LCR apresentaram o valor de densidade seca maior com $0,623 \pm 0,033$ g/cm³ dos que os corpos de prova LCA com densidade seca de $0,598 \pm 0,073$ g/cm³.

4.1.3 Dimensões reais dos corpos de prova

Tabela 6 apresenta o valor médio e o desvio padrão das dimensões reais dos corpos de prova LCR e LCA, das dimensões estabelecida dos corpos de prova nos projetos.

Tabela 6 - Dimensões reais dos perfis laminados colados de bambu

Dimensões reais - LCR				Dimensões reais - LCA			
Corpo de prova	h	b	c	Corpo de prova	h	b	c
LCR 1	34,41	34,53	800	LCA 1	34,79	34,55	800
LCR 2	34,18	34,37	800	LCA 2	34,75	34,64	800
LCR 3	34,63	34,53	800	LCA 3	36,39	36,07	800
LCR 4	34,51	34,60	800	LCA 4	36,98	35,98	800
LCR 5	33,61	34,47	800	LCA 5	35,89	35,89	800
LCR 6	34,39	34,21	800	LCA 6	35,33	35,33	800
LCR 7	34,54	34,42	800	LCA 7	35,71	35,71	800
LCR 8	34,28	34,58	800	LCA 8	35,01	35,01	800
Média	34,32	34,46	800	Média	35,61	35,39	800
DP	0,30	0,12	0	DP	0,74	0,57	0
CV (%)	0,87	0,35	0	CV (%)	2,09	1,60	0

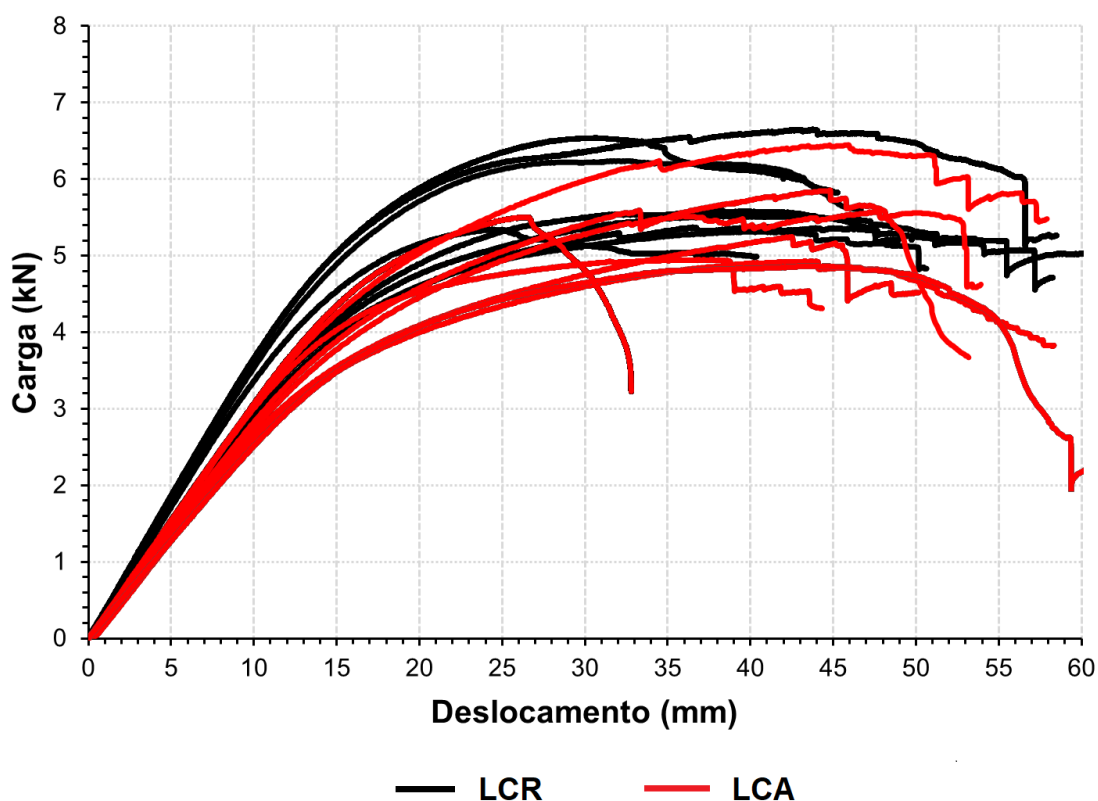
Fonte: Própria autoria. Legenda: CV- coeficiente de variação, DP- desvio padrão

Nota-se que apesar das lâminas terem sido fabricadas com as dimensões estabelecida na norma ANSI/APA PRG 320 (2012), com 35 mm, os valores médios das dimensões reais dos perfis após a usinagem sofreram um desvio de $34,32 \pm 0,30$ mm e $34,46 \pm 0,12$ mm para os corpos de prova LCR e $35,61 \pm 0,74$ mm e $35,39 \pm 0,57$ mm para os corpos de prova LCA.

4.1.4 Resistência máxima e módulos de elasticidade global

Na Figura 25 apresentam as curvas carga versus deslocamento do ensaio de flexão dos corpos de prova LCR e LCA.

Figura 25 - Curvas da flexão de 4 pontos dos corpos de prova LCR e LCA



Fonte: Própria autoria.

As curvas dos corpos de prova LCR e LCA apresentaram comportamento bem similar, sendo que visualmente os LCR parecem ter vantagem sobre os LCA tanto em rigidez quanto em carga última média. É possível notar que os corpos de prova LCR apresentaram uma maior rigidez nos estágios iniciais na região elástica, em relação aos dos corpos de prova LCA. Já na fase de plastificação, no grupo LCR percebem-se intervalos crescentes e alguns picos decrescentes, localizados no final das curvas, enquanto os corpos de prova LCA apresentaram curvas mais suaves com intervalos crescentes e com mais frequência de picos decrescentes antes da ruptura, podendo ser observado melhor no Apêndice C.

Acredita-se que o comportamento diferenciado entre os corpos de prova LCR e LCA se deu em razão da eficiência da superfície de contato do adesivo

com as faces das lâminas de bambu, já que a efetividade da superfície de colagem entre as lâminas dos corpos de prova LCR é maior do que as da superfície das lâminas dos corpos de prova LCA, por apresentarem curvaturas que impedem o encaixe perfeito entre as lâminas.

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios e desvios padrão para a resistência máxima (f_m), do módulo de elasticidade global ($E_{m,g}$) e o tempo em segundos que os corpos de prova atingiram a resistência máxima.

Tabela 7 - Resistência máxima e módulos de elasticidade global

Resistência - LCR				Resistência - LCA			
Corpo de prova	f_m N/mm ²	Tempo (s)	$E_{m,g}$ N/mm ²	Corpo de prova	f_m N/mm ²	Tempo (s)	$E_{m,g}$ N/mm ²
LCR 1	114,48	306,44	19316	LCA 1	85,04	256,99	12841
LCR 2	114,48	262,88	13281	LCA 2	97,78	199,4	12934
LCR 3	92,61	274,90	15176	LCA 3	107,94	198,0	15854
LCR 4	96,57	328,06	15677	LCA 4	96,57	222,8	14198
LCR 5	96,92	269,63	27486*	LCA 5	86,24	371,3	14175
LCR 6	93,47	214,25	17823	LCA 6	91,75	361,5	13969
LCR 7	92,96	358,28	15982	LCA 7	86,25	269,9	16019
LCR 8	109,14	280,68	18756	LCA 8	96,23	222,7	16141
Média	101,33	286,89	16573	Média	93,48	263	14516
DP	9,06	41,09	1993	DP	7,28	64,25	1250
CV (%)	8,94	14,32	12,02	CV (%)	7,78	24,45	8,62

* Valor desprezado na análise estatística.

Fonte: Própria autoria. Legenda: CV- coeficiente de variação, DP- desvio padrão

Como tendência, num primeiro olhar, parece que o grupo LCR se superpõe ao LCA. Entretanto, a análise estatística segundo o Teste t Student para a tensão máxima não mostrou diferença significativa entre os valores médios dos corpos de prova LCR ($101,33 \pm 9,06$ MPa) e LCA ($93,47 \pm 7,28$ MPa). O teste revela que a média dos valores dos corpos de prova LCA não é diferente do valor médio dos corpos de prova LCR, resultando p valor igual a 0,05 com intervalo de confiança de 95%, variando de 93,23 MPa até 109,43 MPa.

De igual modo, os valores médios dos módulos de elasticidade global dos corpos de prova LCR (16573 ± 1993 MPa) e do grupo LCA (14516 ± 1250 MPa) não apresentaram estatisticamente, diferença significativa, ou seja, o teste mostrou que a média dos valores do módulo de elasticidade dos corpos de prova LCA não é diferente do valor médio dos corpos de prova LCR, resultando no p valor igual 0,397

com intervalo de confiança de 95%, variando de 14325 MPa até 21595 MPa.

A média do tempo para determinação da resistência máxima de ambos os laminados atendeu os critérios estabelecidos pela norma ISO 23478 (2022) com taxa de carregamento de 7 mm/min, não apresentando diferença estatística entre os corpos de prova LCR e LCA.

Os resultados médios das tensões e dos módulos de elasticidade global, encontram-se de acordo com os dados das literaturas. Na Tabela 8 encontra-se os valores médio dos módulos de ruptura e dos módulos de elasticidade de produtos de bambu engenheirado de outros autores.

Tabela 8 - Comparação da resistência e módulos de elasticidade entre autores

Referências	Produtos	Matérias-prima	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Deste estudo	Perfis de LCR	D. Asper (PU Bicomponente)	101,33	16573
Deste estudo	Perfis de LCA	D. Asper (PU Bicomponente)	93,48	14516
Sharma <i>et al.</i> , (2015)	Vigas de bambu laminado*	Phyllostachys pubescens (formaldeído)	77 a 83	11000 a 13000
Santos (2019)	Vigas de BLC	D. Giganteus (PU Bicomponente)	142,44	18982
Barreto, <i>et al.</i> (2019)	Painéis de CLTB	Bambu (formaldeído)	65,00	13310
Ma <i>et al.</i> , (2020)	Bambu scrimber	Bambu (formaldeído)	119,00	13000
Li, Z. <i>et al.</i> , (2021)	Vigas de glubam	Bambu Guadua	104,60	8682
Azadeh <i>et al.</i> , (2022)	Ripas laminada	Dendrocalamus Asper	170,10	23110

* Produto comercial.

Fonte: Própria autoria. Legenda: Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de elasticidade (MOE)

4.1.5 Modo de falha e ruptura

Os modos de falha típico de flexão dos corpos de prova LCR e LCA foram por: Compressão e esmagamento das fibras superiores, ruptura das fibras inferiores por tração e falha por delaminação entre as faces das lâminas (Tabela 9).

Tabela 9 - Modo de falha típico de flexão dos corpos de prova LCR e LCA

Modo de falha dos LCR	Modo de falha dos LCA
	
	
	
	

Fonte: Própria autoria.

Os modos de falha e as rupturas das fibras inferiores por tração ocorreram nos corpos de prova LCR, especialmente quando havia a presença de nós na região de flexão. Já nos corpos de prova LCA, foi observado que os modos de falha e as rupturas das fibras inferiores por tração ocorreram mesmo sem presença de nós na região de flexão.

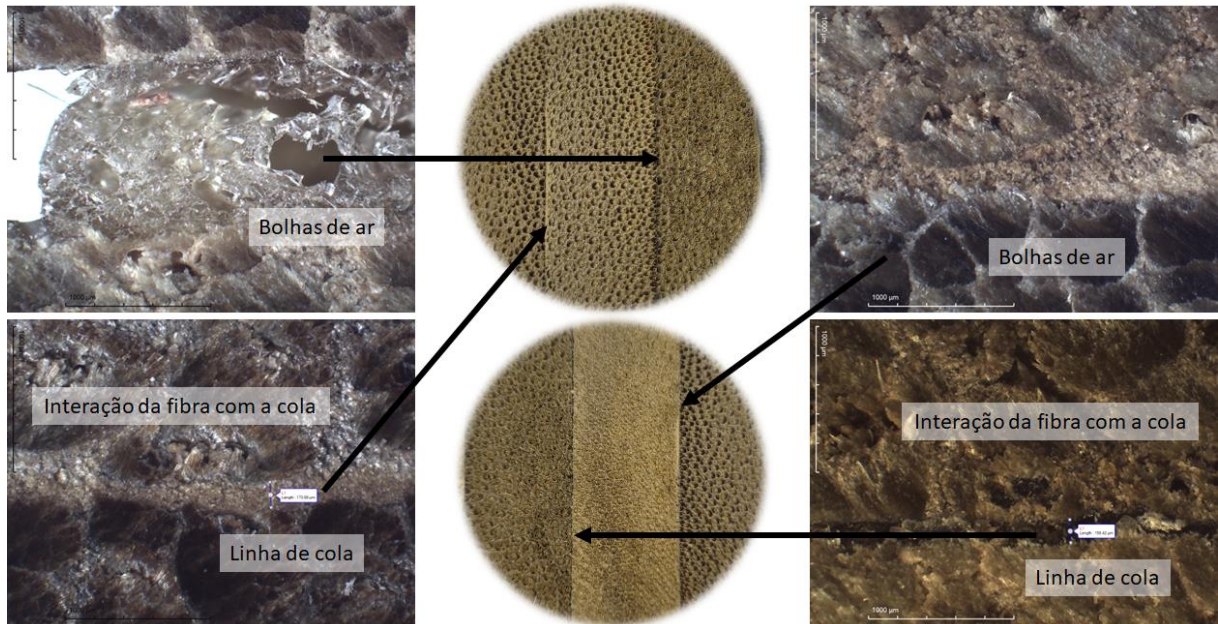
A compressão e esmagamento das fibras superiores, ocorreram especialmente na região do apoio da carga em ambos os grupos e as falhas por delaminação entre as faces das lâminas ocorreram apenas nos corpos de prova dos LCA, podendo ser observado melhor no Apêndice D.

Acredita-se que essas características distintas dos modos de falha típico de flexão dos corpos de prova LCR e LCA se deram tanto pela metodologia de aplainamento, por influenciar na permeação do adesivo entre os feixes fibrovasculares das lâminas de bambu, quanto ao processo de seleção das tiras de bambu. O estudo não adotou uma seleção padrão para produção dos corpos de prova, como por exemplo a utilização apenas de uma parte dos colmos, como a base ou o meio para a produção das lâminas. Como pode ser observado no Apêndice E, muitos dos corpos de prova do grupo dos LCA foram produzidos com lâminas pouco espessas em relação aos do grupo dos LCR.

4.1.6 Microscopia óptica dos corpos de prova

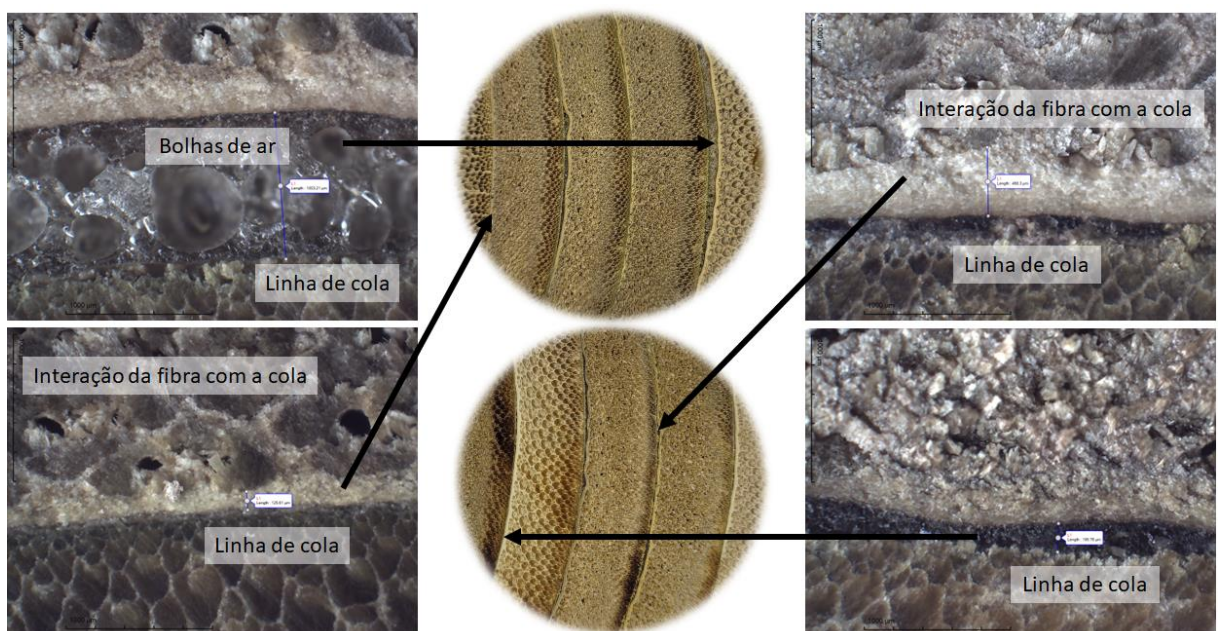
Nas Figuras 26 e 27 são apresentadas a microscopia óptica realizada nos corpos de prova, as imagens ampliadas para a verificação das escalas se encontram no Apêndice F.

Figura 26 - Microscopia óptica dos corpos de prova LCR



Fonte: Própria autoria.

Figura 27 - Microscopia óptica dos corpos de prova LCA



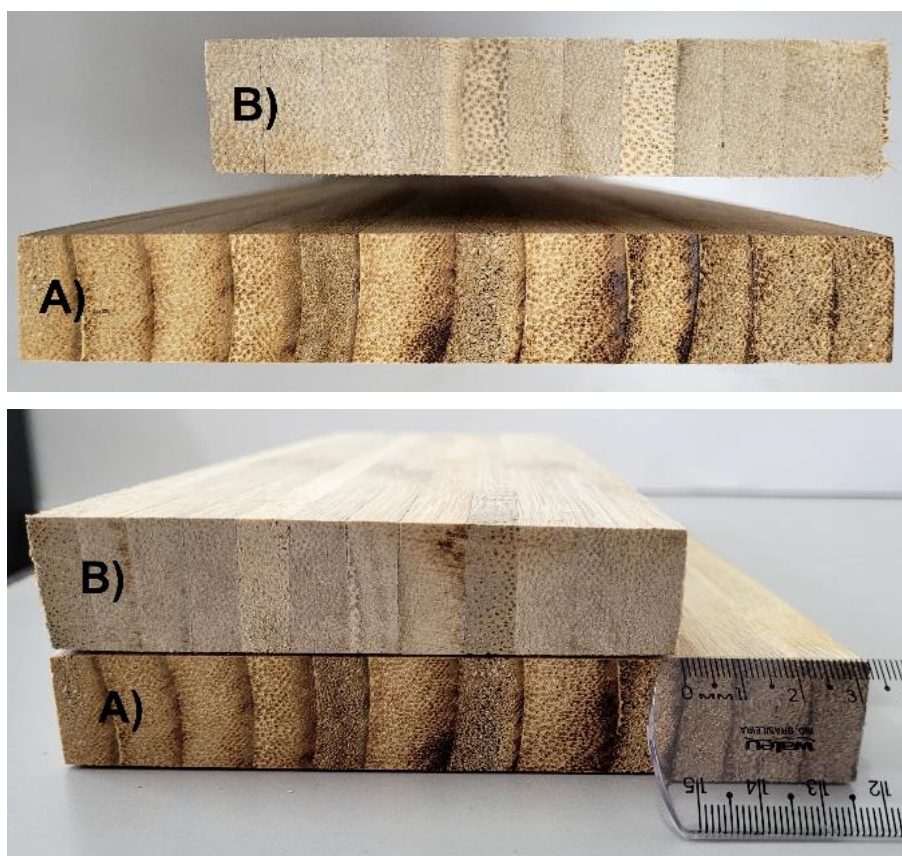
Fonte: Própria autoria.

Através da microscopia óptica, é possível observar que ambos os grupos se percebem a presença de núcleos de ar em tamanhos diferentes devido ao processo da mistura dos componentes A e B do adesivo e que na interação e permeação do adesivo entre os feixes fibrovasculares das lâminas de bambu há falhas na ancoragem das linhas de cola em tamanhos e regiões distintas do laminado. No entanto, seria necessário realizar estudos específicos na superfície dos laminados para a verificação da aderência do adesivo com a superfície da lâmina do bambu.

4.1.7 Verificação das metodologias de aplainamento nas placas

Através da aplicação das duas metodologias de aplainamento para fabricação de uma placa com 12 lâminas de 300 mm de comprimento, foi possível observar que a placa fabricada pelo processo LCA implicou em rendimento 25% superior aos da placa fabricada pelo processo LCR. A placa com a metodologia LCR ficou com aproximadamente 33 mm menor do que a placa com a metodologia LCA (Figura 28).

Figura 28 - Verificação do rendimento das placas de LCR e LCA



Fonte: Própria autoria.

CONCLUSÃO

O estudo buscou realizar a caracterização mecânica em laminados de bambu da espécie *Dendrocalamus asper*, colados com resina PU à base de óleo de mamona, a partir da dimensão mínima exigida na norma ANSI/APA PGR 320 (2012) de 35 mm de espessura para futuros painéis estruturais de três camadas, aplicando duas metodologias de aplainamento identificada na literatura, convencional e em arco recombinação.

Com base nos resultados das análises do teor de umidade, densidade, resistência máxima e módulos de elasticidade global, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- (1) Apesar dos LCR terem apresentado maior rigidez na região elástica, quando comparados aos corpos de prova LCA, os valores médios dos módulos de elasticidade global dos corpos de prova não apresentaram diferença estatisticamente significativa, nem na média do tempo para determinação da resistência máxima.
- (2) Os dois modelos de aplainamento adotados para o processo de fabricação dos corpos de prova LCR e LCA atendem aos critérios estabelecidos na norma ISO 23478 (2022), podendo ser utilizados para compor painéis estruturais de CLTB.

Os valores observados tanto de resistência (101,33 MPa e 93,48 MPa para LCR e LCA respectivamente) como em rigidez (16573 MPa e 14516 MPa LCR e LCA respectivamente) bastante elevados se comparados aos valores da madeira pinus (45 MPa e 8000 MPa para resistência característica e módulo de elasticidade respectivamente), material que se pretende utilizar na confecção de painéis CLT. Além disto os valores são muito homogêneos (Tabela 7) o que permite imaginar que a resposta mecânica de painéis compostos com os perfis aqui estudados seja altamente beneficiada por estes dois fatores.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Foi levantada a hipótese de que as diferentes características encontradas nos corpos de prova LCR e LCA se deu não apenas pela influência das metodologias de aplainamento das faces das lâminas, mas também ao processo de seleção das tiras de bambu. O estudo não adotou uma seleção padrão para a produção de corpos de prova. Portanto, como sugestões para trabalhos futuros:

- a) Avaliar as metodologias de aplainamento utilizando as mesmas seções dos colmos (topo, meio e base) para a fabricação dos laminados de bambu colado, a fim de verificar a diferença entre as densidades encontradas nesse estudo;
- b) Estudar a interação do bambu com a resina PU à base de óleo de mamona, a fim de diminuir as diferenças encontradas no modo de falha e ruptura dos laminados;
- c) Comparar as características mecânicas dos laminados com produtos comercializado de bambu engenheirado;
- d) Analisar os valores numéricos de rigidez experimental e teórico, por meio de simuladores computacionais;
- e) Aumentar o tamanho das lâminas para composição de CLTB, em largura e comprimento;
- f) Compor painéis de CLTB com pinus que é a próxima etapa do trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 16828-1** - Estruturas De Bambu Parte 1: Projeto. NORMA BRASILEIRA, p. 31, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 16828-2** - Estruturas De Bambu Parte 2: Determinação Das Propriedades Físicas E Mecânicas Do Bambu. NORMA BRASILEIRA, p. 17, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, **NBR 7190** - Projeto De Estruturas De Madeira. NORMA BRASILEIRA, p. 107, 1997.

APA - The Engineered Wood Association Standard For Performance: Rated Cross-Laminated Timber, **ANSI/APA PRG 320**, 2012.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 1 nov. 2017. DOI 10.1016/j.joi.2017.08.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751157717300500>. Acesso em: 29 ago. 2021.

AZADEH, Arash; DE SÁ, Adriana Dominique; KADIVAR, Marzieh; GAUSS, Christian; JUNIOR, Holmer Savastano. The effect of densification on physical and mechanical properties of bamboo *Dendrocalamus asper*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 80, n. 4, p. 877–888, 13 ago. 2022. DOI 10.1007/s00107-022-01823-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01823-5>.

BARRETO, Maria I M; DE ARAUJO, Victor; CORTEZ-BARBOSA, Juliana; CHRISTOFORO, André L; MOURA, Jorge D M. Structural performance analysis of cross-laminated timber-bamboo (CLTB). **BioResources**, CAMPUS BOX 8005, RALEIGH, NC 27695-8005 USA, v. 14, n. 3, p. 5045–5058, 2 maio 2019. DOI 10.15376/biores.14.3.5045-5058. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/structural-performance-analysis-of-cross-laminated-timber-bamboo-cltb/>.

BARRETO, Maria Izabel de Mello. **Análise do desempenho estrutural do CLT – Cross Laminated Timber, composto de madeira e bambu**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Londrina, p. 127, 2018.

BENAVIDE, Andrea Salomé Jaramillo. **Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no sul do Brasil**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina. p. 137, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204499>.

BLANCO, Eudi; FAJARDO, Jorge; CARRASQUERO, Edwain; URBINA, Caribay; BALBINO LEÓN, José. Estudio de las propiedades atensión de unmaterial biocompuesto reforzado con haces de fibras cortas de bambú. **Revista UIS Ingenierías**, v. 19, n. 3, p. 163–175, 27 abr. 2020. DOI 10.18273/revuin.v19n3-2020016. Disponível em: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/10121/10685>.

CARBONARI, Gilberto; SILVA JUNIOR, Nelson; PEDROSA, Nicolas Henrique; ABE, Camila Hiromi; SCHOLTZ, Marcos Ferreira; ACOSTA, Caio Cesar Veloso; CARBONARI, Luana Toralles. **BAMBU – O AÇO VEGETAL. MIX Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 17, 12 mar. 2017. DOI 10.29183/2447-3073.MIX2017.v3.n1.17-25. Disponível em: <http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1876>.

CARRASCO, Cleber Giuglioli; LEMES, Thiago Santana. Um estudo sobre o tamanho e o poder do teste t-Student para a média via simulação de monte carlo. **Revista Mirante**, v. 12, n. Dezembro 2019, p. 85–94, 2019.

CONCEIÇÃO, Mário Marcos Moreira Da; COSTA, Ricardo Sousa; TAVARES, Luan Silva; GOMES, Lucas Edward Nascimento; SOUZA, Annanda Gabriely Moura de; SILVA, John Enzo Vera Cruz da; SILVA, Leticia Picanço da; SÁ, Raissa Jennifer da Silva de; SOUSA, Jameles Silva de; JÚNIOR, Antônio Pereira. Diagnóstico das unidades de conservação nos estados do Amazonas e Pará / Diagnosis of conservation units in Amazon states and Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 28951–28963, 5 dez. 2019. DOI 10.34117/bjdv5n12-065. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5183>. Acesso em: 26 jan. 2022.

DE ARAUJO, Victor; VASCONCELOS, Juliano; CORTEZ-BARBOSA, Juliana; MORALES, Elen; CHRISTOFORO, Andre; GAVA, Maristela; LAHR, Francisco; GARCIA, Jose. Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: A Brazilian panorama. **ENERGY AND BUILDINGS**, PO BOX 564, 1001 LAUSANNE, SWITZERLAND, v. 216, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109960>.

DEFO, Maurice; LACASSE, Michael A. Effects of Climate Change on the Moisture Performance of Tallwood Building Envelope. **BUILDINGS**, ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND, v. 11, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.3390/buildings11020035>.

DRUMOND, PATRÍCIA MARIA; WIEDMAN, Guilherme. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1ª edição. Rio de Janeiro: p. 655, 2017. v. 1.

FANG, Chang-Hua; JIANG, Ze-Hui; SUN, Zheng-Jun; LIU, Huan-Rong; ZHANG, Xiu-Biao; ZHANG, Rong; FEI, Ben-Hua. An overview on bamboo culm flattening. **Construction and Building Materials**, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford Ox5 1gb, Oxon, England, v. 171, p. 65–74, maio 2018. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.085. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061818305750>.

GAUSS, Christian; ARAUJO, Victor De; GAVA, Maristela; CORTEZ-BARBOSA, Juliana; SAVASTANO JUNIOR, Holmer. Bamboo particleboards: recent developments. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 6 fev. 2019. DOI 10.1590/1983-40632019v4955081. Disponível em: www.agro.ufg.br/pat. Acesso em: 7 abr. 2021.

GAUSS, Christian; KADIVAR, Marzieh; SAVASTANO, Holmer. Effect of disodium octaborate tetrahydrate on the mechanical properties of *Dendrocalamus asper*

bamboo treated by vacuum/pressure method. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 65, n. 1, p. 27, 22 dez. 2019. DOI 10.1186/s10086-019-1804-6. Disponível em: <https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1186/s10086-019-1804-6>.

HEIMBECKER, Pinheiro Cantanhede. Construir , desmanchar : a implantação de conjuntos habitacionais em Manaus e a dissolução da cidade flutuante em 1967. **Revista Libertas, Juiz de Fora**, v.15, p. 273–294, 2015.

HU, Yu'an; HE, Mei; SEMPLÉ, Kate; CHEN, Meiling; PINEDA, Hugo; ZHOU, Chenli; DAI, Chunping. Characterizing Mat Formation of Bamboo Fiber Composites: Horizontal Density Distribution. **Materials**, v. 14, n. 5, p. 1–14, 2021. DOI 10.3390/ma14051198. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14051198>.

HUANG, Zujian; SUN, Yimin; MUSSO, Florian. Assessment on bamboo scrimber as a substitute for timber in building envelope in tropical and humid subtropical climate zones - part 2 performance in building envelope. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 264, n. 1, p. 01–09, nov. 2017. DOI 10.1088/1757-899X/264/1/012007. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/264/1/012007>.

Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) - **Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores**, 2021. Disponível em: <iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>.

INBAR. International Bamboo and Rattan Organization (INBAR) - Reabilitando a Terra com Bambu: Atualização de Bambu e Rattan. **INBAR Magazine**, v. 4, n. 2, 2023.

International Organization for Standardization - **ISO 23478-2022 (E) - Bamboo Structures - Engineered bamboo products: Test methods for determination of physical and mechanical properties**. p. 31, 2022.

KADIVAR, Marzieh; GAUSS, Christian; GHAVAMI, Khosrow; SAVASTANO, Holmer. Densification of bamboo: State of the art. **Materials**, v. 13, n. 19, p. 1–25, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ma13194346>.

LI, Chao; WANG, Xilong; ZHANG, Yizmo. Structural design and mechanical properties analysis of bamboo-wood cross-laminated timber. **BioResources**, v. 15, n. 3, p. 5417–5432, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.15.3.5417-5432>.

LI, Hao; WANG, Brad Jianhe; WANG, Libin; WEI, Peixing; WEI, Yang; WANG, Pengzhan. Characterizing engineering performance of bamboo-wood composite cross-laminated timber made from bamboo mat-curtain panel and hem-fir lumber. **Composite Structures**, v. 266, n. June 2020, p. 113785, jun. 2021. DOI 10.1016/j.compstruct.2021.113785. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113785>.

LI, Z; HE, X Z; CAI, Z M; WANG, R; XIAO, Y. Mechanical Properties of Engineered Bamboo Boards for Glulam Structures. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 5, 2021a. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003657](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003657).

LI, Z; HE, X Z; CAI, Z M; WANG, R; XIAO, Y. Mechanical Properties of Engineered

Bamboo Boards for Glulam Structures. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 5, p. 04021058, maio 2021b. DOI 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003657. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003657](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003657).

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; OSTAPIV, Fabiano. **Bambu [recurso eletrônico]: caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil**. Florianópolis, ed. 1, p. 204, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>.

LIESE, W. RESEARCH ON BAMBOO. **WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY**, 175 FIFTH AVE, NEW YORK, NY 10010, v. 21, n. 3, p. 189–209, 1987.

LIU, Chang; CHEN, Guo; LI, Lingyu; QIN, Yu; WANG, Jiayi; XU, Minghan. Experimental Investigation on OSB Webbed Laminated Bamboo Lumber Box Shaped Joists. **MATEC Web of Conferences**, Nanjing, China, v. 275, p. 01003, 13 mar. 2019. DOI 10.1051/mateconf/201927501003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201927501003>.

LOU, Z; YUAN, T; WANG, Q; WU, X; HU, S; HAO, X; LIU, X; LI, Y. Fabrication of crack-free flattened bamboo and its macro-/micro-morphological and mechanical properties. **Journal of Renewable Materials**, v. 9, n. 5, p. 959–977, 2021. DOI 10.32604/jrm.2021.014285. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85102579940&doi=10.32604%2Fjrm.2021.014285&partnerID=40&md5=93b9a481fbf630f3c56bd7e554ea30f5>.

MA, Xinxin; LI, Hui; ZEHUI, Jiang; FEI, Benhua. Flexural fatigue behavior of bamboo-based products. **Holzforschung**, v. 74, n. 11, p. 1053–1060, 26 nov. 2020. DOI 10.1515/hf-2019-0208. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1515/hf-2019-0208>.

MÖLLEKEN, Richard Eduard. **Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 69, 2017. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2978>.

MOTA, GINA SILVA DE OLIVEIRA. **Avaliação do conforto acústico, lumínico e térmico de uma habitação unifamiliar mista de alvenaria e bambu na BR 364 Rio Branco no Acre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, p. 127, 2019.

NELSON, P. Marinho; NASCIMENTO, Eduardo M; NISGOSKI, Silvana; MAGALHÃES, Washington L E; C. NETO, Salvador; AZEVEDO, Elaine C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros**, v. 23, n. 2, p. 201–205, 2013. DOI 10.1590/S0104-14282013005000007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282013005000007&lng=pt&nrm=iso&tling=en.

NOGUEIRA, Rodrigo De Souza. **Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, p.

152, 2017.

PEREIRA, Elaine de Fátima Dutra. **Exploração madeireira e a expansão do bambu (*guadua spp.*) em florestas no leste do Acre**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Acre, p. 87, 7 nov. 2019.

PEREIRA, Marcos Cesar de Moraes. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Laminada Colada Cruzada**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Universidade de São Paulo, p. 107, 2014.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, **Vienna**. 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org>.

RABELO, Lívia Karine Lima; MAESTRI, Mayra Piloni; AQUINO, Marina Gabriela Cardoso de; BAUMANN, Sarah Stephanie Rebelo Traian. CENÁRIO DAS ÁRVORES PLANTADAS NO BRASIL. **Biodiversidade**, v. 19, n. 3, p. 170–179, 2020.

RADAIK, Carlos Eduardo. **Cadeia produtiva do bambu como material construtivo e sua aplicação: estudo de caso no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, p. 186, 2018.

RUSCH, Fernando; CEOLIN, Guilherme Bordignon; HILLIG, Éverton. Morphology, density and dimensions of bamboo fibers: a bibliographical compilation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, ESCOLA MUSICA ARTES CIENCIAS, PROG POT-GRAD MUSICA, CAIXA POSTAL 131, CAMPUS II-SAMAMBAIA, GOIANIA GO, CEP74001-970, BRAZIL, v. 49, 2019. DOI 10.1590/1983-40632019v4955007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632019000100612&tlng=en.

SALAMON, Celso; OSTAPIV, Fabiano. Planificação de colmos de bambu para produção de painéis. **MIX Sustentável**, v. 3, n. 5, p. 73–83, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabiano-Ostapiv/publication/331653780_Flattening_bamboo_culms_for_panels_production/links/5c86df07299bf1e02e2858b5/Flattening-bamboo-culms-for-panels-production.pdf.

SALGADO, Rafael A; GUNER, Serhan. Characterization of the out-of-plane behavior of CLT panel connections. **ENGINEERING STRUCTURES**, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford Ox5 1gb, Oxon, England, v. 229, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111596>.

SANTOS, Thiago Oliveira dos. **Produção de bambu laminado colado: propriedades e aplicações**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, v. 11, n. 1, p. 122, 7 nov. 2019.

SEMPLE, K E; ZHANG, P K; SMITH, G D. Hybrid oriented strand boards made from Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) and Aspen (*Populus tremuloides* Michx.): species-separated three-layer boards. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, n. 4, p. 527–536, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-015-0914-0>.

SHARMA, Bhavna; GATÓO, Ana; BOCK, Maximilian; RAMAGE, Michael. Engineered

bamboo for structural applications. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 66–73, abr. 2015. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84923331661&doi=10.1016%2Fj.conbuildmat.2015.01.077&partnerID=40&md5=7b595281f1a4a21fbc3a022e5aa741b7>.

SIVIERO, Amauri; SANTOS, Rosana Cavalcante dos; MATTAR, Eduardo Pacca Luna. **Conservação e tecnologias para o desenvolvimento agrícola e florestal do Acre**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Capítulo em livro científico (ALICE), v. 1^a. Edição, 2019.

SUN, Xiaofeng; HE, Minjuan; LI, Zheng. Novel engineered wood and bamboo composites for structural applications: State-of-art of manufacturing technology and mechanical performance evaluation. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 118751, jul. 2020. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.118751. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006182030756X>.

SUN, Yuhui; ZHANG, Yahui; HUANG, Yuxiang; WEI, Xiaoxin; YU, Wenji. Influence of Board Density on the Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Lumber. **Forests**, v. 11, n. 567, p. 12, 2020. DOI 10.3390/f11050567. Disponível em: www.mdpi.com/journal/forests.

TATIBANA, Ronaldo Massaharu; REIS, Marcel Pereira dos; BIANCHI, Gislaine. BAMBU COMO MATÉRIA-PRIMA PARA CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 4, n. 10, p. 95–103, 27 dez. 2016. DOI 10.17271/2317860441020161394. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/2317860441020161394>.

WANG, G; CHEN, F. Development of bamboo fiber-based composites. **Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction**. Woodhead Publishing: Elsevier, 2017. p. 235–255. DOI 10.1016/B978-0-08-100411-1.00010-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081004111000108>.

WU, Jianfei; YUAN, Hongmei; WANG, Wei; WU, QiRong; GUAN, Xin; LIN, Jinguo; LI, Jiqing. Development of laminated bamboo lumber with high bond strength for structural uses by O₂ plasma. **Construction and Building Materials**, v. 269, p. 121269, fev. 2021. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.121269. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121269>.

YUAN, Tiancheng; WANG, XinZhou; LOU, ZhiChao; ZHANG, Tao; HAN, Xin; WANG, Zhaoshun; HAO, Xiaomeng; LI, Yanjun. Comparison of the fabrication process and macro and micro properties of two types of crack-free, flatten bamboo board. **Construction and Building Materials**, v. 317, p. 125949, 24 jan. 2022. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.125949. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061821036825>. Acesso em: 27 jan. 2022.

ZHANG, Xiaochun; ZHOU, Zhezhe; ZHU, Yuding; DAI, Jinfeng; YU, Youming; SONG, Pingan. High-pressure steam: A facile strategy for the scalable fabrication of flattened bamboo biomass. **Industrial Crops and Products**, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, v. 129, p. 97–104, mar. 2019. DOI

10.1016/j.indcrop.2018.11.061.

Disponível

em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669018310367>.

ZHOU, Haiying; SUN, Fengbo; LI, Haidong; ZHANG, Wenfu; CHENG, Haitao; CHEN, Linbi; YU, Zhiming; CHEN, Fuming; WANG, Ge. Development and application of modular bamboo-composite wall construction. **BioResources**, v. 14, n. 3, p. 7169–7181, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.14.3.7169-7181>.

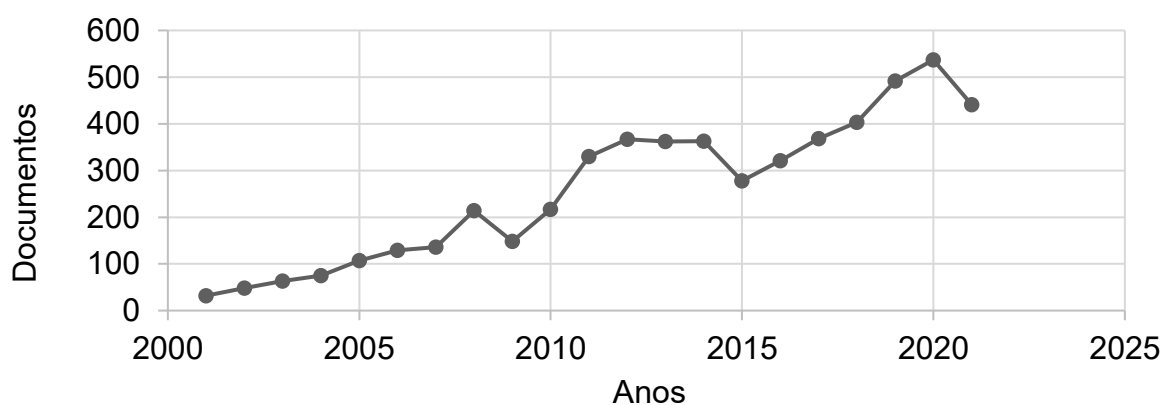
ZHOU, Jianbo; CHEN, Lisheng; FU, Wansi; CHEN, Zhongjia; ZHAO, Zhangrong; CHENG, Wanli; ZHANG, Zhankuan. Preparation and performance evaluation of bamboo lumber prepared by assembly and Glue-Curing of naturally Arc-Shaped segments with finger joints. **BioResources**, v. 11, n. 1, p. 267–280, 2016. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.267-280>.

APÊNDICE A - BUSCA SISTEMÁTICA

Com o aumento do número de publicações acadêmicas no campo experimental acerca do bambu engenheirado nos últimos 20 anos, a pesquisa se adotou a revisão sistemática da literatura.

Para a realização da busca, foram incluídos documentos que incluíam o termo *bamboo* no título, no resumo ou nas palavras-chave, dentro do período estabelecido de 2000 e 2022, sendo restringidas as publicações da área da engenharia, conforme o registro da consulta: *(TITLE-ABS-KEY (bamboo) AND PUBYEAR > 2000 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI")))*.

Produção científica anual sobre utilização de bambu na engenharia nos últimos 20 anos no mundo



Fonte: Adaptado da base Scopus pela autora

A revisão sistemática da literatura desempenha um papel importante na sintetização de descobertas feitas no passado, a serem aplicadas como base de conhecimento nas pesquisas recentes.

Segundo Aria e Cuccurullo (2017), o uso da bibliometria é adequado arcopara o mapeamento científico e vários *softwares* suportam esse tipo de análise, tais como: *CitNetExplorer*, *VOSviewer*, *SciMAT*, *BibExcel*, *Science of Science*, *Tool*, *CiteSpace* e *VantagePoint*. A cienciometria, que se caracteriza como o estudo da mensuração e quantificação do progresso científico sobre um determinado tema, baseia-se em indicadores bibliométricos que fornecem dados importantes para o mapeamento científico da literatura, com o potencial de introduzir um processo de revisão sistemática transparente e reproduzível, com base na medição estatística (PARRA; COUTINHO; PESSANO, 2019).

Na elaboração desse estudo, se buscou realizar um mapeamento científico das publicações em esfera mundial sobre o uso do bambu na fabricação de novos compósitos para construção civil nos últimos 10 anos. Com base nessa investigação pôde-se verificar que apesar do número crescente de pesquisas sobre o material, poucas são realizadas no Brasil, reafirmando a necessidade de ampliar esse conhecimento no território brasileiro.

Materiais e métodos

Os autores Aria e Cuccurullo (2017) propõem um fluxo padrão de trabalho que permite a sistematização do processo da revisão sistemática tornando-a transparente e reprodutível, dividido nas seguintes etapas:

- 1) Desenho do estudo: com a definição da questão da pesquisa e os métodos bibliométricos apropriados para o levantamento;
- 2) Coleta de dados: com a seleção do conjunto de documentos principais nas bases de dados;
- 3) Análise de dados: com a utilização de uma ou mais ferramentas bibliométricas ou *software* estatístico;
- 4) Visualização de dados: com a escolha dos métodos de visualização apropriados para serem utilizados como resultados da pesquisa;
- 5) Interpretação: com a realização da interpretação e descrição dos resultados.

Para o levantamento dos dados referentes a utilização do bambu na fabricação de novos compósitos, foi proposto um protocolo de desenvolvimento da pesquisa, sendo estabelecido o objetivo, os critérios de análise e a seleção dos artigos. Optou-se por selecionar as seguintes bases de dados: *Scopus* (<https://www.scopus.com>) e *Web of Science* (<http://www.webofknowledge.com>) por se tratar de bases de dados internacionais e interdisciplinares. Seguido da realização da *string* de busca com os principais termos e conceitos sobre o tema e a definição dos processos de inclusão, exclusão e de qualificação.

Procedimentos metodológicos da revisão sistemática de literatura sobre a utilização do bambu no mundo nos últimos 10 anos na engenharia

Base de dados	Bases de dados internacionais e interdisciplinares, <i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i> .
Processo dos critérios de inclusão	Período de publicação: últimos 10 anos (entre 2011 e 2021). Periódicos revisados por pares e indexados, dentro da temática abordada.
Processo dos critérios de exclusão	Artigos que não se enquadram na temática abordada, duplicados ou de conferências.
Processo dos critérios de qualificação	Análise dos títulos, resumo e palavras-chave dentro da temática de tecnologia de recombinação de bambu

Fonte: Própria autoria.

No primeiro campo foi definida a palavra “*bamboo*” como componente principal da pesquisa. No segundo campo buscou limitar a pesquisa com o foco na área da engenharia ou materiais. No terceiro campo refinou os tipos de aplicações tecnológicas abordadas dentro da temática estabelecida. Entre cada campo foi utilizados o operador booleano “*AND*” e entre as palavras de cada campo o operador booleano “*OR*”.

Query de busca da revisão sistemática de literatura sobre a utilização do bambu no mundo nos últimos 10 anos na engenharia

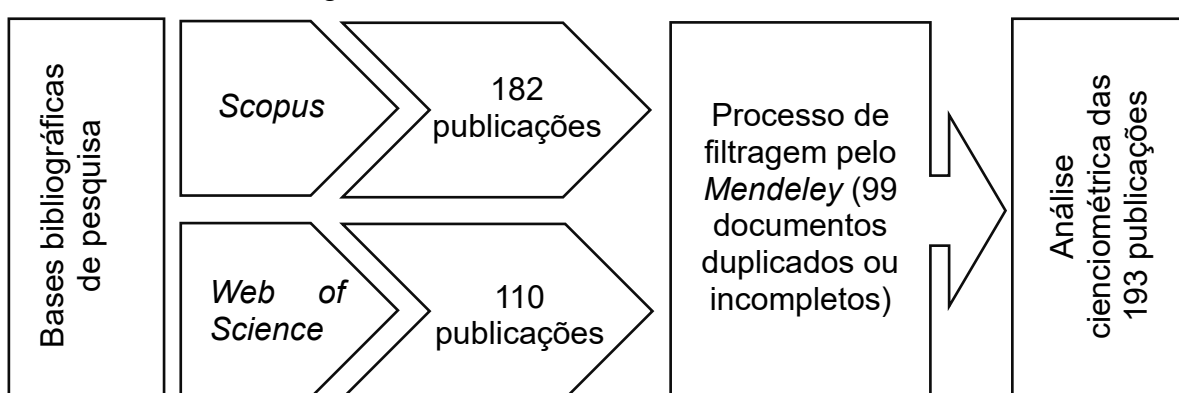
	1º Campo	2º Campo	3º Campo
Termos utilizados na pesquisa (título, resumo ou palavras-chave)	bamboo	"engineering"	"bamboo engineered"
		"materials"	"bamboo processed"
			"recombined bamboo"
			"bamboo recombination technology"

Fonte: Própria autoria.

Após a realização do levantamento, a base de dados *Scopus* apresentou 182 documentos e a base de dados *Web of Science* 110 documentos, esses valores encontrados se deu por incluir na pesquisa os dados das citações feitas pelos autores. Esses documentos foram salvos em formato BibTex e inseridos no

gerenciador de referências bibliográficas Mendeley para a realização do processo de filtragem. Na realização do processo de filtragem 99 documentos foram excluídos, entre eles documentos duplicados, incompletos ou artigos de conferência, pois não possuíam o localizador indexado. Os 193 documentos que permaneceram após o processo de filtragem, foram salvos em formato BibTex e exportados para o *software* Bibliometrix para a realização do mapeamento científico e das análises bibliométricas, como é possível observar no delineamento geral da pesquisa.

Delineamento do levantamento bibliográfico sobre utilização do bambu no mundo nos últimos 10 anos na engenharia



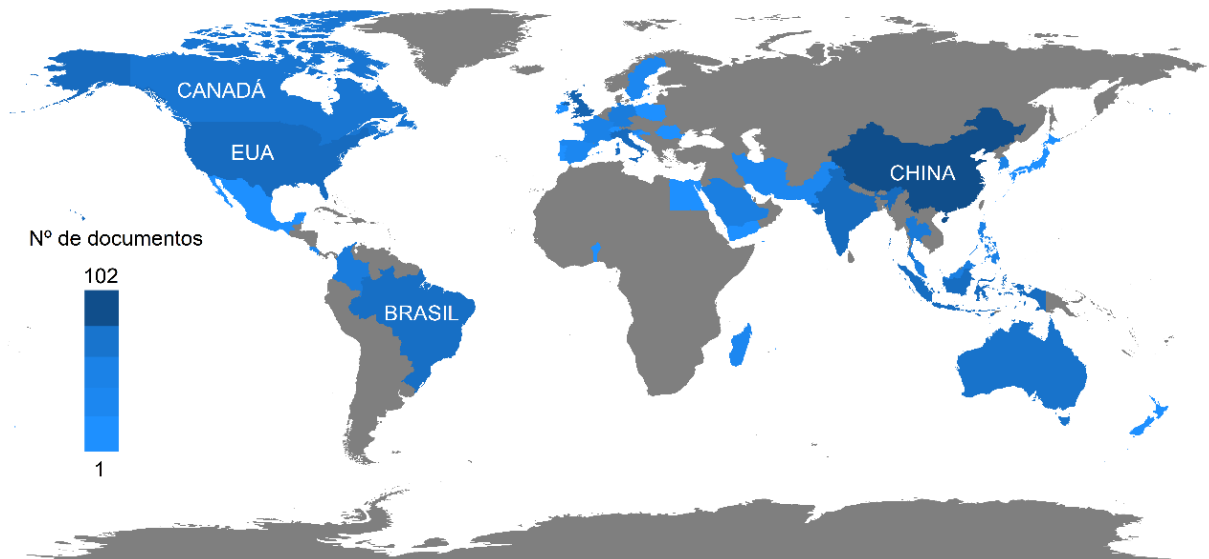
Fonte: Própria autoria.

Resultados da análise bibliográfica

A análise realizada no *software* Bibliometrix mostrou a distribuição geral da produção científica no mundo acerca do bambu engenheirado nos últimos 10 anos, na qual é possível identificar os países que desenvolveram ou participaram da rede de colaboração.

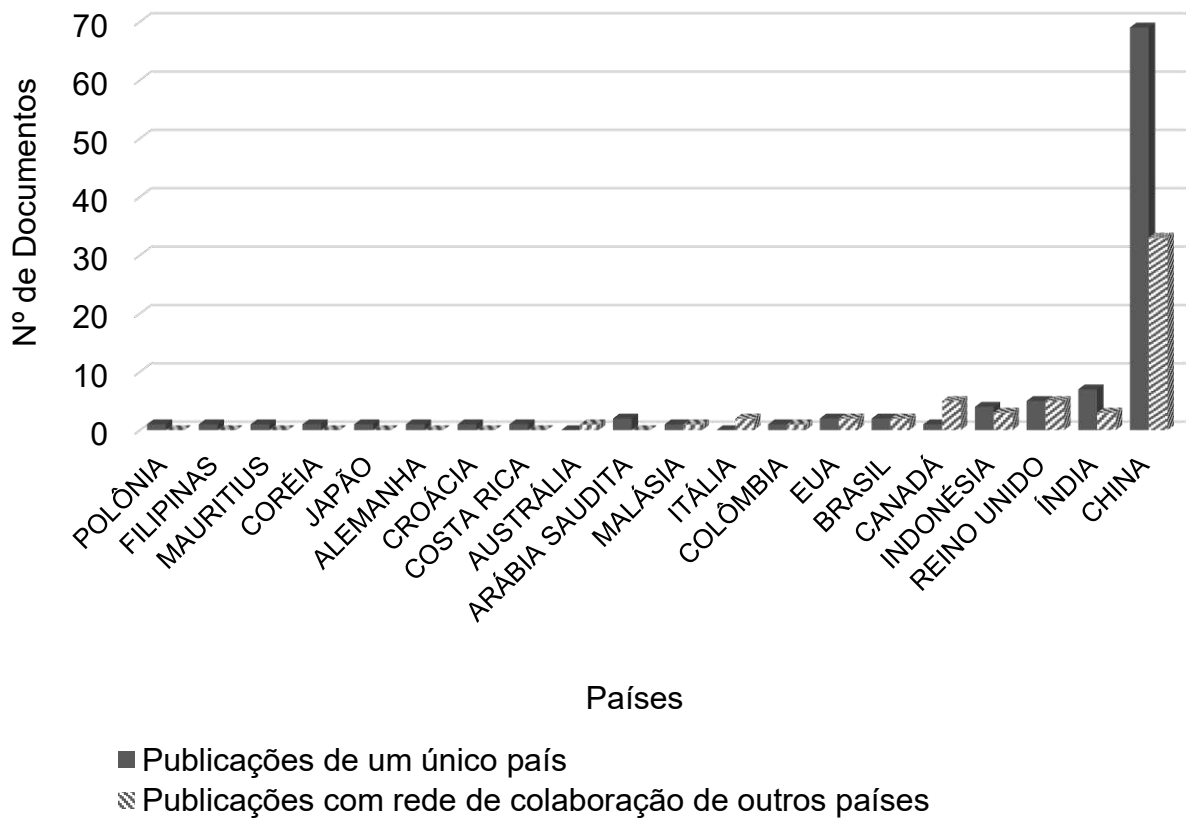
O resultado apontou a China como o país com o maior número de publicações científicas sobre o material, dos 193 documentos levantados na pesquisa, 102 foram elaborados por grupo de pesquisadores chineses. A Índia e o Reino Unido produziram 10 documentos cada país. A Indonésia e o Canadá, cada país elaborou 7 documentos. E o Brasil e Estados Unidos cada país elaborou 4 documentos.

Distribuição geral da produção científica de bambu no mundo nos últimos 10 anos na engenharia



Fonte: Análise retirada do *software* Bibliometrix

Produção científica de bambu na engenharia e rede de colaboração entre os principais países nos últimos 10 anos



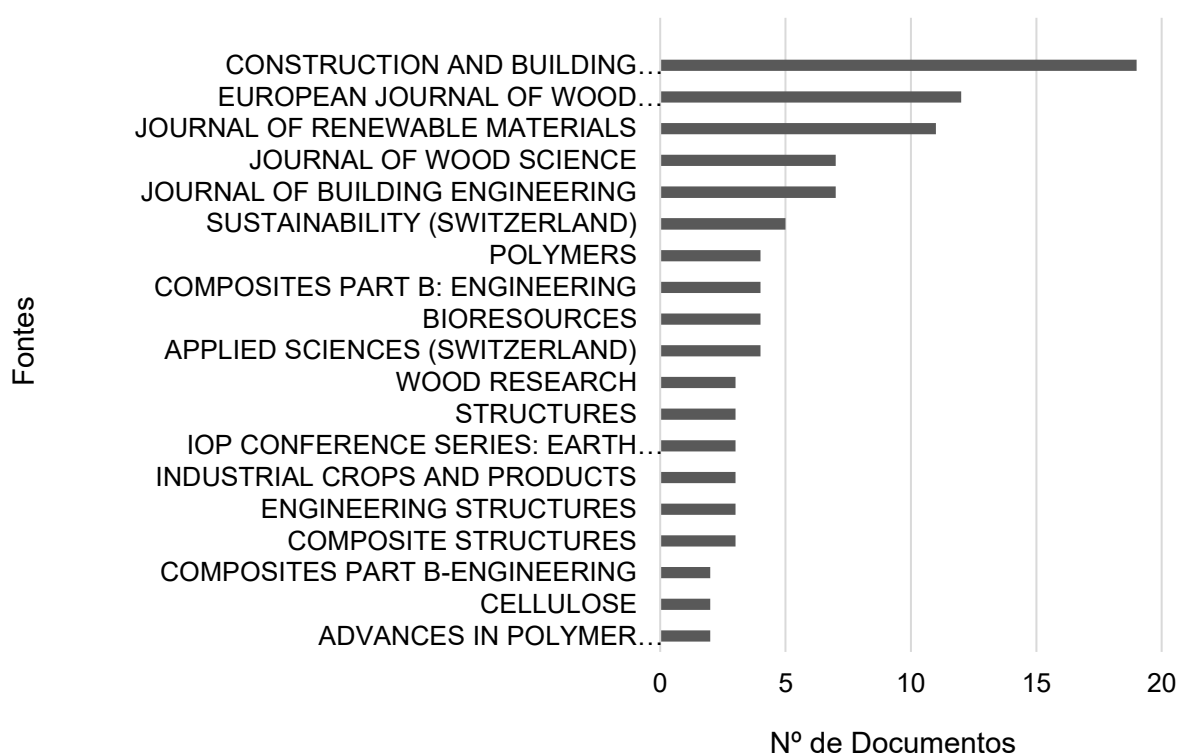
Fonte: Adaptado pela autora do *software* Bibliometrix

A análise proporcionou a visualização das principais revistas em que os documentos foram publicados. É possível destacar que pelo menos 19 documentos que estão relacionados com o tema do bambu engenheirado na construção civil nesses 10 anos, foram publicados em revista de grande impacto na engenharia como a *Construction and Building Materials*, ampliando o conhecimento sobre o material em nível mundial.

Outra informação relevante mapeada na análise, foi a dos autores que apresentaram mais publicações acerca do tema nos últimos 10 anos. De acordo com a análise, os pesquisadores Yanjun Li e Hui Li receberam o maior destaque dentro da temática de bambu engenheirado, participando de pesquisas recentes.

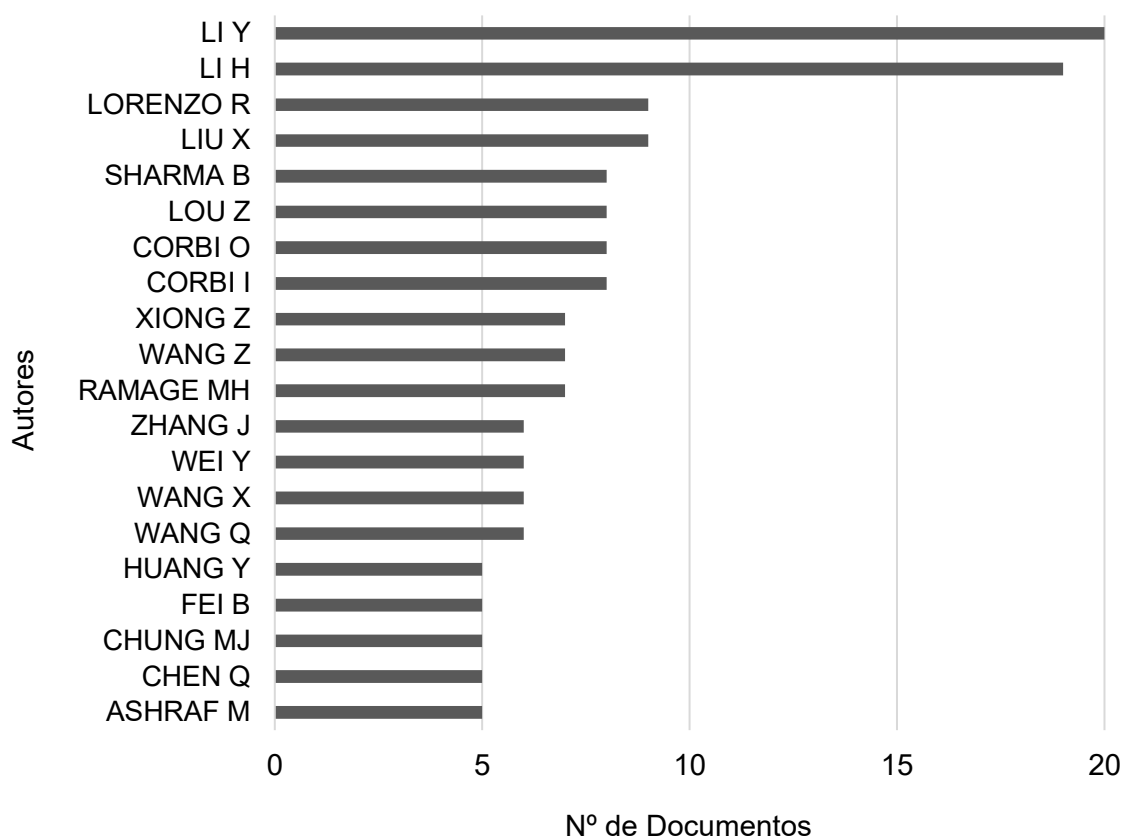
O conhecimento dos autores que abordam a temática, permite realizar o acompanhamento de novos documentos científicos junto às bases de dados, assim como auxiliam no desenvolvimento de novas pesquisas com base nas lacunas encontradas nos trabalhos realizados.

Principais revistas que publicaram sobre bambu engenheirado nos últimos 10 anos



Fonte: Adaptado pela autora do *software* Bibliometrix

Autores que mais apresentaram publicações sobre bambu engenheirado nos últimos 10 anos no mundo



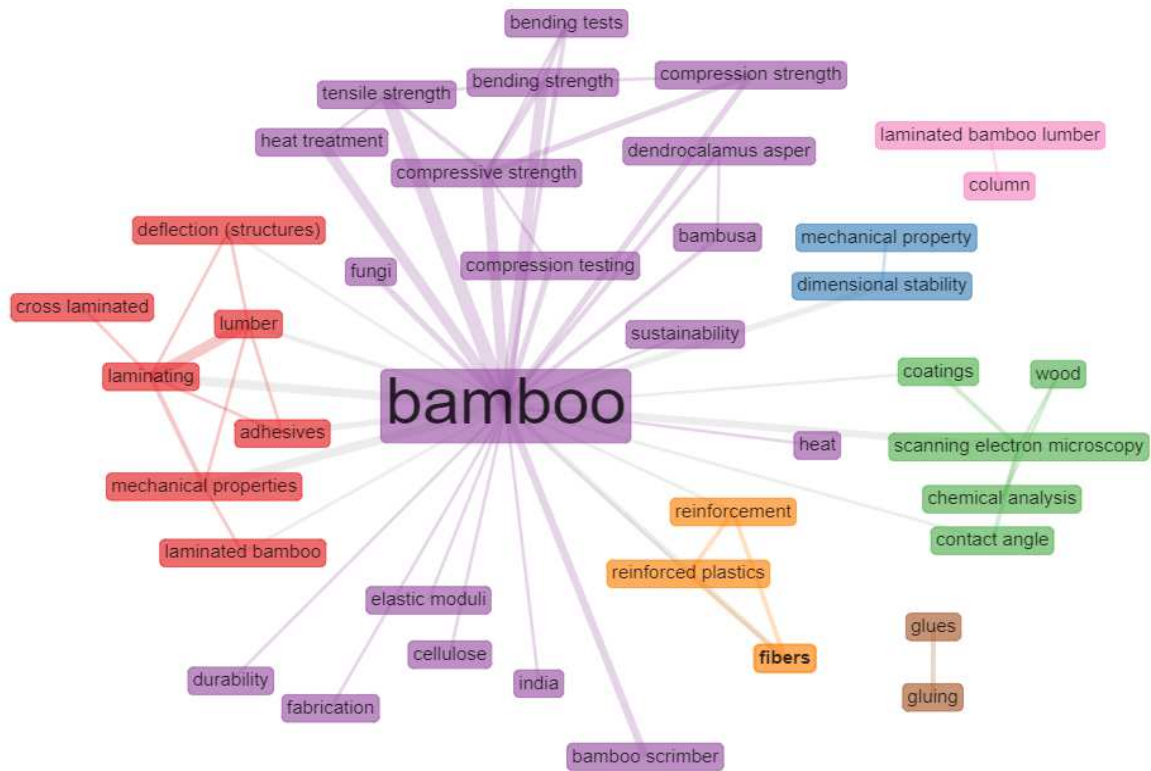
Fonte: Adaptado pela autora do *software* Bibliometrix

O *software* Bibliometrix, forneceu a visualização da rede de ocorrência entre as palavras-chave mais usadas pelos autores. Através dessa análise, pode-se verificar a ocorrência de diversas palavras no campo da engenharia que envolvem os métodos de pesquisas utilizadas e as tecnologias para a fabricação do compósito a base do bambu engenheirado.

Das 10 palavras mais frequentes apresentadas no mapeamento científico, o primeiro grupo tem relação com as propriedades mecânicas do bambu, o uso do tratamento térmico para o aplainamento das lâminas do bambu e os tipos de laminação utilizadas para a fabricação dos compósitos. No segundo grupo, pode-se observar os tipos de ensaios realizados tais como: resistência de dobra, resistência à tração, microscopia eletrônica de varredura e resistência compressiva. No terceiro grupo estão os tipos de adesivos utilizados na fabricação do bambu engenheirado além dos compósitos fabricados como bambu *scrimber* e bambu laminado. Esta descoberta ajudará futuros pesquisadores na seleção das palavras-chave, auxiliando

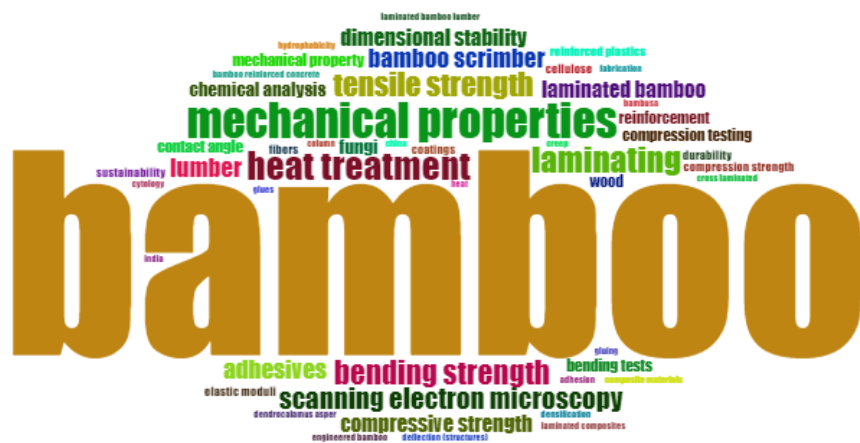
na localização dos documentos publicados nas bases de dados sobre o tema abordado.

Relação da rede de ocorrência entre as palavras-chave dos autores dos 193 documentos com o bambu engenheirado nos últimos 10 anos



Fonte: Análise retirada do *software* Bibliometrix

Nuvem de ocorrência de palavras das palavras-chave dos autores dos 193 documentos com o bambu engenheirado nos últimos 10 anos



Fonte: Análise retirada do *software* Bibliometrix

Após a análise realizada no *software* Bibliometrix, o estudo avançou na elaboração da matriz do conhecimento (Anexo B) e na leitura dos documentos levantados, aplicando-se os critérios de inclusão/exclusão definidos na metodologia da pesquisa. Como estratégia para a leitura dos documentos levantados, foi estabelecida uma hierarquia na organização dos documentos. Os mesmos foram enumerados a partir do ano de publicação, dos mais antigos para os mais recentes e atribuído um grau de importância após a leitura dos títulos e resumos, de acordo com a temática da pesquisa, 1 para os artigos muito relevantes, 2 para os artigos relevantes e 3 para os artigos pouco relevantes.

Dos 193 documentos levantados, 42 foram excluídos por não abordarem assuntos relevantes para a temática do estudo, 91 foram classificados como pouco relevantes por abordarem assuntos como: conexões, simulações, desempenho e revisão sobre esses assuntos, 34 foram classificados como relevantes por abordarem assuntos como: fabricação, propriedades dos laminados e revisão sobre esses assuntos e 26 foram classificados como muito relevantes por abordarem assuntos como: bambu *scrimber* e bambu engenheirado.

Grau de Importância dos Artigos

Documento excluído	Pouco relevante	Relevante	Muito relevante
42	91	34	26

Fonte: Própria autoria.

Nas últimas décadas o desenvolvimento de bambu engenheirado adequado para aplicações domésticas, industriais e estruturais vem aumentando, especialmente em regiões onde o bambu é um recurso natural amplamente disponível, como na China. Os resultados com o processamento do bambu satisfizeram até mesmo os designs estruturais mais modernos, melhorando o desempenho estrutural, reduzindo a variabilidade natural da heterogeneidade dos colmos de bambu, e proporcionando uma melhor qualidade em relação à madeira serrada ou ao bambu verde.

Nesta abordagem bibliográfica, foram separadas as tecnologias de recombinação de bambu encontradas na revisão sistemática da literatura, com os tipos de metodologia utilizadas para a fabricação dos compósitos a base de bambu e os produtos fabricados de madeira engenheiradas de bambu.

APÊNDICE B - MATRIZ DO CONHECIMENTO

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
FABRICAÇÃO	2	2011	MAHDAVI M;CLOUSTON PL;ARWADE SR	DEVELOPMENT OF LAMINATED BAMBOO LUMBER: REVIEW OF PROCESSING, PERFORMANCE, AND ECONOMICAL CONSIDERATIONS	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000253	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING
FABRICAÇÃO	2	2011	TAKAGI H;OKITSU Y	ENHANCEMENT IN MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO BY PRESS FORMING	10.4028/www.scientific.net/MSF.675-677.647	MATERIALS SCIENCE FORUM
DESEMPENHO	2	2012	QIN L;WEN-JI Y;YANG-LUN Y	RESEARCH ON PROPERTIES OF RECONSTITUTED BAMBOO LUMBER MADE BY THERMO-TREATED BAMBOO BUNDLE CURTAINS	10.13073/FPJ-D-12-00058.1	FOREST PRODUCTS JOURNAL
FABRICAÇÃO	2	2012	LI Y;SHEN Y;WANG S;DUC;WU Y;HU G	A DRYWET PROCESS TO MANUFACTURE SLICED BAMBOO VENEER	10.13073/0015-7473-62.5.395	FOREST PRODUCTS JOURNAL
PROPRIEDADE LAMINADO	2	2012	LIU D;SONG J;ANDERSON DP;CHANG PR;HUA Y	BAMBOO FIBER AND ITS REINFORCED COMPOSITES: STRUCTURE AND PROPERTIES	10.1007/s10570-012-9741-1	CELLULOSE
FABRICAÇÃO	2	2012	MAHDAVI M;CLOUSTON PL;ARWADE SR	A LOW-TECHNOLOGY APPROACH TOWARD FABRICATION OF LAMINATED BAMBOO LUMBER	10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.10.046	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
REVISÃO	2	2012	XIAO Y;YANG RZ; M. MAHDAVI, P. L. CLOUSTON, AND S. R. ARWADE	DISCUSSION OF DEVELOPMENT OF LAMINATED BAMBOO LUMBER: REVIEW OF PROCESSING, PERFORMANCE, AND ECONOMICAL CONSIDERATIONS	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000476	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
REVISÃO	3	2012	CHOUDHURY D;SAHU JK;SHARMA GD	VALUE ADDITION TO BAMBOO SHOOTS: A REVIEW	10.1007/s13197-011-0379-z	JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
DESEMPENHO	3	2012	FU J;LI X;GAO W;WANG H;CAVACO-PAULO A;SILVA C	BIO-PROCESSING OF BAMBOO FIBRES FOR TEXTILE APPLICATIONS: A MINI REVIEW	10.3109/10242422.2012.650450	BIOCATALYSIS AND BIOTRANSFORMATION
DESEMPENHO	3	2012	GAO J;GE W;CHENG HT;SHI SQ	PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF INORGANIC PARTICLES FILLED INDIVIDUAL BAMBOO FIBERS	10.4028/www.scientific.net/AMR.476-478.1930	ADVANCED MATERIALS RESEARCH
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2012	SINHA A;CLAUSON M	PROPERTIES OF BAMBOOWOOD HYBRID GLULAM BEAMS	10.13073/FPJ-D-13-00007.1	FOREST PRODUCTS JOURNAL
REVISÃO	3	2013	DISYEN K;CLOUSTON PL	BUILDING WITH BAMBOO: A REVIEW OF CULM CONNECTION TECHNOLOGY	10.3992/jgb.8.4.83	JOURNAL OF GREEN BUILDING
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2013	HU JB;PIZZI A	WOODBAMBOOWOOD LAMINATED COMPOSITE LUMBER JOINTED BY LINEAR VIBRATIONFRICTION WELDING	10.1007/s00107-013-0714-3	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
FABRICAÇÃO	1	2014	YU Y;HUANG X;YU W	A NOVEL PROCESS TO IMPROVE YIELD AND MECHANICAL PERFORMANCE OF BAMBOO FIBER REINFORCED COMPOSITE VIA MECHANICAL TREATMENTS	10.1016/j.compositesb.2013.08.007	COMPOSITES PART B: ENGINEERING

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2014	CHEN F;DENG J;CHENG H;LI H;JIANG Z;WANG G;ZHAO Q;SHI SQ	IMPACT PROPERTIES OF BAMBOO BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER BY PREPROCESSING DENSIFICATION TECHNOLOGY	10.1007/s10086-014-1424-0	JOURNAL OF WOOD SCIENCE
DESEMPENHO	2	2014	LI H;CHEN F;CHENG H;DENG J;WANG G;SUN F	LARGE-SPAN BAMBOO FIBER-BASED COMPOSITES, PART I: A PREDICTION MODEL BASED ON THE LUCAS-WASHBURN EQUATION DESCRIBING THE RESIN CONTENT OF BAMBOO FIBER IMPREGNATED WITH DIFFERENT PVAC/PF CONCENTRATIONS	10.15376/biores.9.4.6408-6419	BIORESOURCES
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2014	MA X;WANG G;JIANG Z;XIAN Y;LI H	COMPARISON OF BENDING CREEP BEHAVIOR OF BAMBOO-BASED COMPOSITES MANUFACTURED BY TWO TYPES OF STACKING SEQUENCES	10.15376/biores.9.3.5461-5472	BIORESOURCES
CONEXÕES	3	2014	SINHA A;MIYAMOTO BT	LATERAL LOAD CARRYING CAPACITY OF LAMINATED BAMBOO LUMBER AND ORIENTED STRAND BOARD CONNECTIONS	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000848	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2014	SINHA A;WAY D;MLASKO S	STRUCTURAL PERFORMANCE OF GLUED LAMINATED BAMBOO BEAMS	10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000807	JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING
BAMBU PROJETADO	1	2015	SEMPLER KE;ZHANG PK;SMITH GD	HYBRID ORIENTED STRAND BOARDS MADE FROM MOSO BAMBOO (PHYLLOSTACHYS PUBESCENS MAZEL) AND ASPEN (POPULUS TREMULOIDES MICHX.): SPECIES-SEPARATED THREE-LAYER BOARDS	10.1007/s00107-015-0914-0	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
BAMBU PROJETADO	1	2015	SHARMA B;GATOO A;BOCK M;MULLIGAN H;RAMAGE M	ENGINEERED BAMBOO: STATE OF THE ART	10.1680/coma.14.00020	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - CONSTRUCTION MATERIALS

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2015	DENG J;LI H;WANG G;CHEN F;ZHANG W	EFFECT OF REMOVING EXTENT OF BAMBOO GREEN ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO-BUNDLE VENEER LUMBER (BLVL)	10.1007/s00107-015-0897-x	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
CONEXÕES	3	2015	GARDNER DJ;BLUMENTRIT T M;WANG L;YILDIRIM N	ADHESION THEORIES IN WOOD ADHESIVE BONDING	10.1002/9781119162346.ch4	PROGRESS IN ADHESION AND ADHESIVES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2015	LI H;XIAN Y;DENG J;CHENG H;CHEN F;WANG G	EVALUATION OF WATER ABSORPTION AND ITS INFLUENCE ON THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO-BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER	10.15376/biores.11.1.1359-1368	BIORESOURCES
REVISÃO	3	2015	YEASMIN L;ALI MN;GANTAIT S;CHAKRABORTY S	BAMBOO: AN OVERVIEW ON ITS GENETIC DIVERSITY AND CHARACTERIZATION	10.1007/s13205-014-0201-5	3 BIOTECH
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2016	CHEN F;JIANG Z;WANG G;LI H;SIMTH LM;SHI SQ	THE BENDING PROPERTIES OF BAMBOO BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER (BLVL) DOUBLE BEAMS	10.1016/j.conbuildmat.2016.03.114	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
REVISÃO	2	2016	CHEN WEI, QIN JIANDU HEJI	WRITTEN ON BAMBOO AND WOOD: A REVIEW ARTICLE	10.1017/eac.2016.1	EARLY CHINA
DESEMPENHO	3	2016	BAO M;HUANG X;ZHANG Y;YU W;YU Y	EFFECT OF DENSITY ON THE HYGROSCOPICITY AND SURFACE CHARACTERISTICS OF HYBRID POPLAR COMPREG	10.1007/s10086-016-1573-4	JOURNAL OF WOOD SCIENCE

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
SIMULAÇÕES	3	2016	CHEN F;WANG G;LI X;SIMTH LM;SHI SQ	LAMINATED STRUCTURE DESIGN OF WOODBAMBOO HYBRID LAMINATED COMPOSITE USING FINITE ELEMENT SIMULATIONS	10.1177/0731684416663852	JOURNAL OF REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES
REVISÃO	3	2016	CHEN Z;LEI Q;HE R;ZHANG Z;CHOWDHURY AJK	REVIEW ON ANTIBACTERIAL BIOCOMPOSITES OF STRUCTURAL LAMINATED VENEER LUMBER	10.1016/j.sjbs.2015.09.025	SAUDI JOURNAL OF BIOLOGICAL SCIENCES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2016	DENG J;CHEN F;LI H;WANG G;SHI SQ	THE EFFECT OF PF/PVAC WEIGHT RATIO AND AMBIENT TEMPERATURE ON MOISTURE ABSORPTION PERFORMANCE OF BAMBOO-BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER	10.1002/pc.23255	POLYMER COMPOSITES
DESEMPENHO	3	2016	DENG J;CHEN F;WANG G;ZHANG W	VARIATION OF PARALLEL-TO-GRAIN COMPRESSION AND SHEARING PROPERTIES IN MOSO BAMBOO CULM (PHYLLOSTACHYS PUBESCENS)	10.15376/biores.11.1.1784-1795	BIORESOURCES
DESEMPENHO	3	2016	DIXON PG;SEMPLE KE;KUTNAR A;KAMKE FA;SMITH GD;GIBSON LJ	COMPARISON OF THE FLEXURAL BEHAVIOR OF NATURAL AND THERMO-HYDRO-MECHANICALLY DENSIFIED MOSO BAMBOO	10.1007/s00107-016-1047-9	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
DESEMPENHO	3	2016	LI HT;DEEKS AJ;ZHANG QS;WU G	FLEXURAL PERFORMANCE OF LAMINATED BAMBOO LUMBER BEAMS	10.15376/biores.11.1.929-943	BIORESOURCES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2016	LI H;CHEN F;CHENG H;WANG G	ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO-WOOD HYBRID LAMINATED COMPOSITE BY OFF-AXIS TENSION TESTS	10.11896/j.issn.1005-023X.2016.18.033	CAILIAO DAOBAO/MATERIALS REVIEW

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2016	LI H;CHEN G;ZHANG Q;ASHRAF M;XU B;LI Y	MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO LUMBER COLUMN UNDER RADIAL ECCENTRIC COMPRESSION	10.1016/j.conbuildmat.2016.06.031	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2016	LI H;WU G;ZHANG Q;SU JW	MECHANICAL EVALUATION FOR LAMINATED BAMBOO LUMBER ALONG TWO ECCENTRIC COMPRESSION DIRECTIONS	10.1007/s10086-016-1584-1	JOURNAL OF WOOD SCIENCE
REVISÃO	3	2016	MD SHAH AIN UMAIRA MSAU;SULTAN MTH;JAWAID M;CARDONA F;ABU TALIB ABD RAHIM ATAR	A REVIEW ON THE TENSILE PROPERTIES OF BAMBOO FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES	10.15376/biores.11.4.Shah	BIORESOURCES
BAMBU PROJETADO	1	2017	WANG G;CHEN F	DEVELOPMENT OF BAMBOO FIBER-BASED COMPOSITES	10.1016/B978-0-08-100411-1.00010-8	ADVANCED HIGH STRENGTH NATURAL FIBRE COMPOSITES IN CONSTRUCTION
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2017	CHEN F;DENG J;LI X;WANG G;SMITH LM;SHI SQ	EFFECT OF LAMINATED STRUCTURE DESIGN ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO-WOOD HYBRID LAMINATED VENEER LUMBER	10.1007/s00107-016-1080-8	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
SCRIMBER	2	2017	YU Y;LIU R;HUANG Y;MENG F;YU W	PREPARATION, PHYSICAL, MECHANICAL, AND INTERFACIAL MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF ENGINEERED BAMBOO SCRIMBER	10.1016/j.conbuildmat.2017.09.185	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
DESEMPENHO	3	2017	BAO M;HUANG X;JIANG M;YU W;YU Y	EFFECT OF THERMO-HYDRO-MECHANICAL DENSIFICATION ON MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF POPLAR WOOD (POPULUS TOMENTOSA)	10.1007/s10086-017-1661-0	JOURNAL OF WOOD SCIENCE

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
DESEMPENHO	3	2017	CHEN F;LI H;JIANG Z;WANG G	EFFECTS OF AGING TEMPERATURE ON MECHANICAL PERFORMANCE OF BAMBOO BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER JOINTS PREPARED BY INTERMITTENT HOT PRESS PROCESS	10.15376/biores.12.3.6568-6578	BIORESOURCES
SIMULAÇÕES	3	2017	DIXON PG;MALEK S;SEMPLE KE;ZHANG PK;SMITH GD;GIBSON LJ	MULTISCALE MODELLING OF MOSO BAMBOO ORIENTED STRAND BOARD	10.15376/biores.12.2.3166-3181	BIORESOURCES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2017	JIN XB;JIANG ZH;WEN XW;ZHANG R;QIN DC	FLAME RETARDANT PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO LUMBER TREATED WITH MONOAMMONIUM PHOSPHATE (MAP) AND BORIC ACID/BORAX (SBX) COMPOUNDS	10.15376/biores.12.3.5071-5085	BIORESOURCES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2017	LI H;CHEN F;XIAN Y;DENG J;WANG G;CHENG H	AN EMPIRICAL MODEL FOR PREDICTING THE MECHANICAL PROPERTIES DEGRADATION OF BAMBOO BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER (BLVL) BY HYGROTHERMAL AGING TREATMENT	10.1007/s00107-016-1100-8	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
BAMBU PROJETADO	1	2018	GUAN X;YIN H;LIU X;WU Q;GONG M	DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT OVERLAID LAMINATED BAMBOO LUMBER FOR STRUCTURAL USES	10.1016/j.conbuildmat.2018.08.107	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
FABRICAÇÃO	1	2018	FANG CH;JIANG ZH;SUN ZJ;LIU HR;ZHANG XB;ZHANG R;FEI BH	AN OVERVIEW ON BAMBOO CULM FLATTENING	10.1016/j.conbuildmat.2018.03.085	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2018	DENG J;HE L;ZHU A	EFFECT OF LAMINATED STRUCTURE DESIGN ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO SLIVER LUMBER	10.15376/biores.14.1.421-430	BIORESOURCES

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
FABRICAÇÃO	2	2018	NIU X;PANG J;CAI H;LI S;LE L;WU J	PROCESS OPTIMIZATION OF LARGE-SIZE BAMBOO BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER (BLVL) BY BOX-BEHNKEN DESIGN	10.15376/biores.13.1.1401-1412	BIORESOURCES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2018	CHEN G;YU Y;LI X;HE B;ZHENG N;ZHAO H	STUDY ON LAMINATED BAMBOO LUMBER-WOOD I SHAPED JOIST WITH WEB OPENING REINFORCED BY ORIENTED STAND BOARD PLATES	10.11975/j.issn.1002-6819.2018.23.034	NONGYE GONGCHENG XUEBAO/TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2018	CHEN Q;LANG J;WANG J	FLEXURAL PROPERTIES OF BAMBOO-LOG COMPOSITE BEAM	10.25103/jestr.113.14	JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY REVIEW
DESEMPENHO	3	2018	HUANG Z;SUN Y;MUSSO F	A STUDY ON THE EXPERIMENTAL PROPERTIES OF BAMBOO THERMO-WET PHYSICS BASED ON THE HAM MODEL	10.16339/j.cnki.hdxzbkb.2018.09.017	HUNAN DAXUE XUEBAO/JOURNAL OF HUNAN UNIVERSITY NATURAL SCIENCES
CONEXÕES	3	2018	KHOSHBAKHT N;CLOUSTON PL;ARWADE SR;SCHREYER AC	COMPUTATIONAL MODELING OF LAMINATED VENEER BAMBOO DOWEL CONNECTIONS	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002135	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING
DESEMPENHO	3	2018	MA X;SHI SQ;WANG G;FEI B;JIANG Z	LONG CREEP-RECOVERY BEHAVIOR OF BAMBOO-BASED PRODUCTS	10.1007/s10086-017-1683-7	JOURNAL OF WOOD SCIENCE
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2018	MUNIS RA;CAMARGO DA;DE ALMEIDA AC;DE ARAUJO VA;JUNIOR MPL;MORALES EAM;SIMÕES D;BIAZZON JC;DE MATOS CAO;CORTEZ-BARBOSA J	PARALLEL COMPRESSION TO GRAIN AND STIFFNESS OF CROSS LAMINATED TIMBER PANELS WITH BAMBOO REINFORCEMENT	10.15376/biores.13.2.3809-3816	BIORESOURCES

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
REVISÃO	3	2018	TODIC J;SCHWEIZER V;LEUCHTER I	BAMBOO NODES OF VOCAL FOLDS: A DESCRIPTION OF 10 CASES AND REVIEW OF THE LITERATURE	10.1159/000487925	FOLIA PHONIATRICA ET LOGOPAEDICA
DESEMPENHO	3	2018	WANG C;ZHANG H;ZHAO C;ZHANG C;CAO T;DONG H;DING J;XIONG Z;XIONG X;LIU W;WU K;LIU R;DING W;YAN Z	EXPERIMENTAL STUDY ON LAMINATED BAMBOO LUMBER COLUMN	10.1051/e3sconf/20183802001	E3S WEB OF CONFERENCES
DESEMPENHO	3	2018	XU Q;LENG Y;CHEN X;HARRIES KA;CHEN L;WANG Z	EXPERIMENTAL STUDY ON FLEXURAL PERFORMANCE OF GLUED-LAMINATED-TIMBER-BAMBOO BEAMS	10.1617/s11527-017-1135-2	MATERIALS AND STRUCTURES
DESEMPENHO	3	2018	LI H;WU G;ZHANG Q;DEEKS AJ;SU J	ULTIMATE BENDING CAPACITY EVALUATION OF LAMINATED BAMBOO LUMBER BEAMS	10.1016/j.conbuildmat.2017.11.058	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
BAMBU PROJETADO	1	2019	BARRETO MIM;DE ARAUJO VICTOR DAV;CORTEZ-BARBOSA J;CHRISTOFORAL;MOURA JDM	STRUCTURAL PERFORMANCE ANALYSIS OF CROSS-LAMINATED TIMBER-BAMBOO (CLTB)	10.15376/biores.14.3.5045-5058	BIORESOURCES
BAMBU PROJETADO	1	2019	LIU C;CHEN G;LI L;QIN Y;WANG J;XU M	EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON OSB WEBBED LAMINATED BAMBOO LUMBER BOX SHAPED JOISTS	10.1051/mateconf/201927501003	MATEC WEB OF CONFERENCES
BAMBU PROJETADO	1	2019	ZHOU H;SUN F;LI H;ZHANG W;CHENG H;CHEN L;YU Z;CHEN F;WANG G	DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MODULAR BAMBOO-COMPOSITE WALL CONSTRUCTION	10.15376/biores.14.3.7169-7181	BIORESOURCES

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
REVISÃO	1	2019	GAUSS C;ARAÚJO VD;GAVA M;CORTEZ-BARBOSA J;SAVASTANO JUNIOR HOLMER SJH	BAMBOO PARTICLEBOARDS: RECENT DEVELOPMENTS	10.1590/1983-40632019v4955081	PESQUISA AGROPECUÁRIA TROPICAL
FABRICAÇÃO	1	2019	HUANG Y;QI Y;ZHANG Y;YU W	PROGRESS OF BAMBOO RECOMBINATION TECHNOLOGY IN CHINA	10.1155/2019/2723191	ADVANCES IN POLYMER TECHNOLOGY
FABRICAÇÃO	1	2019	ZHANG, XIAOCHUN; ZHOU, ZHEZHE; ZHU, YUDING; DAI, JINFENG; YU, YOUMING	HIGH-PRESSURE STEAM: A FACILE STRATEGY FOR THE SCALABLE FABRICATION OF FLATTENED BAMBOO BIOMASS	10.1016/j.indcrop.2018.11.061	INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS
DESEMPENHO	2	2019	YU Y;HUANG Y;ZHANG Y;LIU R;MENG F;YU W	THE REINFORCING MECHANISM OF MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO FIBER BUNDLE-REINFORCED COMPOSITES	10.1002/pc.24885	POLYMER COMPOSITES
REVISÃO	2	2019	RUSCH F;CEOLIN GB;HILLIG E	MORPHOLOGY, DENSITY AND DIMENSIONS OF BAMBOO FIBERS: A BIBLIOGRAPHICAL COMPILATION	10.1590/1983-40632019v4955007	PESQUISA AGROPECUÁRIA TROPICAL
SCRIMBER	2	2019	BAO M;LI N;HUANG C;CHEN Y;YU W;YU Y	FABRICATION, PHYSICALMECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATIONS OF NOVEL SCRIMBER COMPOSITE	10.1007/s00107-019-01440-9	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
REVISÃO	2	2019	BUZQUIA ST;LOPES PVF;ALMEIDA AK;DE ALMEIDA IK	IMPACTS OF BAMBOO SPREADING: A REVIEW	10.1007/s10531-019-01875-9	BIODIVERSITY AND CONSERVATION

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
SCRIMBER	2	2019	HUANG Y;JI Y;YU W	DEVELOPMENT OF BAMBOO SCRIMBER: A LITERATURE REVIEW	10.1186/s10086-019-1806-4	JOURNAL OF WOOD SCIENCE
REVISÃO	2	2019	MUHAMMAD A;RAHMAN MR;HAMDAN S;SANAULLAH K	RECENT DEVELOPMENTS IN BAMBOO FIBER-BASED COMPOSITES: A REVIEW	10.1007/s00289-018-2493-9	POLYMER BULLETIN
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2019	ZHOU H;WANG G;CHEN L;YU Z;SMITH LM;CHEN F	HYDROTHERMAL AGING PROPERTIES OF THREE TYPICAL BAMBOO ENGINEERING COMPOSITES	10.3390/ma12091450	MATERIALS
REVISÃO	2	2019	WEI P;WANG BJ;WANG L;WANG Y;YANG G;LIU J	AN EXPLORATORY STUDY OF COMPOSITE CROSS-LAMINATED TIMBER (CCLT) MADE FROM BAMBOO AND HEMLOCK-FIR MIX	10.15376/biores.14.1.2160-2170	BIORESOURCES
CONEXÕES	3	2019	CHEN C;YE Z;YU X;TOR O;ZHANG J	CYCLIC BEHAVIOR OF SELF-TAPPING SCREWED LAMINATED BAMBOO LUMBER CONNECTIONS SUBJECTED TO CYCLE LOADINGS	10.15376/biores.14.4.7958-7976	BIORESOURCES
DESEMPENHO	3	2019	DJAMIL S;SUARDANA NPG;IRAWAN AP;SUGITA IKG	TENSILE PROPERTIES OF BAMBOO STRIP REINFORCED-EPOXY MATRIX COMPOSITE	10.1088/1757-899X/508/1/012055	IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING
DESEMPENHO	3	2019	GAFF M;H'IYSEK S;SIKORA A;BABIAM M	NEWLY DEVELOPED BOARDS MADE FROM CRUSHED RAPESEED STALK AND THEIR BENDABILITY PROPERTIES	10.15376/biores.13.3.4776-4794	BIORESOURCES

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
CONEXÕES	3	2019	HONG C;LI H;LORENZO R;WU G;CORBI L;CORBI O;XIONG Z;YANG Y;HUIZHONG ZHANG DONG HZD	REVIEW ON CONNECTIONS FOR ORIGINAL BAMBOO STRUCTURES	10.32604/jrm.2019.07647	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
DESEMPENHO	3	2019	HUANG Z	HYGROTHERMAL PROPERTIES' TEST ON BAMBOO	10.1007/978-3-030-12032-0_3	GREEN ENERGY AND TECHNOLOGY
SCRIMBER	3	2019	HUANG Z;YIMINS	COMPARISON STUDY ON HYGRIC PERFORMANCE OF BAMBOO LAMINATED LUMBER AND BAMBOO SCRIMBER AS INDOOR FINISHING IN HOT-HUMID CLIMATE REGION	10.1051/matecconf/201930303001	MATEC WEB OF CONFERENCES
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2019	KADIVAR M;GAUSS C;M'ARMOL G;DE S'YA A D SAD;FIORONI C;GHAVAMI K;SAVASTANO H. JR. SHJ	THE INFLUENCE OF THE INITIAL MOISTURE CONTENT ON DENSIFICATION PROCESS OF D. ASPER BAMBOO: PHYSICAL-CHEMICAL AND BENDING CHARACTERIZATION	10.1016/j.conbuildmat.2019.116896	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
CONEXÕES	3	2019	KHOSHBAKHT N;CLOUSTON PL;ARWADE SR;SCHREYER AC	EVALUATION OF ASTM D5764 DOWEL CONNECTION TESTS FOR LAMINATED VENEER BAMBOO (LVB)	10.1520/JTE20180385	JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2019	LI H;LIU R;LORENZO R;WU G;WANG L	ECCENTRIC COMPRESSION PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO COLUMNS WITH DIFFERENT SLENDERNESS RATIOS	10.1680/jstbu.18.00007	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - STRUCTURES AND BUILDINGS
DESEMPENHO	3	2019	LV Q;WANG W;LIU Y	STUDY ON THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF CROSS-LAMINATED BAMBOO WALL	10.32604/jrm.2019.08345	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2019	MANIA P;MAJKA J;ZBOROWSKA M	THE EFFECT OF THERMO-MECHANICAL TREATMENT OF MOSO BAMBOO (PHYLLOSTACHYS PUBESCENS) ON ITS SORPTION AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES	10.5552/drvind .2019.1847	DRVNA INDUSTRIJA
DESEMPENHO	3	2019	SRIVARO S;MATAN N;LAM F	PERFORMANCE OF CROSS LAMINATED TIMBER MADE OF OIL PALM TRUNK WASTE FOR BUILDING CONSTRUCTION: A PILOT STUDY	10.1007/s00107-019-01403-0	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
REVISÃO	3	2019	WAGEMANN E;RAMAGE MH	BRIEFING: BAMBOO FOR CONSTRUCTION IN PAKISTAN A SCOPING REVIEW	10.1680/jcoma .17.00045	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - CONSTRUCTION MATERIALS
DESEMPENHO	3	2019	WANG X;CHEN X;XIE X;YUAN Z;CAI S;LI Y	EFFECT OF PHENOL FORMALDEHYDE RESIN PENETRATION ON THE QUASI-STATIC AND DYNAMIC MECHANICS OFWOOD CELLWALLS USING NANOINDENTATION	10.3390/nano9101409	NANOMATERIALS
SCRIMBER	3	2019	WU G;GONG Y;ZHONG Y;REN H	DETERMINATION AND SIMULATION OF THE MODE I FRACTURE TOUGHNESS OF BAMBOO SCRIMBER	10.15376/biores.14.3.6811-6821	BIORESOURCES
CONEXÕES	3	2019	XING W;HAO J;SIKORA KS	SHEAR PERFORMANCE OF ADHESIVE BONDING OF CROSS-LAMINATED BAMBOO	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002854	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2019	ZHENG NH;CHEN G;HE B;YUAN Z;ZHAO H	EFFECT OF OPENING ON OSB WEBBED BAMBOO I-SHAPED BEAM	10.1201/9780429434990-15	MODERN ENGINEERED BAMBOO STRUCTURES

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2019	ZHOU H;WEI X;CHEN F;WANG G;SMITH LM	EFFECT OF LAMINATED STRUCTURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF RECLAIMED BAMBOO CHOPSTICKS-WOOD VENEER HYBRID LAMINATED COMPOSITE	10.1007/s12221-019-8997-6	FIBERS AND POLYMERS
DESEMPENHO	3	2019	ZHOU H;WEI X;SMITH LM;WANG G;CHEN F	EVALUATION OF UNIFORMITY OF BAMBOO BUNDLE VENEER AND BAMBOO BUNDLE LAMINATED VENEER LUMBER (BLVL)	10.3390/f10100921	FORESTS
REVISÃO	1	2020	KADIVAR M;GAUSS C;GHAVAMI K;SAVASTANO H	DENSIFICATION OF BAMBOO: STATE OF THE ART	10.3390/ma13194346	MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	1	2020	LI C;WANG X;ZHANG Y	STRUCTURAL DESIGN AND MECHANICAL PROPERTIES ANALYSIS OF BAMBOO-WOOD CROSS-LAMINATED TIMBER	10.15376/biores.15.3.5417-5432	BIORESOURCES
BAMBU PROJETADO	1	2020	SUN Y;ZHANG Y;HUANG Y;WEI X;YU W	INFLUENCE OF BOARD DENSITY ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO ORIENTED STRAND LUMBER	10.3390/F11050567	FORESTS
DESEMPENHO	1	2020	MA X;LI H;ZEHUI J;FEI B	FLEXURAL FATIGUE BEHAVIOR OF BAMBOO-BASED PRODUCTS	10.1515/hf-2019-0208	HOLZFORSCHUNG
BAMBU PROJETADO	1	2020	SUN X;HE M;LI Z	NOVEL ENGINEERED WOOD AND BAMBOO COMPOSITES FOR STRUCTURAL APPLICATIONS: STATE-OF-ART OF MANUFACTURING TECHNOLOGY AND MECHANICAL PERFORMANCE EVALUATION	10.1016/j.conbuildmat.2020.118751	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
REVISÃO	2	2020	XIAO Y;SHAN B;LI Z	RECENT PROGRESS IN ENGINEERED BAMBOO DEVELOPMENT	10.1201/9780429434990-1	MODERN ENGINEERED BAMBOO STRUCTURES
REVISÃO	2	2020	SHU B;XIAO Z;HONG L;ZHANG S;LI C;FU N;LU X	REVIEW ON THE APPLICATION OF BAMBOO-BASED MATERIALS IN CONSTRUCTION ENGINEERING	10.32604/jrm.2020.011263	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
FABRICAÇÃO	2	2020	MINGHAN S;XIUZHU Z;MAN J	EXPLORING THE INNOVATION LANDSCAPE OF BAMBOO FIBER TECHNOLOGIES FROM GLOBAL PATENT DATA PERSPECTIVE	10.1007/s10570-020-03431-z	CELLULOSE
DESEMPENHO	3	2020	BIAN F;ZHONG Z;ZHANG X;YANG C;GAI X	BAMBOO AN UNTAPPED PLANT RESOURCE FOR THE PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS	10.1016/j.chemosphere.2019.125750	CHEMOSPHERE
DESEMPENHO	3	2020	CHEN C;LI Z;MI R;DAI J;XIE H;PEI Y;LI J;QIAO H;TANG H;YANG B;HU L	RAPID PROCESSING OF WHOLE BAMBOO WITH EXPOSED, ALIGNED NANOFIBRILS TOWARD A HIGH-PERFORMANCE STRUCTURAL MATERIAL	10.1021/acs.nano.9b08747	ACS NANO
CONEXÕES	3	2020	CHEN G;JIANG H;YU Y;ZHOU T;WU J;LI X	EXPERIMENTAL ANALYSIS OF NAILED LBL-TO-LBL CONNECTIONS LOADED PARALLEL TO GRAIN	10.1617/s11527-020-01517-5	MATERIALS AND STRUCTURES
CONEXÕES	3	2020	CHEN G;WU J;JIANG H;ZHOU T;LI X;YU Y	EVALUATION OF OSB WEBBED LAMINATED BAMBOO LUMBER BOX-SHAPED JOISTS WITH A CIRCULAR WEB HOLE	10.1016/j.jobbe.2019.101129	JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
CONEXÕES	3	2020	CHEN G;ZHOU T;YU Y;TAN C;YANG W;XU Z	EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL PERFORMANCE OF LAMINATED BAMBOO LUMBER NAILED CONNECTIONS	10.11975/j.issn.1002-6819.2020.13.034	NONGYE GONGCHENG XUEBAO/TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2020	CHOI GW;YANG SM;LEE HJ;KIM JH;CHOI KH;KANG SG	A STUDY ON THE BLOCK SHEAR STRENGTH ACCORDING TO THE LAYER COMPOSITION OF AND ADHESIVE TYPE OF PLY-LAM CLT	10.5658/WOOD.2020.48.6.791	JOURNAL OF THE KOREAN WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2020	GALIH NM;YANG SM;YU SM;KANG SG	STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF TROPICAL HYBRID CROSS LAMINATED TIMBER USING BAMBOO LAMINATED BOARD AS LAYER	10.5658/WOOD.2020.48.2.245	JOURNAL OF THE KOREAN WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
CONEXÕES	3	2020	HONG C;LI H;XIONG Z;LORENZO R;CORBI I;CORBI O;WEI D;YUAN C;YANG D;ZHANG H	REVIEW OF CONNECTIONS FOR ENGINEERED BAMBOO STRUCTURES	10.1016/j.job.2020.101324	JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING
SCRIMBER	3	2020	KUMAR A;RYPAROV I A P RP;KASAL B;ADAMOPOULOS S;HAJEK P	RESISTANCE OF BAMBOO SCRIMBER AGAINST WHITE-ROT AND BROWN-ROT FUNGI	10.1080/17480272.2018.1475420	WOOD MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2020	LI W;ZHANG Z;HE S;ZHOU G;MEI C	THE EFFECT OF LATHE CHECKS ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF LVL	10.1007/s00107-020-01526-9	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2020	LIN Q;HUANG Y;LI X;YU W	EFFECTS OF SHAPE, LOCATION AND QUANTITY OF THE JOINT ON BENDING PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO LUMBER	10.1016/j.conbuildmat.2019.117023	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2020	RAO F;JI Y;LI N;ZHANG Y;CHEN Y;YU W	OUTDOOR BAMBOO-FIBER-REINFORCED COMPOSITE: INFLUENCE OF RESIN CONTENT ON WATER RESISTANCE AND MECHANICAL PROPERTIES	10.1016/j.conbuildmat.2020.120022	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
DESEMPENHO	3	2020	WANG D;LIN L;FU F	FRACTURE MECHANISMS OF MOSO BAMBOO (PHYLLOSTACHYS PUBESCENS) UNDER LONGITUDINAL TENSILE LOADING	10.1016/j.indcrop.2020.112574	INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2020	WANG X;YUAN Z;ZHAN X;LI Y;LI M;SHEN L;CHENG D;LI Y;XU B	MULTI-SCALE CHARACTERIZATION OF THE THERMAL MECHANICALLY ISOLATED BAMBOO FIBER BUNDLES AND ITS POTENTIAL APPLICATION ON ENGINEERED COMPOSITES	10.1016/j.conbuildmat.2020.120866	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
DESEMPENHO	3	2020	YANG Y;FAHMY MFM;PAN Z;ZHAN Y;WANG R;WANG B;FENG B	EXPERIMENTAL STUDY ON BASIC MECHANICAL PROPERTIES OF NEW BFRP-BAMBOO SANDWICH STRUCTURE	10.1016/j.conbuildmat.2020.120642	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
DESEMPENHO	3	2020	YE C;HUANG Y;FENG Q;FEI B	EFFECT OF HYGROTHERMAL TREATMENT ON THE POROUS STRUCTURE AND NANOMECHANICS OF MOSO BAMBOO	10.1038/s41598-020-63524-4	SCIENTIFIC REPORTS
BAMBU PROJETADO	1	2021	LI H;WANG BJ;WANG L;WEI P;WEI Y;WANG P	CHARACTERIZING ENGINEERING PERFORMANCE OF BAMBOO-WOOD COMPOSITE CROSS-LAMINATED TIMBER MADE FROM BAMBOO MAT-CURTAIN PANEL AND HEM-FIR LUMBER	10.1016/j.compstruct.2021.113785	COMPOSITE STRUCTURES
BAMBU PROJETADO	1	2021	LI Z;HE XZ;CAI ZM;WANG R;XIAO Y	MECHANICAL PROPERTIES OF ENGINEERED BAMBOO BOARDS FOR GLUBAM STRUCTURES	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003657	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
BAMBU PROJETADO	1	2021	LV Q;HAN T;LIU Y; DING Y;LU Y	AN EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL STUDY ON CROSS-LAMINATED BAMBOO ROCKING WALLS WITH FRICTION DAMPERS	10.32604/jrm.2021.015536	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
BAMBU PROJETADO	1	2021	TAN C;LI H; ASHRAF M;CORBI I; CORBI O;LORENZO R	EVALUATION OF AXIAL CAPACITY OF ENGINEERED BAMBOO COLUMNS	10.1016/j.job.2020.102039	JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING
BAMBU PROJETADO	1	2021	WU J;YUAN H; WANG W;WU QR; GUAN X;LIN J; LI J	DEVELOPMENT OF LAMINATED BAMBOO LUMBER WITH HIGH BOND STRENGTH FOR STRUCTURAL USES BY O ₂ PLASMA	10.1016/j.conbuildmat.2020.121269	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
BAMBU PROJETADO	1	2021	HU Y;HE M; SEMPLÉ K; CHEN M; PINEDA H; ZHOU C; DAI C	CHARACTERIZING MAT FORMATION OF BAMBOO FIBER COMPOSITES: HORIZONTAL DENSITY DISTRIBUTION	10.3390/ma14051198	MATERIALS
FABRICAÇÃO	1	2021	CHUNG, M.J.; CHANG, T.C.; CHANG, S.T.; WANG, S.Y	PROPERTIES OF A FORMALDEHYDE-FREE TANNIN ADHESIVE AND MECHANICAL STRENGTH OF ORIENTED BAMBOO SCRIMBER BOARD BONDED WITH IT	10.1515/hf-2019-0267	GENTHINER STRASSE
FABRICAÇÃO	1	2021	ZHICHAO LOU; TIANCHENG YUAN; QIUYI WANG; XINWU WU; SHOUHENG HU; XIAOMENG HAO; XIANMIAO LIU; YANJUN LI	FABRICATION OF CRACK-FREE FLATTENED BAMBOO AND ITS MACRO-/MICRO MORPHOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES	10.32604/jrm.2021.014285	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2021	KADIVAR M; GAUSS C; TOMAZELLO-FILHO M; AHRAR A J; GHAVAMI K; SAVASTANO H	OPTIMIZATION OF THERMO-MECHANICAL DENSIFICATION OF BAMBOO	10.1016/j.conbuildmat.2021.123860	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
FABRICAÇÃO	2	2021	PINEDA H;HU Y;SEMPLE K;CHEN M;DAI C	COMPUTER SIMULATION OF THE MAT FORMATION OF BAMBOO SCRIMBER COMPOSITES	10.1016/j.compositesa.2021.106542	COMPOSITES PART A: APPLIED SCIENCE AND MANUFACTURING
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2021	SRIVARO S;P'ASZTORY Z;LE DUONG H A LDHA;LIM H;JANTAWEE S;TOMAD J	PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF CROSS LAMINATED TIMBER MADE WITH COCONUT WOOD	10.1007/s00107-021-01741-y	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
PROPRIEDADES LAMINADO	2	2021	SULASTININGSIH IM;TRISATYA DR;INDRAWANDA;MALIK J;PARI R	PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GLUED LAMINATED BAMBOO LUMBER	10.26525/jtfs2021.33.3.290	JOURNAL OF TROPICAL FOREST SCIENCE
DESEMPENHO	2	2021	WANG YY;WANG XQ;LI YQ;HUANG P;YANG B;HUN;FU SY	HIGH-PERFORMANCE BAMBOO STEEL DERIVED FROM NATURAL BAMBOO	10.1021/acsaami.0c18239	ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES
REVISÃO	2	2021	XIAO Y;CAI H;DONG SY	A PILOT STUDY ON CROSS-LAMINATED BAMBOO AND TIMBER BEAMS	10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002916	JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING (UNITED STATES)
CONEXÕES	3	2021	CHEN G;WU J;TAN C;YU Y	THE INTEGRATED BAMBOO NAILS CONNECT THE RESISTANCE TO THE SCISSORS IN A STRAIGHT PATTERN	10.13245/j.hust.210622	JOURNAL OF HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (NATURAL SCIENCE EDITION)
CONEXÕES	3	2021	CHEN G;YANG W;ZHOU T;YU Y;WU J;JIANG H;LI X;ZHANG Y	EXPERIMENTS ON LAMINATED BAMBOO LUMBER NAILED CONNECTIONS	10.1016/j.conbuildmat.2020.121321	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
DESEMPENHO	3	2021	DENG J;ZHOU H;CHEN F;ZHANG S;WANG G	CONTROL ON GRADIENT ADHESIVE LOADING OF POROUS LAMINATE: EFFECTS ON MULTIPLE PERFORMANCE OF COMPOSITES WITH BAMBOO BUNDLE AND SLIVER	10.32604/jrm.2021.015461	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2021	DONG W;WANG Z;ZHOU J;GONG M	EXPERIMENTAL STUDY ON BENDING PROPERTIES OF CROSS-LAMINATED TIMBER-BAMBOO COMPOSITES	10.1016/j.conbuildmat.2021.124313	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2021	FENG X;SHENG Y;GE X;WU Z;HUANG Q	EVALUATION OF THE PROPERTIES OF HYBRID YELLOW POPLAR (LIRIODENDRON SINO-AMERICANUM): A COMPARISON STUDY WITH YELLOW POPLAR (LIRIODENDRON TULIPIFERA)	10.4067/s0718-221x2021000100423	MADERAS: CIENCIA Y TECNOLOGIA
SIMULAÇÕES	3	2021	FU WL;GUAN HY;KEI S	EFFECTS OF MOISTURE CONTENT AND GRAIN DIRECTION ON THE ELASTIC PROPERTIES OF BEECH WOOD BASED ON EXPERIMENT AND FINITE ELEMENT METHOD	10.3390/f12050610	FORESTS
DESEMPENHO	3	2021	HONG C;LI H;XIONG Z;LORENZO R;CORBI I;CORBIO	EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON ECCENTRIC COMPRESSION PROPERTIES OF LAMINATED BAMBOO COLUMNS WITH A CHAMFERED SECTION	10.1016/j.job.2021.102901	JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING
SIMULAÇÕES	3	2021	HUANG B;FANG C;CHEN L;MIAO H;MA X;LIU H;FEI B	ANALYSIS OF THE USE RATE OF EQUAL ARC-SHAPED BAMBOO SPLITS	10.1016/j.conbuildmat.2021.124273	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2021	QIU Z;WANG J;FAN H	LOW VELOCITY FLEXURAL IMPACT BEHAVIORS OF BAMBOO FIBER REINFORCED COMPOSITE BEAMS	10.1016/j.polymeresting.2020.107047	POLYMER TESTING

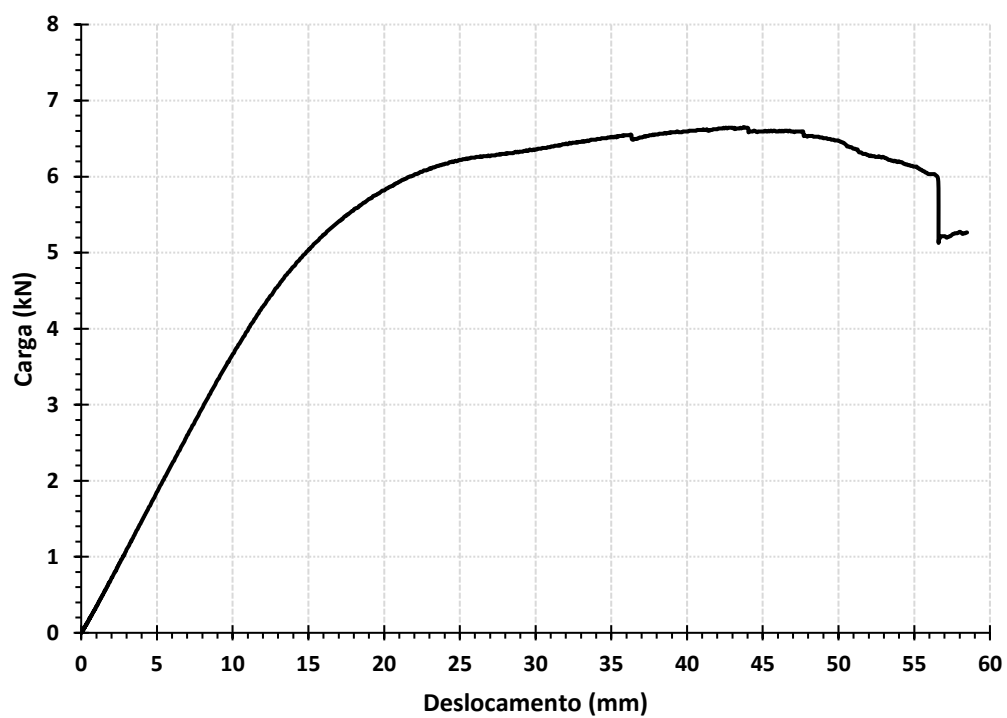
GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
CONEXÕES	3	2021	RAMFUL R	FAILURE ANALYSIS OF BAMBOO BOLT CONNECTION IN UNIAXIAL TENSION BY FEM BY CONSIDERING FIBER DIRECTION	10.13073/FPJ-D-20-00066	FOREST PRODUCTS JOURNAL
REVISÃO	3	2021	WANG J;CAO X;LIU H	A REVIEW OF THE LONG-TERM EFFECTS OF HUMIDITY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD AND WOOD-BASED PRODUCTS	10.1007/s00107-020-01623-9	EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS
DESEMPENHO	3	2021	WANG R;SHI JJ;XIA MK;LI Z	ROLLING SHEAR PERFORMANCE OF CROSS-LAMINATED BAMBOO-BALSA TIMBER PANELS	10.1016/j.conbuildmat.2021.123973	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2021	WANG Z;LI H;YANG D;XIONG Z;SAYED U;LORENZO R;CORBI I;CORBI O;HONG C	BAMBOO NODE EFFECT ON THE TENSILE PROPERTIES OF SIDE PRESS-LAMINATED BAMBOO LUMBER	10.1007/s00226-020-01251-9	WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
CONEXÕES	3	2021	XU Y;DONG Z;JIA C;WANG Z;LU X	BAMBOO NAIL: A NOVEL CONNECTOR FOR TIMBER ASSEMBLIES	10.32604/jrm.2021.015193	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
DESEMPENHO	3	2021	XUAN Y;LI H;BEI Z;XIONG Z;LORENZO R;CORBI I;CORBI O	NODES EFFECT ON THE BENDING PERFORMANCE OF LAMINATED BAMBOO LUMBER UNIT	10.32604/jrm.2021.015292	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS
CONEXÕES	3	2021	YANG RZ;XIAO Y	EXPERIMENTAL STUDIES ON BOLTED GLUBAM CONNECTIONS	10.1177/13694332211017996	ADVANCES IN STRUCTURAL ENGINEERING

GRAU DE IMPORTÂNCIA		ANO	AUTOR	TITLE	DOI	JOURNAL
CONEXÕES	3	2021	YE H;ASANTE B;SCHMIDT G;KRAUSE A;ZHANG Y;YU Z	INTERFACIAL BONDING PROPERTIES OF THE ECO-FRIENDLY GEOPOLYMER-WOOD COMPOSITES: INFLUENCES OF EMBEDDED WOOD DEPTH, WOOD SURFACE ROUGHNESS, AND MOISTURE CONDITIONS	10.1007/s10853-021-05775-8	JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE
PROPRIEDADES LAMINADO	3	2021	ZHANG H;LI H;HONG C;XIONG Z;LORENZO R;CORBI I;CORBI O	SIZE EFFECT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF LAMINATED BAMBOO LUMBER	10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003776	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING
FABRICAÇÃO	1	2022	TIANCHENG YUAN; XINZHOU WANG; ZHICHAO LOU; TAO ZHANG; XIN HAN; ZHAOSHUN WANG; XIAOMENG HAO; YANJUN LI	COMPARISON OF THE FABRICATION PROCESS AND MACRO AND MICRO PROPERTIES OF TWO TYPES OF CRACK-FREE, FLATTEN BAMBOO BOARD	10.1016/j.conbuildmat.2021.125949	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS
DESEMPENHO	3	2022	ZHOU K;LI H;DAULETBEK A;YANG D;XIONG Z;LORENZO R;ZHOU K;CORBI I;CORBI O	SLENDERNESS RATIO EFFECT ON THE ECCENTRIC COMPRESSION PERFORMANCE OF CHAMFERED LAMINATED BAMBOO LUMBER COLUMNS	10.32604/jrm.2021.017223	JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS

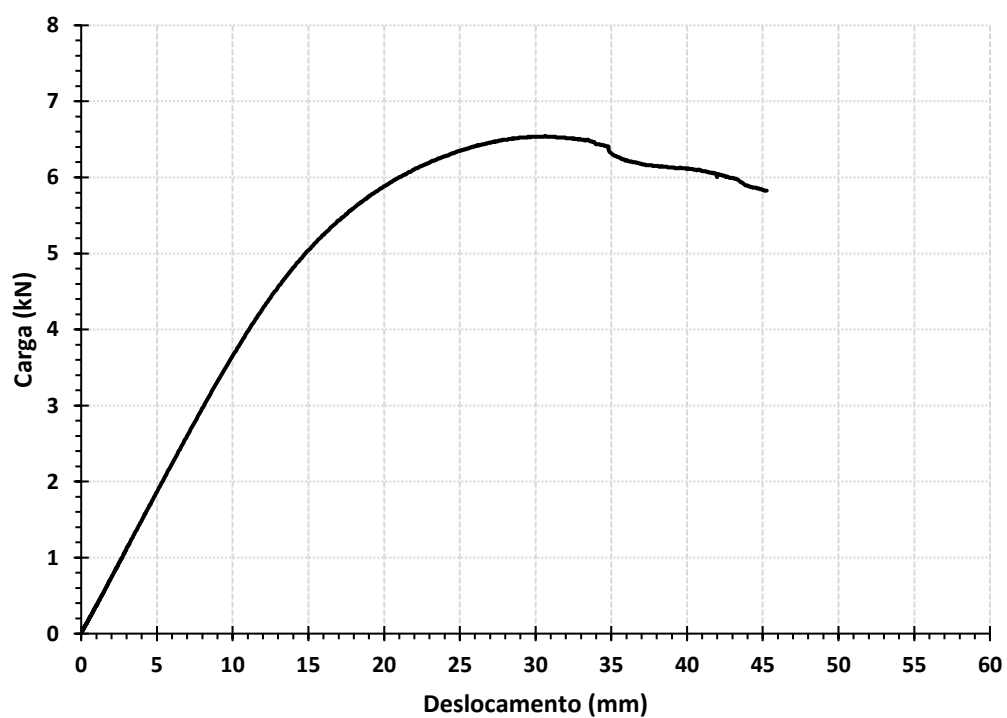
Fonte: Própria autoria.

APÊNDICE C - CURVAS DE FLEXÃO DOS CORPOS DE PROVA

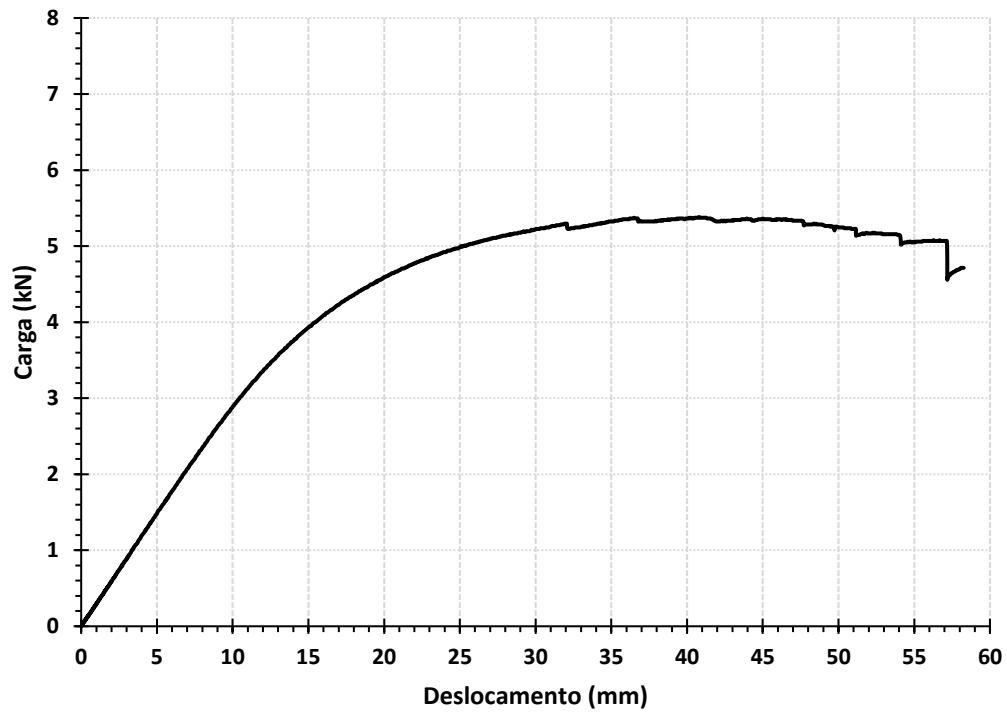
Curva de flexão dos corpos de prova LCR.



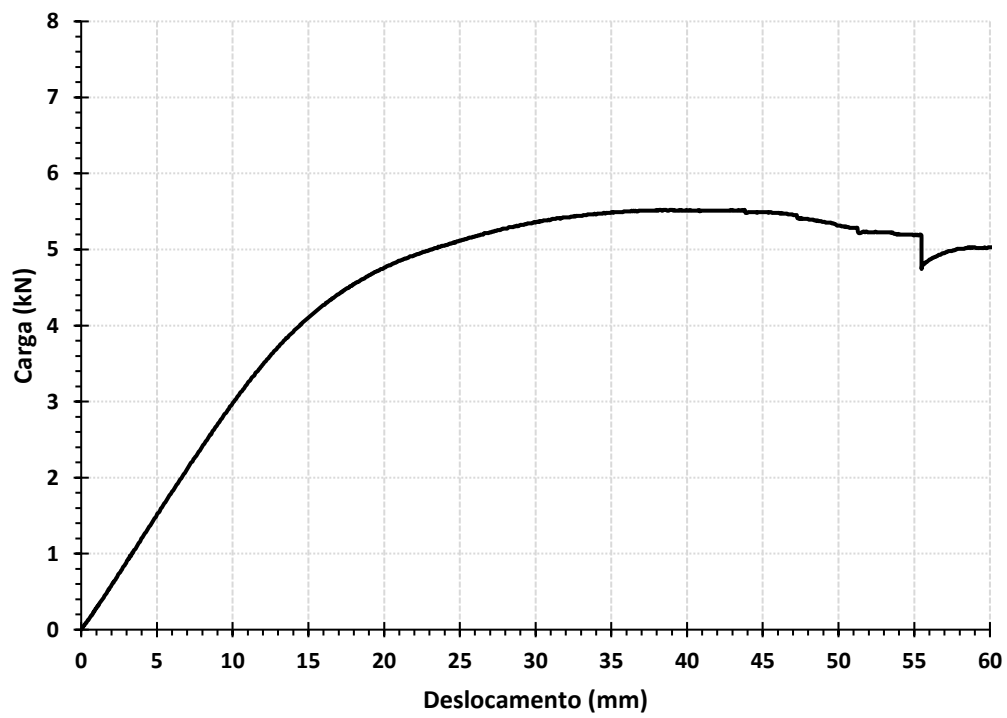
LCR 1



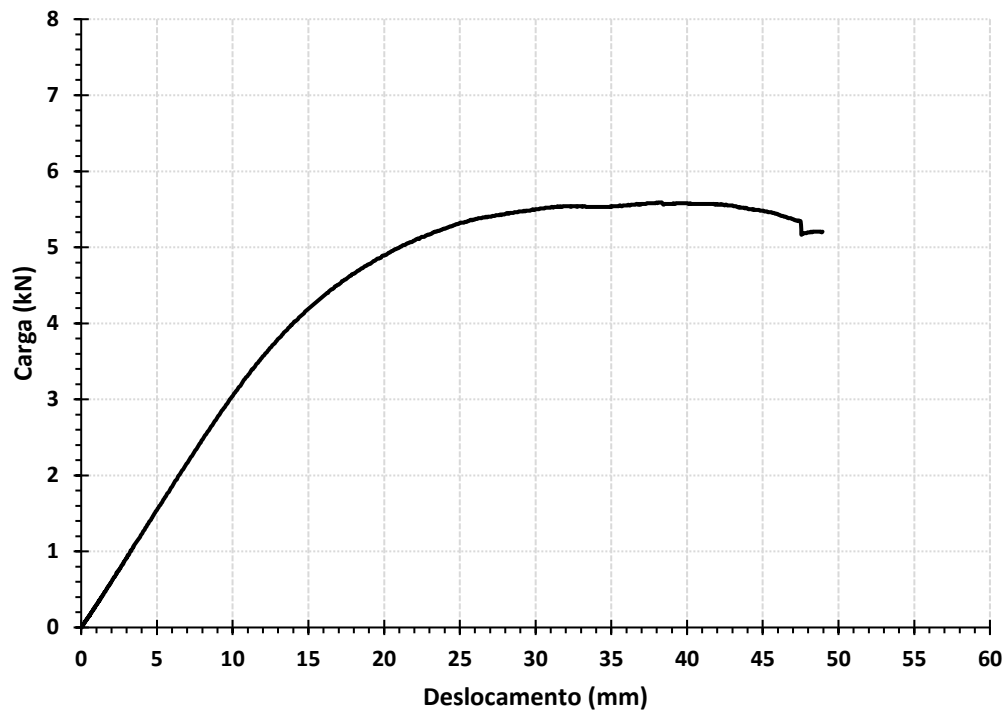
LCR 2



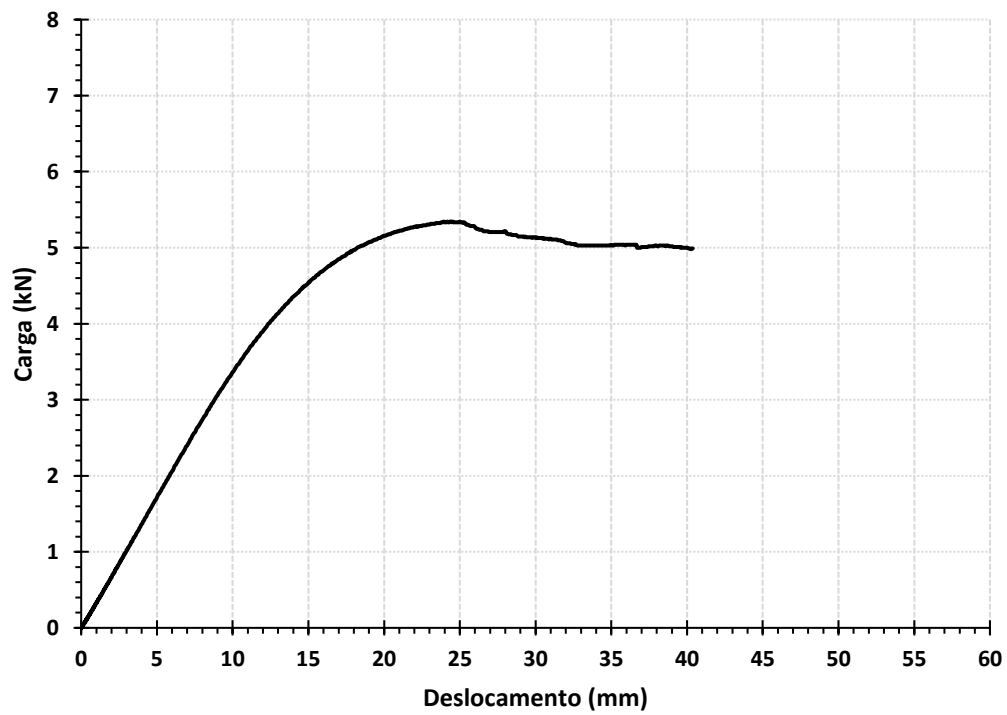
LCR 3



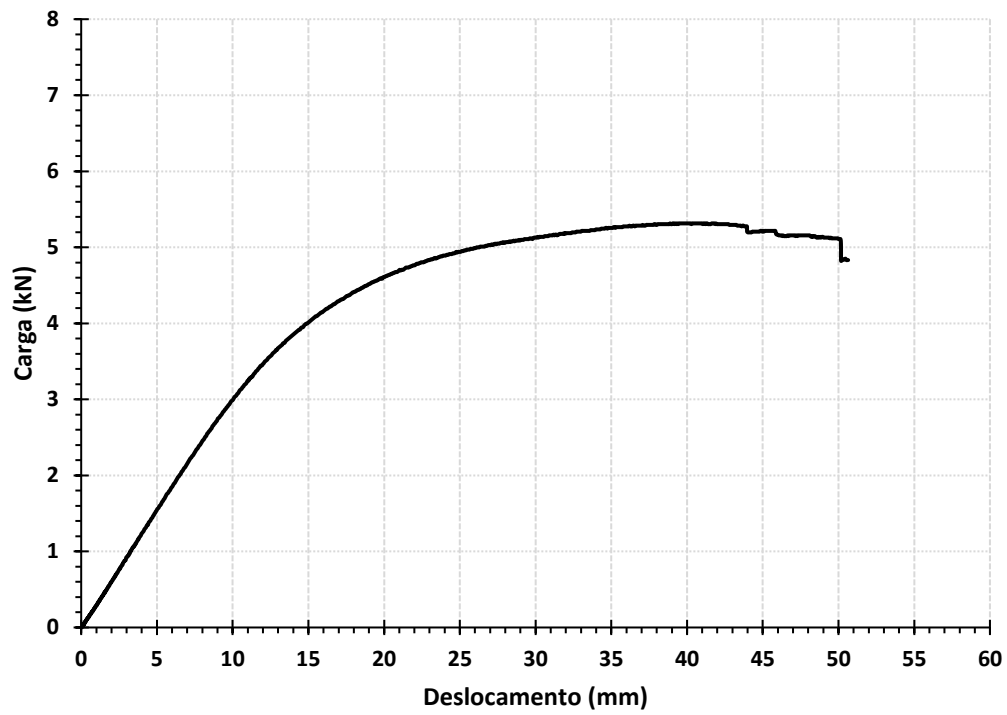
LCR 4



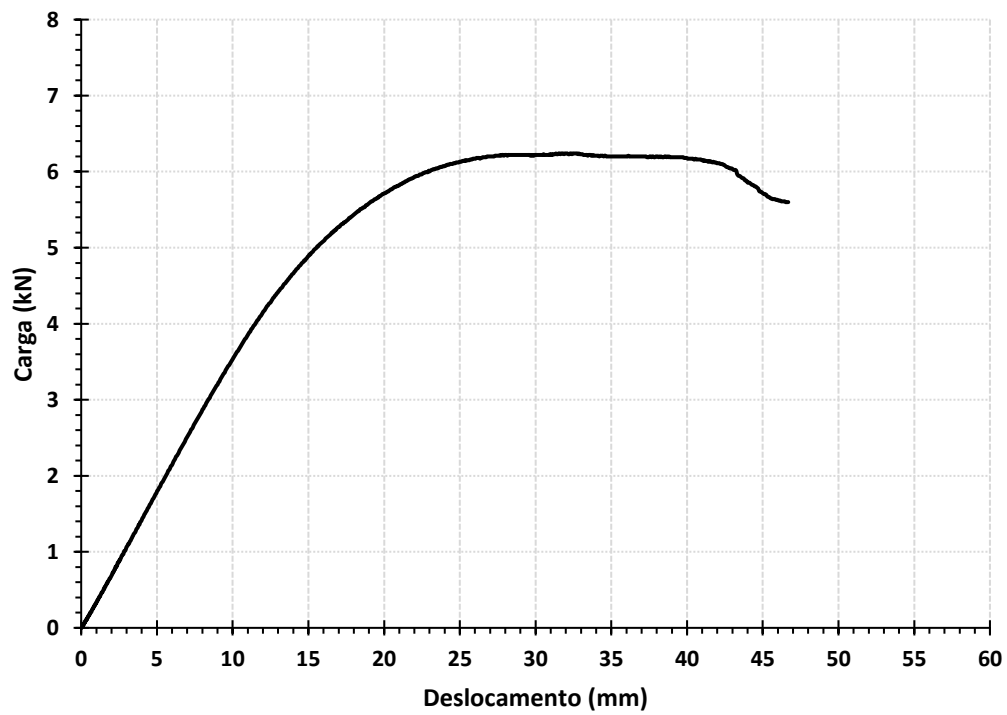
LCR 5



LCR 6



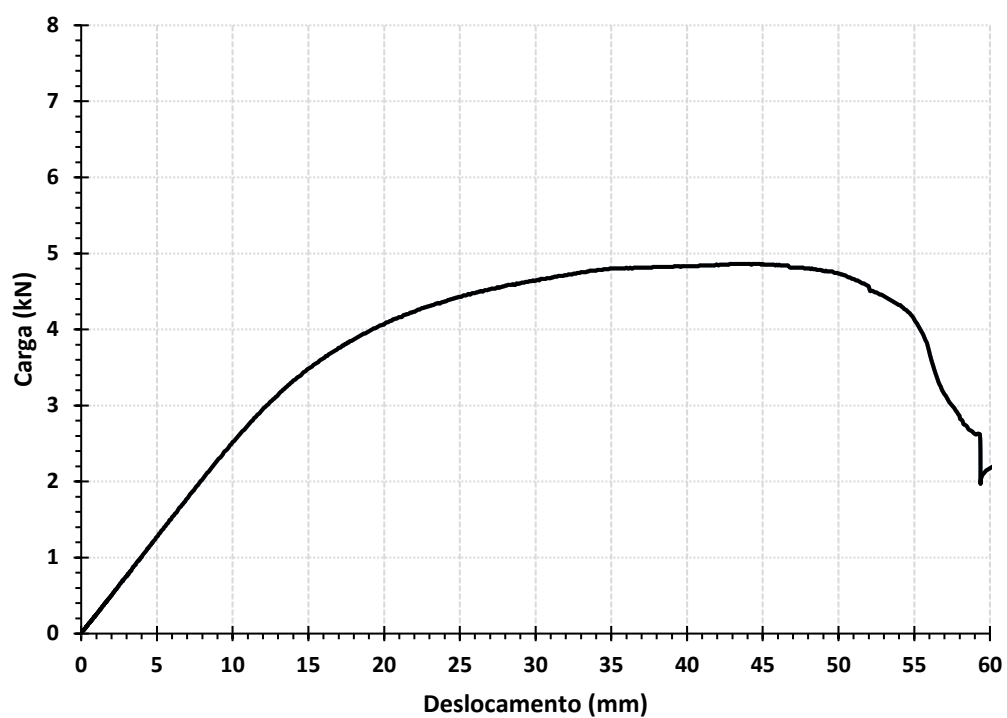
LCR 7



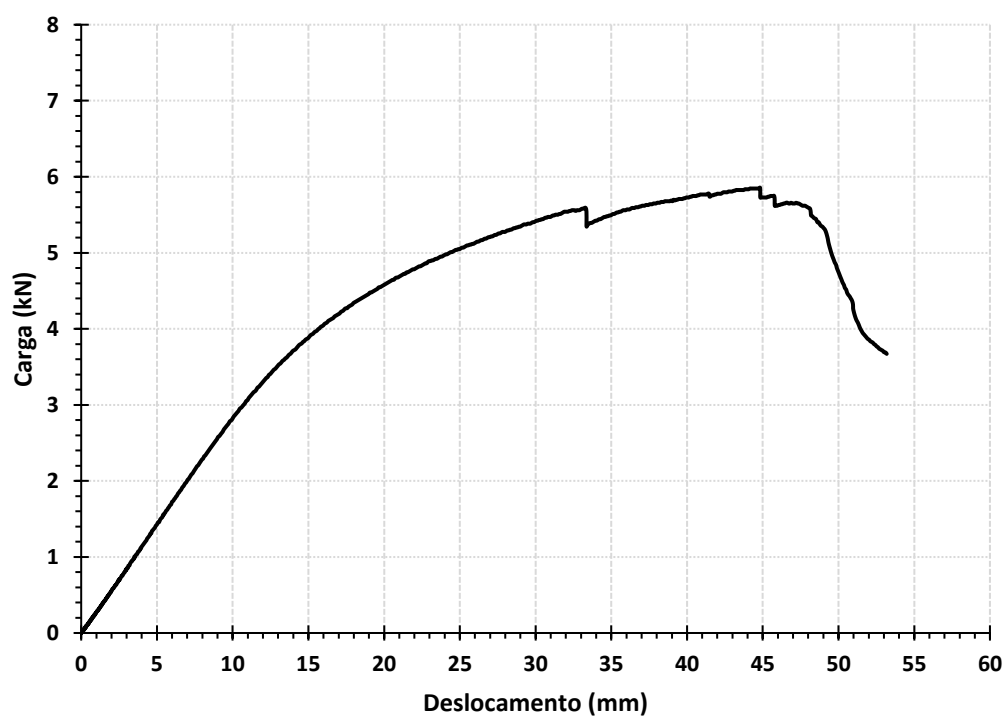
LCR 8

Fonte: Própria autoria.

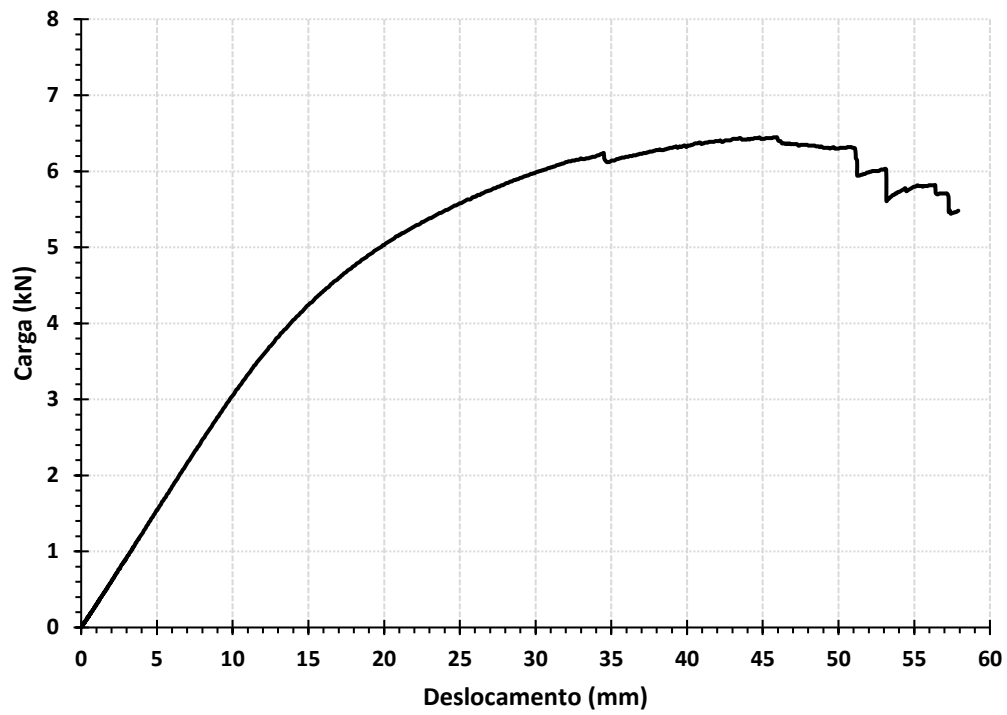
Curva de flexão dos corpos de prova LCA.



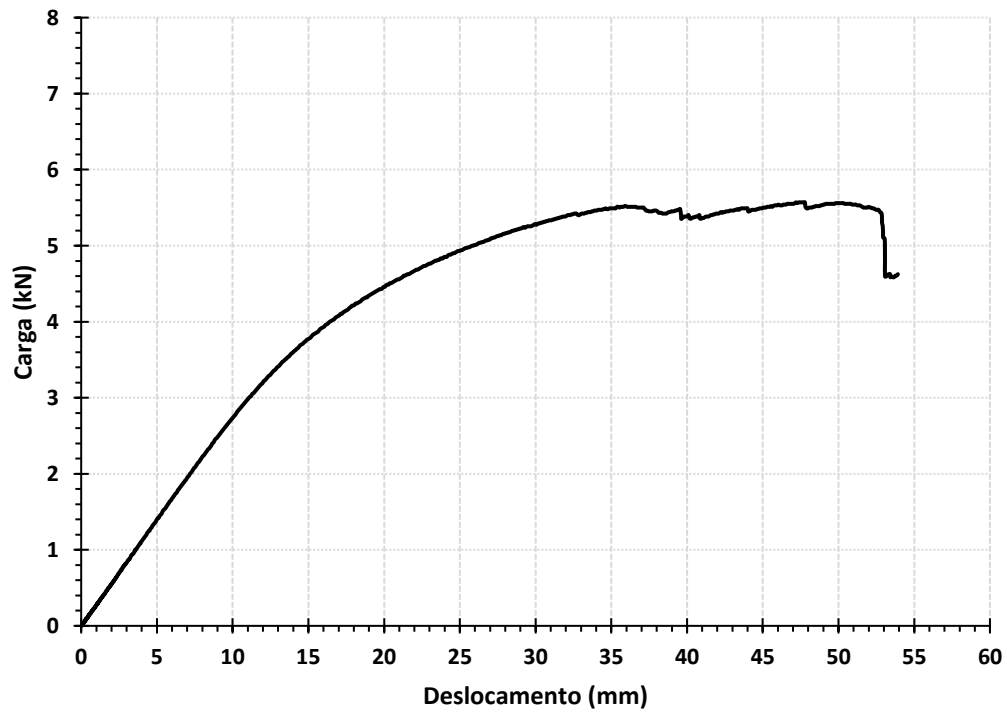
LCA 1



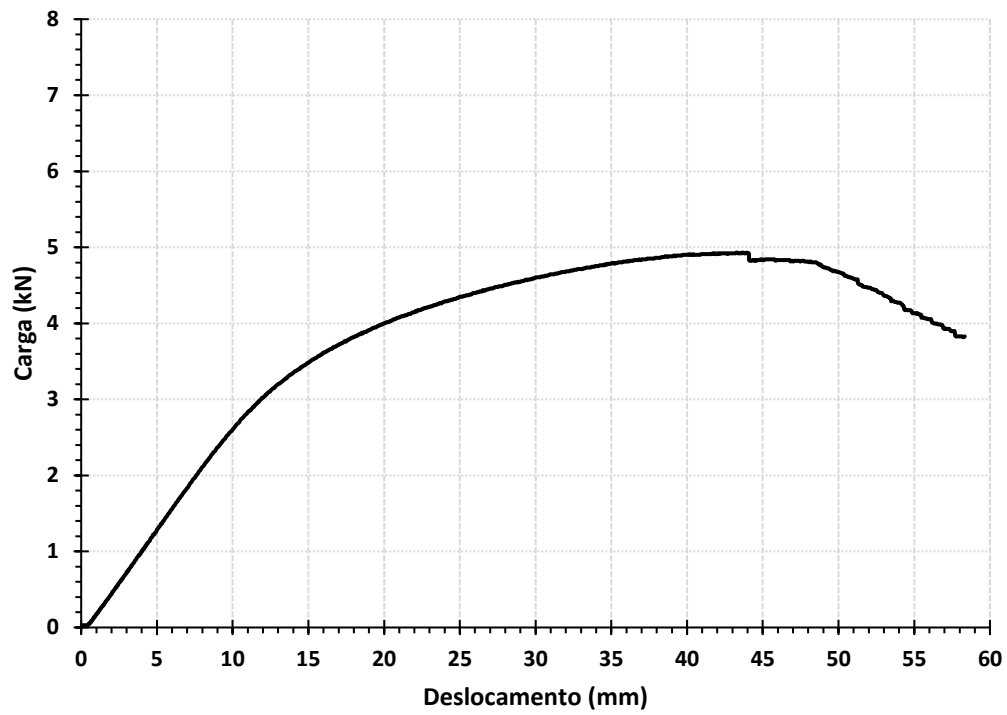
LCA 2



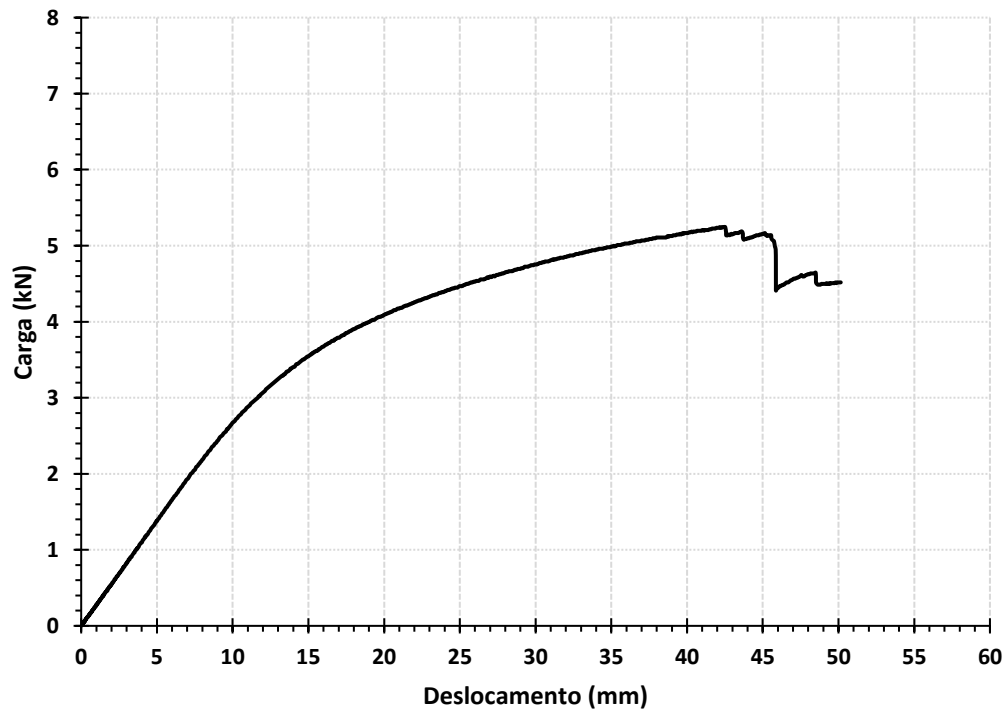
LCA 3



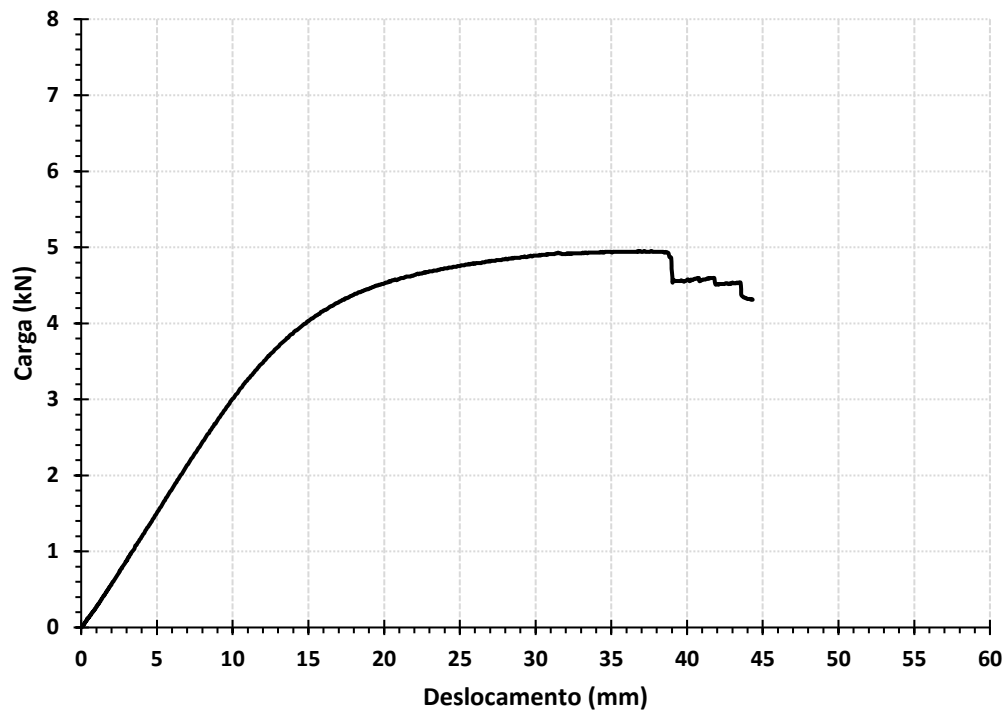
LCA 4



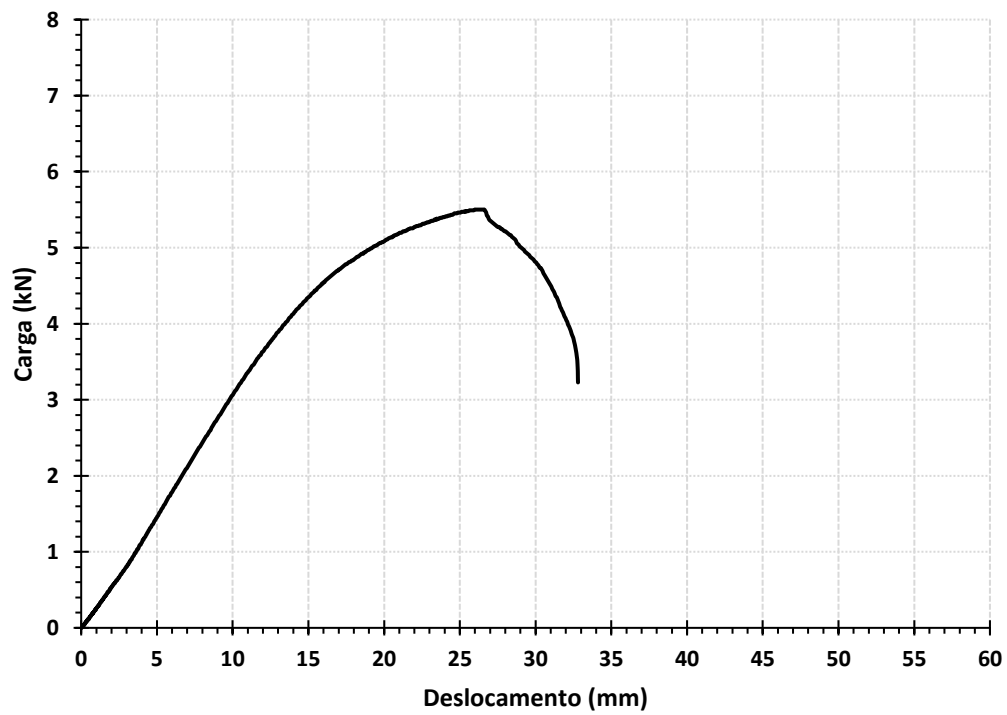
LCA 5



LCA 6



LCA 7

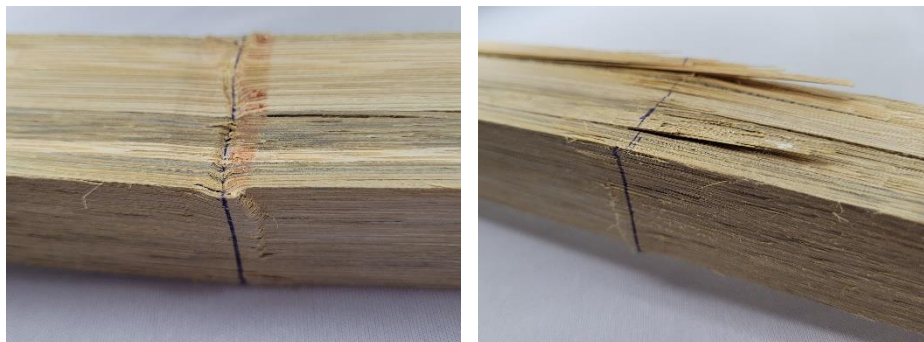


LCA 8

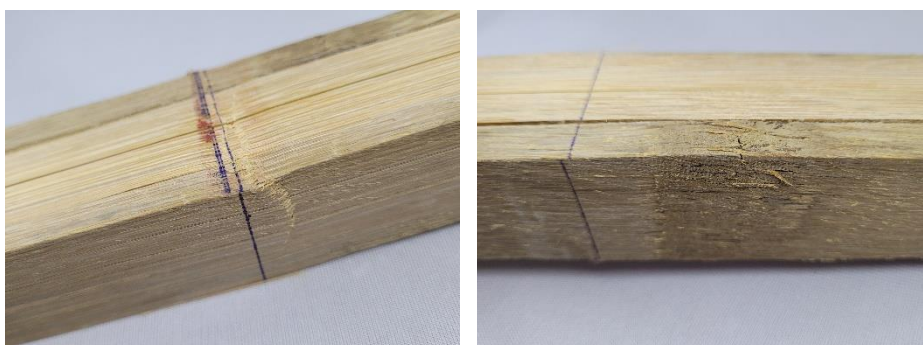
Fonte: Própria autoria.

APÊNDICE D - LOCALIZAÇÃO DO MODO DE FALHA TÍPICO DE FLEXÃO DOS CORPOS DE PROVA

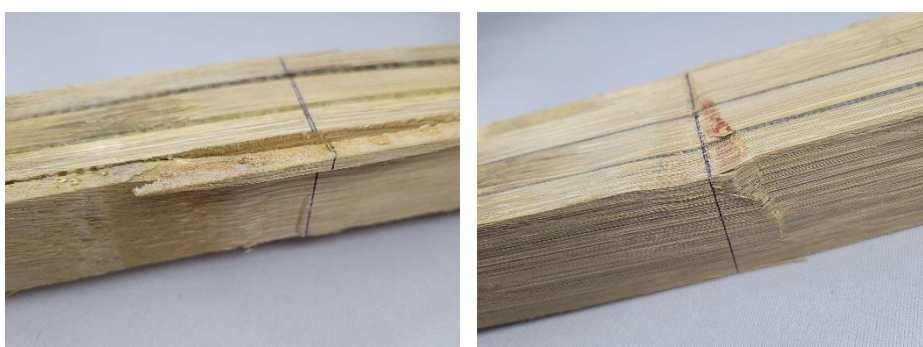
Localização do modo de falha típico de flexão dos corpos de prova LCR.



LCR 1



LCR 2



LCR 3



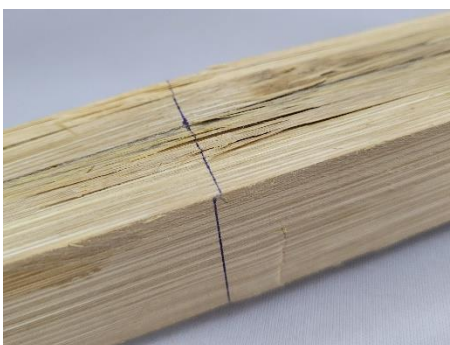
LCR 4



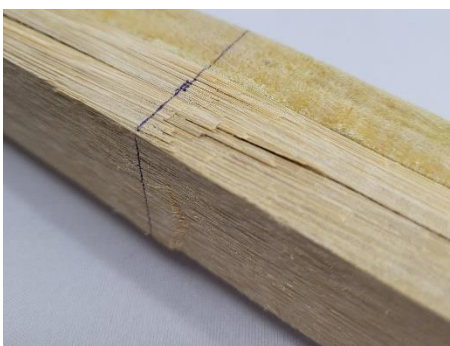
LCR 5



LCR 6



LCR 7



LCR 8

Fonte: Própria autoria.

Localização do modo de falha típico de flexão dos corpos de prova LCA.



LCA 1



LCA 2



LCA 3



LCA 4



LCA 5



LCA 6



LCA 7

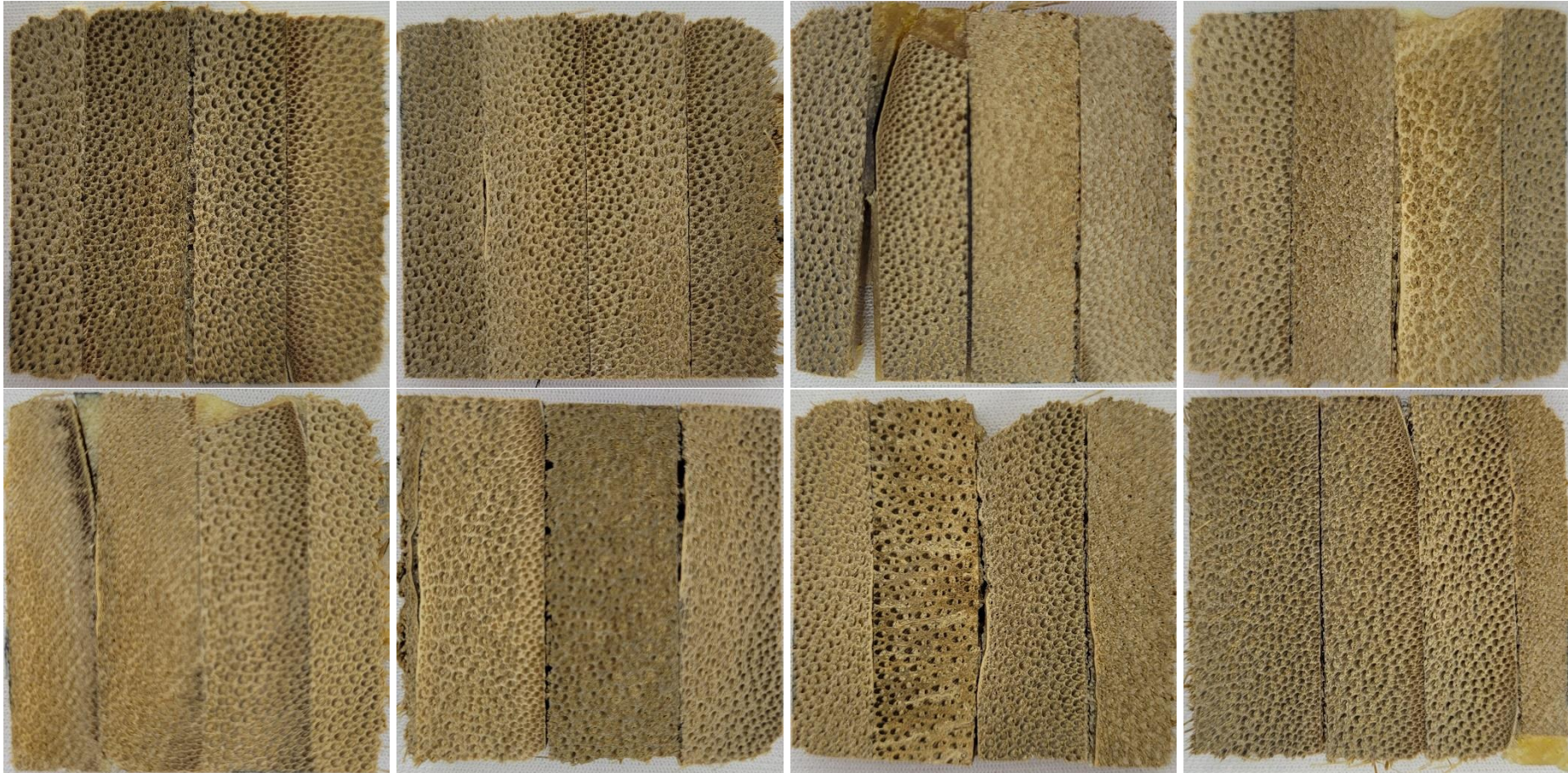


LCA 8

Fonte: Própria autoria.

APÊNDICE E - SEÇÃO TRANSVERSAL DOS CORPOS DE PROVA

Seção transversal dos corpos de prova LCR do 1 ao 8, respectivamente.



Fonte: Própria autoria.

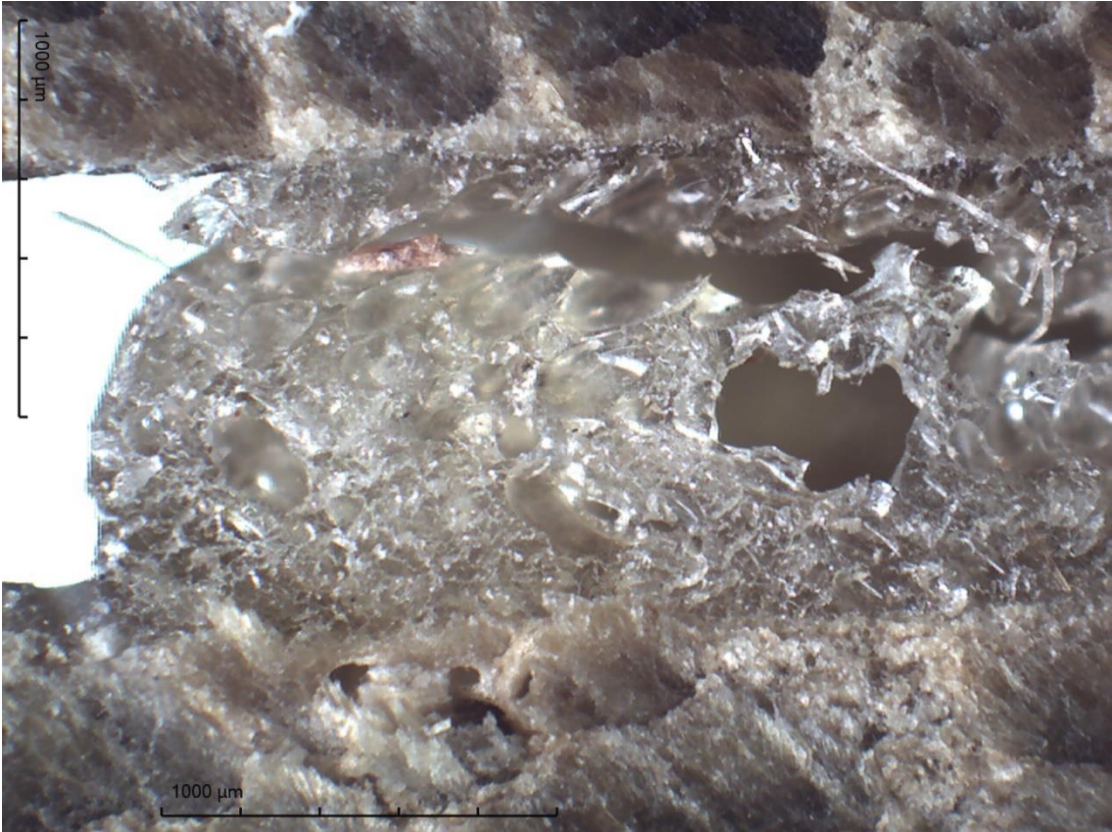
Seção transversal dos corpos de prova LCA do 1 ao 8, respectivamente.

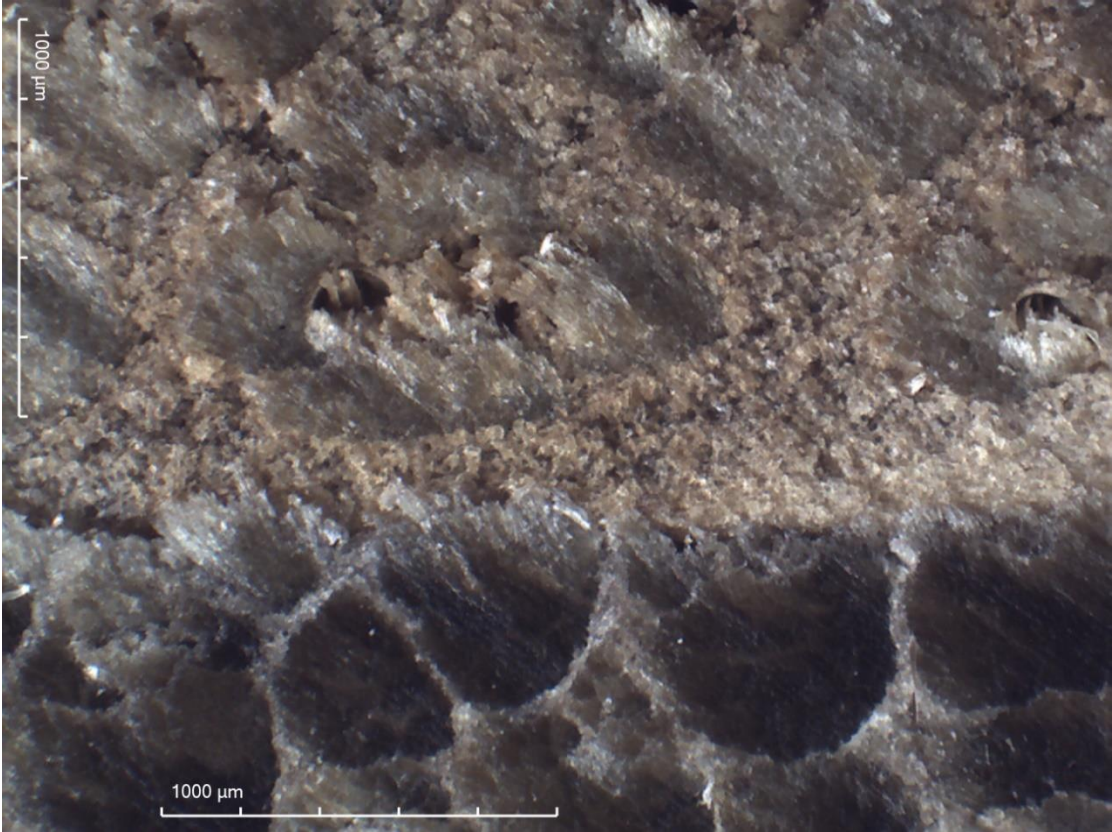


Fonte: Própria autoria.

APÊNDICE F - MICROSCOPIA ÓPTICA DOS CORPOS DE PROVA

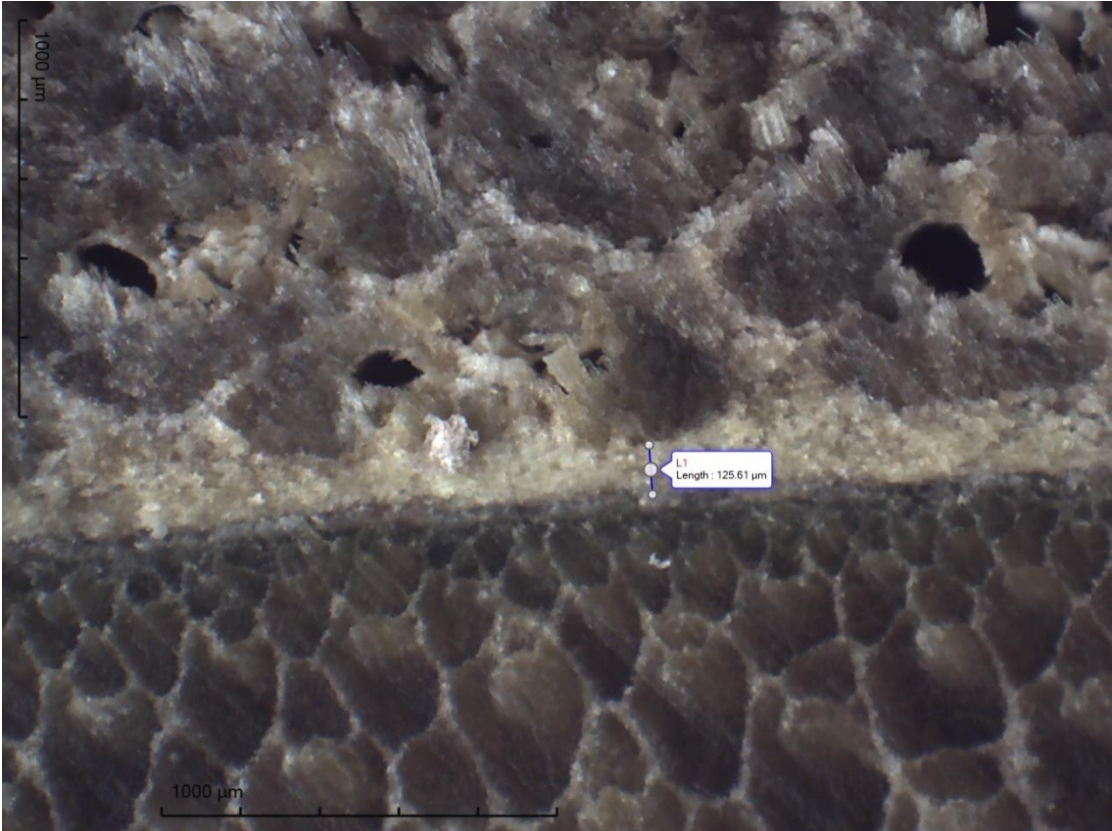
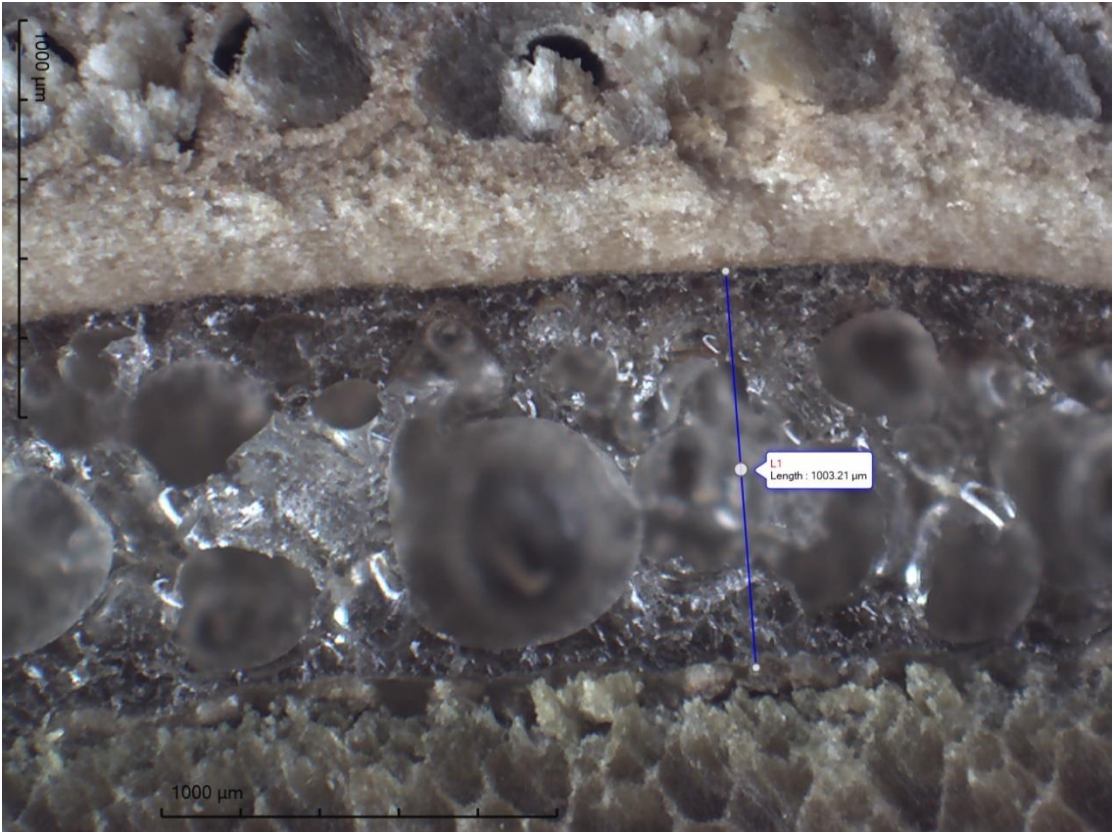
Microscopia ótica dos corpos de prova LCR.

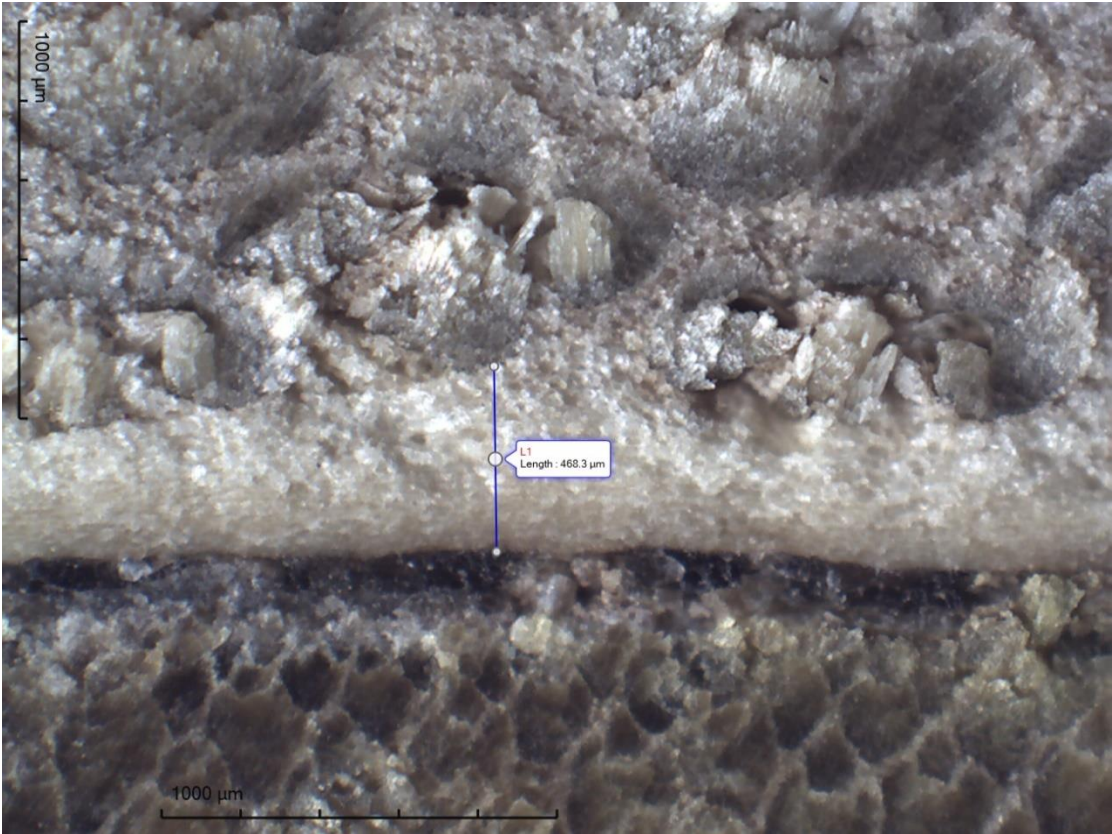




Fonte: Própria autoria.

Microscopia ótica dos corpos de prova LCA.





Fonte: Própria autoria.