

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MILLENE SAMPAIO MENEZES

AVALIAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA QUALIDADE DA MADEIRA
LAMINADA COLADA DE CAXINGUBA (*Ficus* sp.)

ITACOATIARA – AM
2023

MILLENE SAMPAIO MENEZES

AVALIAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA QUALIDADE DA MADEIRA
LAMINADA COLADA DE CAXINGUBA (*Ficus* sp.)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Victor Fassina Brocco
Coorientadora: Dra. Flávia Maria Silva Brito

ITACOATIARA – AM

2023

MILLENE SAMPAIO MENEZES

**AVALIAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA QUALIDADE DA MADEIRA LAMINADA
COLADA DE CAXINGUBA (*Ficus* sp.)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 21 de agosto de 2023

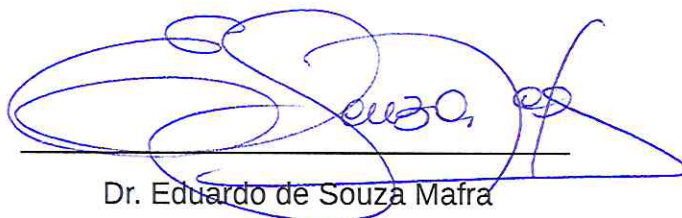
BANCA EXAMINADORA



Dr. Victor Fassina Brocco

Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Orientador



Dr. Eduardo de Souza Mafra

Universidade do Estado do Amazonas – UEA



Dr. Anízio de Araújo Cavalcante

Universidade do Estado do Amazonas – UEA

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a oportunidade de viver.

Aos meus avós Lindomar Martins e Mauro Menezes pela criação e educação que me concederam. Aos meus pais Simone Sampaio e Maurimar Menezes pelo exemplo, cuidado e amor.

Aos meus irmãos Íveny e Murillo pela infância repleta de histórias; Elyse e Mayra por me ensinarem a ser irmã mais velha e Joaquim pelo carinho e pelos abraços.

Ao meu companheiro de todas as horas, Erik Bragança pelo apoio, confiança, amor e por fazer meus dias serem mais tranquilos. Amo você.

A minha coorientadora, Dra. Flávia Brito que foi fundamental na realização deste trabalho quero expressar minha profunda gratidão pela ajuda, ensinamentos e correções.

Ao meu orientador Prof. Dr. Victor Fassina, por ter aceitado, ajudado e acompanhado o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do CESIT, que por todos esses anos de graduação fizeram parte da minha trajetória.

Ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) por disponibilizar o Laboratório de Resistência dos Materiais para os ensaios mecânicos. Ao técnico Daniel Passos de Oliveira pelos dias dedicados a realização deste trabalho, agradeço imensamente.

Ao proprietário da serraria Dois Irmãos, Gerson Galvão, pela gentileza e doação da madeira de caxinguba.

Aos amigos que a UEA me deu: Erika Freire, Everton Pereira e Zack Silva pelas conversas, risadas, apoio e por todos os trabalhos que fizemos juntos.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia da Madeira: Marcelly Cristina, Sebastiana Braga e Jucimar Gomes por toda a ajuda e aprendizado.

Finalmente, a todos que contribuíram de certa forma na realização deste trabalho, meu total respeito e agradecimento a todos.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da temperatura nas características físico-mecânicas do laminado colado produzido com madeira de caxinguba modificada termicamente. A madeira foi proveniente de doações de uma serraria localizada à margem do Rio Amazonas, no município de Itacoatiara (AM). A madeira foi transformada em amostras e ripas. As amostras foram destinadas a identificação macroscópica, caracterização do teor de umidade, densidade básica e densidade aparente. As ripas foram cortadas com dimensões de 37,0 x 0,4 x 4,0 cm (comprimento x espessura x largura) para produção do laminado colado. O material foi modificado termicamente em uma estufa com circulação de ar forçado. Os tratamentos consistiram na aplicação das seguintes temperaturas: 120°C, 140°C e 160 °C, além do tratamento controle (100 °C). Foi quantificado o teor de umidade das ripas tratadas e perda de massa de cada tratamento. Para a colagem do laminado colado foram utilizadas quatro ripas da madeira orientadas no sentido paralelo as fibras. Utilizou-se resina a base de uréia-formaldeído (UF) com gramatura de 300 g/m² (linha simples). Foram realizados ensaios físicos (teor de umidade, densidade básica e aparente e retratibilidade) e mecânicos (flexão estática e compressão paralela). As propriedades físicas demonstraram que o teor de umidade do LCTC tratado com temperatura de 160 °C evidenciou menor valor. A densidade básica não sofreu influência do tratamento térmico. A densidade básica e a retratibilidade não sofreram influência da modificação térmica. Para as propriedades mecânicas observou-se que a modificação térmica da madeira melhorou significativamente os valores de compressão e módulo de ruptura, enquanto o módulo de elasticidade evidenciou uma tendência de melhoria com o tratamento, em relação ao controle. Recomenda-se a utilização do laminado colado para elementos não estruturais, como paredes divisórias, móveis e cabos de ferramentas, forro, além de equipamentos de tecnologias assistivas, como muletas, bengalas e andadores.

Palavras-chave: Temperatura. MLC. Uréia-formaldeído. Ensaio físico-mecânico.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of temperature on the physical-mechanical characteristics of glued laminate produced with thermally modified caxinguba wood. The wood came from donations from a sawmill located on the banks of the Amazon River, in the municipality of Itacoatiara (AM). The wood was transformed into samples and slats. The samples were intended for macroscopic identification, characterization of moisture content, basic density and apparent density. The slats were cut with dimensions of 37,0 x 0,4 x 4,0 cm (length x thickness x width) to produce the glued laminate. The material was thermally modified in an oven with forced air circulation. The treatments consisted of the application of the following temperatures: 120°C, 140°C and 160 °C, in addition to the control treatment (100 °C). The moisture content of the treated slides and weight loss of each treatment were quantified. For bonding the glued laminate, four wood veneers oriented parallel to the fibers were used. Resin based on urea-formaldehyde (UF) with a grammage of 300 g/m² (single line) was used. Physical (moisture content, basic and apparent density and shrinkage) and mechanical (static bending and parallel compression) tests were carried out. The physical properties showed that the moisture content of GLCT treated at a temperature of 160 °C showed a lower value. The basic density was not influenced by heat treatment. Basic density and shrinkage were not influenced by thermal modification. For the mechanical properties it was observed that the thermal modification of the wood significantly improved the values of compression and modulus of rupture, while the modulus of elasticity showed a trend of improvement with the treatment, in relation to the control. It is recommended to use glued laminate for non-structural elements, such as dividing walls, furniture and tool handles, lining, in addition to assistive technology equipment, such as crutches, canes and walkers.

Keywords: Temperature. GLT. Urea-formaldehyde. Physical-mechanical tests.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Geral.....	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Setor Florestal e a Região Amazônica	11
2.2. Madeira Laminada Colada (MLC)	12
2.3. Adesivos	13
2.3.1. Uréia-formaldeído.....	14
2.4. Caxinguba (<i>Ficus</i> sp.)	15
2.5. Modificação térmica	16
3. METODOLOGIA	17
3.1. Coleta da madeira, processamento mecânico e secagem das ripas	17
3.2. Caracterização macroscópica	18
3.3. Ensaio físicos da madeira residual de caxinguba	18
3.3.1. Teor de umidade.....	18
3.3.2. Densidade básica.....	19
3.3.3. Densidade aparente.....	19
3.4. Modificação térmica das ripas de madeira	20
3.5. Determinação do teor de sólidos do adesivo	21
3.6. Aplicação do adesivo, prensagem, produção da MLC	21
3.7. Propriedades físicas e mecânicas	23
3.9. Análise e avaliação dos resultados	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Caracterização Macroscópica da madeira de <i>Ficus</i> sp.	26
4.2. Teor de Umidade, densidade básica e aparente da madeira de caxinguba	27
4.3. Modificação da cor da madeira após o processo de modificação térmica	28
4.4. Teor de umidade e perda de massa das ripas tratadas	29
4.5. Propriedades físicas do laminado colado	31

4.6. Propriedades mecânicas do laminado colado	32
5. CONCLUSÕES.....	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um recurso natural renovável com um vasto leque de utilizações e baixo consumo de energia durante o seu processamento industrial, por isso se tornou um material com uma procura crescente e importante para englobar questões ambientais que atualmente é uma preocupação mundial (Lilge; Haselein; Santini, 2021). A utilização deste material é a base de inúmeras atividades produtivas e devido a suas propriedades físicas e mecânicas, seu uso deve levar em consideração suas características, de forma a atingir o rendimento e qualidade desejados do produto final (Gonçalves *et al.*, 2021).

Devido às suas características a madeira pode ser empregada em diferentes ramos de atividade, desde o desdobramento primário como corte, passando pela indústria de transformação das suas peças até a indústria que utiliza os seus elementos como matéria-prima, como as indústrias de celulose que fabricam além do papel, outros produtos utilizados no cotidiano (Pereira, 2014).

Existem alguns derivados de madeira, como por exemplo as lâminas, que unidas por adesivo dão origem a produtos engenheirados. Dentre estes destacam-se a madeira laminada colada (MLC) que é produzida por meio da associação de lamelas de madeiras selecionadas, dispostas de forma que as fibras fiquem paralelas e unidas com adesivos sob pressão (Pfeil; Pfeil, 2003). É um produto versátil que pode apresentar alta resistência a solicitações mecânicas por causa de seu peso próprio que é relativamente baixo (Zangiácomo, 2003).

De acordo com Segundinho *et al.* (2011), algumas dicotiledôneas de baixa massa volumétrica pode gerar elementos para produção de MLC. Desta forma indica-se a madeira de caxinguba (*Ficus* sp.), que atende a este requisito, além de ter grande disponibilidade na região em que foi desenvolvida esta pesquisa. Conforme Lima *et al.* (1995), é uma espécie de diversas utilidades, embora a literatura seja escassa em informações em relação as suas propriedades tecnológicas, o que também caracteriza esta pesquisa como inovadora, em relação a produção de laminado colado com esta espécie.

Dentre alguns tratamentos que podem ser aplicados na madeira, com o objetivo de melhorar suas propriedades, destaca-se a modificação térmica, que consiste em submeter o material em altas temperaturas, inferiores à sua combustão que provocam o início da degradação de seus constituintes químicos fundamentais,

principalmente as hemiceluloses (Brito *et al.* 2018). Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da temperatura nas características físico-mecânicas do laminado colado produzido com madeira de caxinguba modificada termicamente.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da temperatura nas características físico-mecânicas do laminado colado produzido com madeira de caxinguba modificada termicamente.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar macroscopicamente a madeira de caxinguba.
- b) Determinar o teor de umidade, densidade básica e densidade aparente da madeira.
- c) Produzir o laminado colado modificado termicamente utilizando adesivo a base de uréia-formaldeído (UF).
- d) Avaliar o teor de umidade e perda de massa das ripas tratadas.
- e) Avaliar as propriedades físicas e de resistência a compressão paralela e flexão estática do laminado colado produzido com madeira de caxinguba modificada termicamente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Setor Florestal e a Região Amazônica

O Brasil é o segundo país com maior área florestal do mundo. Sua variabilidade em biodiversidade é imensa, abarcando diversas tonalidades, aromas, texturas, resistências e desempenho (Okimoto *et al.*, 2023). Destaca-se que o país tem algumas vantagens em relação à silvicultura tais como: extensão territorial, riqueza de recursos naturais (fauna, flora, bacias hidrográficas), condições edafoclimáticas e alto nível de tecnologia silvicultural que contribui para o crescimento do setor madeireiro. (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2012).

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022) o setor florestal foi responsável por 9,93 milhões de hectares de áreas cultivadas destinadas às indústrias e no ano de 2021 teve seu PIB (Produto Interno Bruto) nacional chegando a R\$244,6 bilhões. As práticas de manejo das florestas têm a premissa de ser um serviço sustentável, isso faz com que a diversidade biológica seja conservada e cause impactos socioeconômicos positivos, por isso o setor madeireiro evoluiu nos últimos anos buscando uma produção sustentável e significativa utilizando-se de matéria-prima de florestas renováveis (IBÁ, 2016).

De acordo com Veras e Buenafrunte (2019), a Amazônia oferece um potencial favorável devido a sua extensa cobertura florestal, e apesar do processo de exploração atrelado a práticas não certificadas contribuir com a alteração parcial da floresta, ela é responsável pela geração de emprego e renda da região. Atualmente o setor madeireiro tem relevância no peso no Produto Interno Bruto (PIB) da região Amazônica e contribui de forma significativa com o comércio exterior de todos os estados que compõe a Amazônia legal. Segundo Santos, Santos e Veríssimo (2022), o PIB Real da Amazônia Legal totalizou R\$ 650 bilhões em 2019, o que representa apenas 8,8% do PIB brasileiro.

Hummel *et al.* (2010) explicam que o impulso do crescimento do setor madeireiro e a importância de atividades na região se deram diante de três fatores: a abertura de estradas, possibilitando o acesso a floresta que antes era restrito; custo de aquisição baixo; e o esgotamento dos estoques madeireiros do sul do país. Com o aumento da exploração ilegal e a procura da manutenção da floresta, a

certificação ambiental ganhou destaque no setor madeireiro, a qual consiste em um conjunto de normas e regras relacionadas aos processos de extração e de produção, que procuram minimizar o impacto no meio ambiente (Prates; Tripoli, 2015).

2.2. Madeira Laminada Colada (MLC)

A madeira é um material largamente utilizado na construção civil e também como elemento estrutural, porém em alguns casos, não possui homogeneidade em sua estrutura e dispõe de alguns defeitos, o que reduz sua resistência e elasticidade, e impede sua utilização completa. Outros fatores que limitam sua utilização é a higroscopicidade e anisotropia, principalmente em edifícios onde a altura da estrutura é um desafio a ser vencido. Diante destes fatores foi desenvolvido um material engenheirado que pudesse contornar estes desafios, como a madeira laminada colada (Ayanleye *et al.* 1998; Stamato, 2021).

A MLC pode ser definida como sendo um elemento composto de pequenas peças de madeira, transformadas em ripas e unidas por meio de cola, onde a posição das fibras das lâminas é paralela ao comprimento da peça. A lâmina pode ser reta ou curva, com seção transversal variada, possibilitando uma infinidade de opções versáteis em projetos. As espessuras das lâminas de madeira variam entre 1cm e 5cm, coladas entre si por meio de um adesivo a prova d'água (ABNT NBR 7190-1, 2022) que garantirá a rigidez e resistência da peça. Peças constituídas de MLC são largamente utilizadas na construção como vigas e pilares (Carrasco; Bremer; Mantila, 2020).

Rivero (2003), aponta algumas vantagens da utilização de MLC: a espessura das tábuas permite secagem mais regular, com melhor controle da umidade desejada a seção transversal das peças pode variar de acordo com as tensões solicitantes na seção, evitando gastos excessivos de material, assim podendo ser utilizado todo o produto e alta resistência ao fogo quando comparada aos materiais como aço e concreto. Jesus e Calil Jr (2002) citam ainda a facilidade de construir grandes estruturas. A resistência da MLC é oriunda da união das lâminas, por meio de cola e da gramatura utilizada que aumenta a respostas as solicitações de esforços (Depieri; Santos; Costa, 2018).

Torres (2010), aponta a importância do processo de secagem das lâminas da madeira, onde deve haver um controle rigoroso no percentual de umidade presente, em que não é recomendado a adoção de coeficientes maiores que 16%, com o intuito de evitar a ocorrência de fendilamentos futuros, devido ao processo de retração.

As madeiras mais utilizadas para produção da MLC são Pinus e Eucalipto, largamente cultivadas em florestas plantadas no Brasil (IBÁ, 2022), por esta razão, Luz *et al.* (2020) destacam que o fortalecimento do uso da MLC pode torná-la mais atrativa economicamente, incentivando-a na Construção Civil das grandes cidades, fomentando o uso de um material mais sustentável. Assim a utilização cresce diante da demanda do mercado.

É essencial a realização de estudos quanto ao desempenho e aplicação da MLC, a fim de usar de forma adequada estruturalmente esse elemento. As análises são necessárias para auxiliar no desenvolvimento de abordagens analíticas que consigam discorrer com precisão o comportamento deste produto (Gomes; Gomes; Hackenberg, 2020).

2.3. Adesivos

Os adesivos são um dos principais constituintes na produção de painéis, em razão das propriedades físicas e mecânicas que proporcionam. Os adesivos para madeira têm uma função muito importante na indústria de produção de painéis à base de madeira. Adesivos sintéticos à base de formaldeído, como uréia-formaldeído, fenol-formaldeído (PF) e resinas de melamina-formaldeído, são geralmente usadas para produção de compósitos de madeira (Faris *et al.*, 2016).

A NBR 7190 (ABNT, 2022) recomenda que o adesivo deve ser à prova d'água, contudo para a escolha deve-se levar em consideração o meio em que a estrutura será submetida, ou seja, temperatura e teor de umidade, sendo preciso escolher um adesivo que tenha no mínimo a mesma durabilidade que o elemento em MLC.

Mendonza *et al.* (2017), comentam que a qualidade da colagem é verificada pela linha de cola, a qual serve para predizer o desempenho do adesivo, quando submetido à aplicação de esforços. Isso varia desde as propriedades do adesivo utilizado até a característica da madeira, o que irá conferir um produto de qualidade.

Algumas propriedades físicas e químicas dos adesivos influenciam o processo de colagem, tais como viscosidade, teor de substâncias sólidas, pH, tempo de trabalho e tempo de formação de gel (Almeida *et al.*, 2010). Por esta razão é indispensável testar todas estas propriedades, pois são fatores que podem interferir no processo de colagem.

Os adesivos sintéticos são classificados em termofixos e termoplásticos. Os adesivos termoplásticos são adesivos resistentes somente a mudanças físicas, podendo ser modificados pela ação do calor ou solventes, sendo o poli acetato de vinila (PVAc) e “hot melt”, os mais usados para colagem de madeiras (Pizzi; Mittal, 1994). Bianche *et al.* (2017), explicam que adesivos termofixos são aqueles que endurecem por meio de reações químicas ativadas por temperatura ou catalisadores. Nessa classificação de adesivos, destacam-se: fenol-formaldeído, uréia-formaldeído, resorcinol-formaldeído, melamina-formaldeído e poliuretanos.

Entende-se que para se obter uma MLC de boa qualidade, diversos fatores irão influenciar no seu resultado final, escolher um material com as características desejáveis é de suma importância bem como analisar a escolha do adesivo, pois este irá refletir diretamente no desempenho do produto.

2.3.1. Uréia-formaldeído

O desenvolvimento da indústria de produtos engenheirados teve grande impulso através do surgimento dos adesivos sintéticos, sendo empregados inicialmente aqueles à base de formaldeído, cuja utilização atual, ainda representa a grande maioria (Moubarik *et al.*, 2010); Silva *et al.*, 2019). Este adesivo possui coloração branca leitosa, teor de sólidos entre 64 e 66%, pH entre 7,4 a 9,0, viscosidade entre 400 a 1000cp, temperatura de cura entre 90^o a 120^oC e pode ser armazenada por 3 meses em estado líquido e até por um ano em sua fase em pó. É mais indicada para peças de madeira que são protegidas da umidade, como móveis e peças de uso interior (Iwakiri, 2005).

De acordo com Marra (1992), a resina uréia-formaldeído tem vantagem em relação ao custo, entretanto, apresenta baixa resistência à umidade, por isto é classificado como de uso interior. Os adesivos a base de UF são versáteis: podem ser formulados para curar em temperatura ambiente (20 °C) ou em temperaturas elevadas na prensa (160 °C); podem ser altamente diluídos com extensores ou

fortificados com outros adesivos e são utilizados para colagem de vários elementos da madeira, incluindo partículas, fibras, lamelas e sarrafos (Campos; Lahr, 2004; Pizzi, 1994).

Geralmente existem várias formulações para a resina. Cada fabricante disponibiliza a ficha técnica da cola, além do boletim, onde estão especificados os produtos que devem ser misturados na resina para ocorrer a reação efetivar o processo de colagem do material. É comum indicar água e farinha de trigo como extensor. Mendoza *et al.* (2017), comentam que os extensores são substâncias à base de amido e proteína que possuem certa ação adesiva e, quando misturados na composição do adesivo à base de uréia-formaldeído, contribuem para melhorar as características de viscosidade do adesivo, portanto são essenciais no processo de colagem, além de diminuir o custo do produto.

2.4. Caxinguba (*Ficus* sp.)

A caxinguba está presente principalmente em regiões Neotropicais, o gênero *Ficus* pertencente à família Moraceae é composto por cerca de 750 espécies de plantas lenhosas (Pereira, 2015). Sua ocorrência natural inclui Brasil e Peru até ao norte, sul do México, América Central e Argentina. No Brasil ocorre em todas as regiões do Norte ao Sul do País (Correa; Bernal, 1995).

Segundo Rios e Pastore Junior (2011), seus nomes populares são caxinguba, coajinguba, coaxinguba, figueira, figueira-do-brejo, figueira-branca, figueira-vermelha, gameleira, gameleira-branca, lombrigueira, mata-pau e outros. Conforme Lima *et al.* (1995), é uma espécie de diversas utilidades principalmente por seu látex que é utilizado na indústria alimentícia, na indústria farmacêutica por suas folhas e cascas e fruto comestível.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1989), a madeira de caxinguba possui cerne e alburno indistintos pela cor, cerne esbranquiçado com tonalidades acinzentadas, cheiro e gosto imperceptível; densidade média; grã direita a irregular e textura grossa. Em ensaios de laboratório a madeira demonstrou baixa resistência ao apodrecimento e ao ataque de cupins de madeira seca.

Esta árvore possui uma copa frondosa que proporciona ótima sombra, o que a torna excelente para arborização e paisagismo de grandes praças e parques e

arborização rural e de pastos, também muito inserida em reflorestamento devido alta atração de animais (Lorenzi, 1992).

2.5. Modificação térmica

A modificação térmica da madeira é um processo que consiste em expor o material em uma faixa de temperatura entre 100 e 300 °C por períodos de 15 min a 24 horas. Conforme os parâmetros adotados no ciclo de tratamento é possível obter várias características no produto final (Jones *et al.*, 2019). Os processos de modificação térmica mais utilizados são: Thermowood (Finlândia), Plato (Holanda), Bois Perdure e Rectification (França) e Oil Heat Treatment (Alemanha). As fases que ocorrem durante os processos são: aquecimento, tratamento, arrefecimento e estabilização. As principais diferenças entre os diversos métodos prendem-se com o modo como é feito o aquecimento e com as condições operatórias na fase de tratamento, que ocorre a temperaturas entre os 160-260°C (Esteves; Pereira, 2009).

As hemiceluloses são o constituinte químico da madeira que mais sofre alterações durante a modificação térmica, sendo o primeiro constituinte da madeira a sofrer alterações sob ação do calor, resultando na produção de metanol, ácido acético e vários compostos heterocíclicos voláteis (Rowell, 2005). Em função destas modificações as hemiceluloses se tornam indisponíveis como fonte de nutriente para os fungos, além de reduzir o teor de umidade de equilíbrio, que é fundamental o desenvolvimento dos microrganismos.

A modificação térmica melhora as propriedades acústicas e a coloração (Cao *et al.*, 2022), além de consumir menos produtos de acabamentos à base de solvente. Após o tratamento a madeira adquire uma coloração de marrom claro a escuro e pode substituir algumas espécies de madeiras tropicais ameaçadas de extinção (Gaff *et al.*, 2023; Gunduz *et al.*, 2009; Srinivas; Pandey, 2012).

Pode conferir ainda maior dureza superficial, maior resistência natural e melhora a estabilidade dimensional. A madeira pode ser utilizada como material de revestimentos, instalações de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, móveis utilizados em condições exteriores, batentes, móveis residenciais, decorações, e fabricação de instrumentos musicais, visto que a estabilidade garante propriedades acústicas consistentes (Euflosino, 2012).

As desvantagens do tratamento térmico seriam a redução das propriedades mecânicas e da molhabilidade superficial da madeira, alto consumo de energia de produção e grandes emissões de gases de escape (Cao *et al.*, 2022). A redução ocorre em função de fatores como: temperatura máxima de tratamento, taxa de aquecimento, duração do tratamento à temperatura máxima e umidade (Euflosino, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta da madeira, processamento mecânico e secagem das ripas

O estudo foi conduzido no Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas (CESIT/UEA). Utilizou-se madeira de *Ficus* sp. adquirida em toras na serraria Dois Irmãos localizada no município de Itacoatiara – Amazonas.

Após a coleta a madeira foi transportada ao LTM, para o processamento mecânico. Inicialmente foi utilizada a motosserra para obtenção de toretes. Dos toretes foram retirados discos para fabricar os corpos de prova para análises (anatômica e física) da madeira. Em seguida com o auxílio de uma serra circular de bancada os toretes foram transformados em ripas com as seguintes dimensões: 370,00 mm (comprimento) x 40,00 mm (largura) x 4,00 mm (espessura), conforme a Figura 1. As ripas foram acondicionadas em estufa com temperatura inicial de 40 °C e a cada 24 horas, aumentava-se a temperatura em 10 °C, até atingir 100°C.



Figura 1 – Processamento mecânico dos toretes. Toretos de caxinguba (A); desdobramento dos toretes (B); discos de madeira (C); ripas in natura (D).
Fonte: Autor, 2023.

O aumento gradual da temperatura foi realizado desta forma, por causa da baixa densidade da madeira, para evitar defeito nas ripas. Após a secagem as ripas foram armazenadas para serem submetidas ao processo de modificação térmica.

3.2. Caracterização Macroscópica

Para a identificação macroscópica da madeira foram seguidos os procedimentos da Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1974). Para isso, foram obtidos a partir dos discos retirados dos toretes, corpos de prova com dimensões de 3,0 x 3,0 x 3,0 cm (transversal x tangencial x radial). Em seguida foram polidos com sequência de lixas determinadas para remover a aspereza das superfícies das amostras e melhorar a visualização das estruturas anatômicas.

Depois de polidos os corpos de prova foram fotografados com auxílio de lente macroscópica com aumento de 24x, acoplada a um smartphone com câmara traseira de 12 megapixels, com abertura de f/1:8, acoplada a um estereomicroscópio com sistema fotográfico e software para análise de imagens.

Com o auxílio do Mosaic Revolutionary Computational Imaging Software versão 2.2, foram observadas as características macroscópicas: parênquima axial (vasos/poros), visibilidade, tipos, disposição dos vasos, obstrução dos vasos, parênquima radial (raios), frequência, largura e altura. As amostras foram comparadas as X-0981 e X-0983, que são amostras do gênero *Ficus* que estão registradas na Xiloteca Prof. Narciso da Silva Cardoso do LTM, além de dados de literatura e chaves dicotômicas.

3.3. Ensaio físicos da madeira de caxinguba

Foram determinados o teor de umidade, densidade básica e aparente da madeira de caxinguba.

3.3.1. Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado usando corpos de prova de dimensões nominais 2,0 x 3,0 x 5,0 cm, de acordo com a norma técnica NBR 7190 (ABNT,1997). Para os teores de umidade foram calculados com o uso da Equação 1.

$$TU = \left(\frac{M1 - M2}{M2} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

M1 = massa inicial da madeira, em gramas;

M2 = massa de madeira seca, em gramas.

3.3.2. Densidade básica

Para a determinação da densidade básica, as amostras foram deixadas para saturar em água destilada para obtenção do volume saturado até massa constante. Após a saturação os corpos de prova foram levados para secar em estufa com temperatura regulada em $103^{\circ}\text{C} \pm 2$, até massa constante, conforme a com a NBR 7190 (ABNT, 1997). Os cálculos da densidade básica foram obtidos pela Equação 2.

$$Db = \frac{Ms}{V_{sat}} \quad (2)$$

Em que:

Ms = massa da amostra seca em estufa, em quilogramas;

Vsat = volume da madeira saturada, em metros cúbicos.

3.3.3. Densidade aparente

A densidade aparente foi obtida pela razão entre a massa de cada amostra e o seu volume, ambos massa e volume obtidos a um mesmo teor de umidade (U%). Os volumes foram obtidos pelo produto das três dimensões de cada amostra e a massa obtida em balança eletrônica de precisão. As densidades de cada amostra foram calculadas usando-se a Equação 3.

$$DAp = (Mu\% / Vu\%) * 100 \quad (3)$$

Em que:

M_{U%} = massa seca da madeira, a U%, em gramas;

V_{U%} = volume da madeira saturada, a U%, em centímetros cúbicos.

3.4. Modificação térmica das ripas de madeira

Conforme descrito anteriormente todas as ripas foram secas em estufa, com temperatura de 100 °C, antes de serem submetidas ao processo de modificação térmica. Do total de 120 ripas, 30 foram consideradas como controle (secas a 100 °C) e o restante foi submetido ao tratamento. As ripas foram modificadas termicamente em quatro níveis de temperaturas (120, 140, e 160 °C), além do controle, totalizando 90 unidades, com duração de 30 minutos para cada tratamento, após atingida a temperatura final (Figura 2).



Figura 2 – Modificação térmica das ripas de caxinguba no interior da estufa.
Fonte: Autor, 2023.

As temperaturas foram adotadas com base na metodologia utilizada por Brito *et al.* (2018), que trabalharam com laminado e modificação térmica. O período de tempo foi estabelecido em decorrência da baixa densidade da madeira. Ao final de cada tratamento as amostras permaneceram na estufa o tempo necessário para atingir a temperatura de equilíbrio com o ambiente. Dez ripas de cada tratamento foram separadas para determinar a redução de massa, com o emprego de uma balança de 0,01 g de precisão, que foi calculada com base na massa inicial e final das ripas, conforme a Equação 4.

$$\text{Perda de massa (\%)} = [(M1 - M2) / M1] \times 100 \quad (4)$$

Em que:

M1 = massa da amostra antes do tratamento (g)

M2 = massa da amostra após o tratamento.

3.5. Determinação do teor de sólidos do adesivo

As ripas foram unidas com adesivo a base de uréia-formaldeído, conhecido comercialmente pela marca “redemite”, para produção do LCTC (Laminado colado tratado termicamente de caxinguba). O teor de sólidos do adesivo utilizado nesta pesquisa foi determinado utilizando seis amostras. Foram montados suportes de papel alumínio para cada amostra, moldados no fundo de um béquer de 50 mL. Foi disposto 1,00 g de adesivo para cada suporte. Inicialmente foi medida a massa inicial das amostras e estas foram colocadas em estufa a 103°C ±2 por um período de 24 horas. Depois de retiradas da estufa a massa final das amostras foi medida e o teor de sólidos foi determinado com base na diferença da massa úmida e da massa seca das amostras.

3.6. Aplicação do adesivo, prensagem, produção da MLC

Foram produzidos peças de madeira laminada colada em formato de bloco, com 4 camadas de ripas coladas entre si com a direção das fibras de maneira paralela. As faces das ripas foram levemente lixadas de modo a eliminar contaminantes que pudessem influenciar na colagem. O adesivo usado foi o UF com teor de sólidos de 65% e gramatura de 300 g/m². A cola foi aplicada com espátula em ambas as faces da ripa coladora. A colagem foi feita à temperatura de 25±2°C.

Neste experimento foram adotados os procedimentos efetuados por Brito *et al.* (2018). Para cada tratamento, foram produzidos sete conjuntos totalizando 28 unidades experimentais. Após os procedimentos de colagem, os conjuntos foram prensados sob uma carga de 3,0 toneladas, em prensa hidráulica, com pressão de 1,3 MPa durante 8 horas conforme a Figura 3.

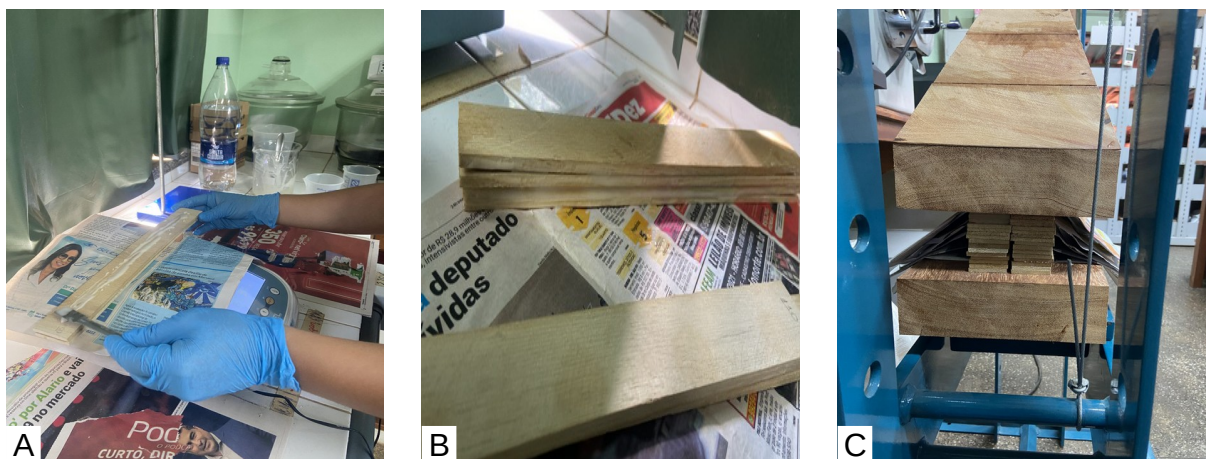


Figura 3 – Montagem dos blocos: Distribuição do adesivo pela superfície das ripas (A), blocos montados (B), Prensagem dos blocos (C).
Fonte: Autor, 2023.

Em seguida, os conjuntos permaneceram vinte dias em ambiente climatizado com temperatura ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) e umidade ($65 \pm 5\%$) para cura efetiva da cola. Os blocos foram esquadrejados para eliminar efeitos de borda. Posteriormente foram retirados corpos de prova para os ensaios físico-mecânicos (FIGURA 4).

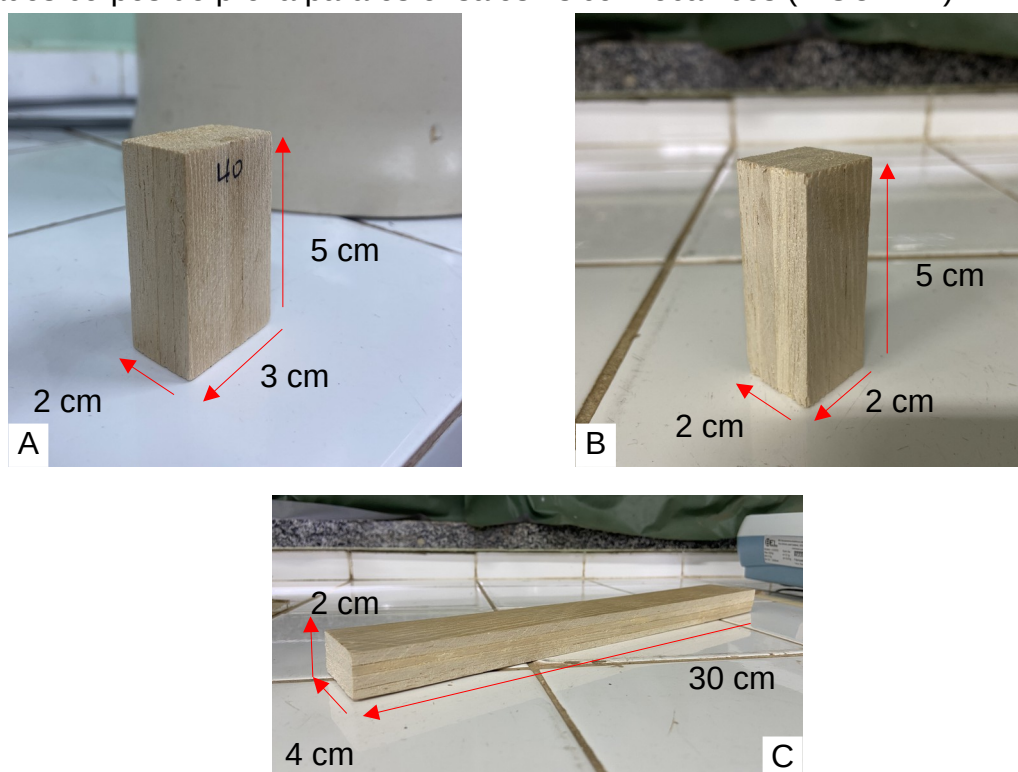


Figura 4 – Corpos de prova para: ensaios físicos (A); ensaios de compressão paralela (B); ensaios de flexão estática (C).
Fonte: Autor, 2023.

3.7. Propriedades físicas e mecânicas do laminado colado modificado termicamente de caxinguba (LCTC)

Para determinação das propriedades físicas, foram seguidas as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997) que preconiza ensaios com madeiras, porém foram realizadas algumas modificações, em relação às dimensões das amostras. Para determinar o teor de umidade, a densidade básica e retratibilidade, foram utilizados 44 corpos de prova. Foram utilizadas 11 repetições para cada tratamento com dimensões de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (espessura x largura x comprimento).

Para densidade básica os corpos de prova foram saturados em água (Figura 5.A), após a saturação foi mensurada as dimensões com paquímetro para o cálculo do volume saturado (Figura 5B). Em seguida os corpos de prova foram acondicionados em estufa em temperatura de 103 ± 2 °C até atingirem massa constante (Figura 5C). Posteriormente foram pesados e assim foi obtida a massa seca (Figura 5D). Os demais ensaios físicos (teor de umidade e retratibilidade) ocorrem com os mesmos procedimentos: mensuração do volume de massa seca e massa úmida e pesagem dos corpos de prova em balança de precisão.

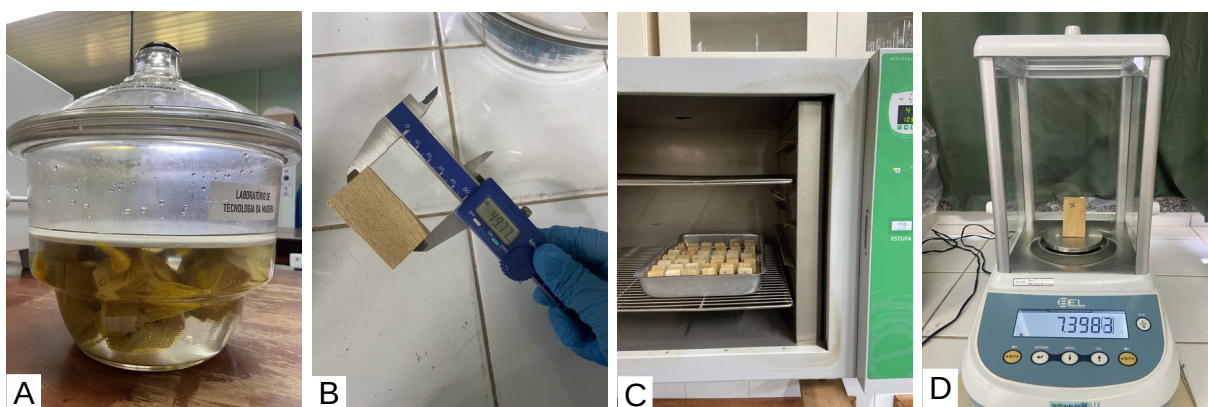


Figura 5 – Propriedades físicas. Corpos de prova em saturação (A); mensuração das dimensões com paquímetro (B); corpos de prova em estufa (C); pesagem dos corpos de prova (D).

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais, do Instituto Federal do Amazonas (IFAM), Unidade sede em Manaus. Os testes foram feitos em uma máquina universal de ensaios da marca Contenco, modelo I-3058-M com capacidade para 60 Tf (600 kN). As amostras foram testadas

em relação a resistência à compressão paralela às fibras e resistência à flexão estática (modulo de ruptura e modulo de elasticidade). Para ambos os ensaios foram utilizadas seis repetições por tratamento, totalizando 24 corpos de prova.

Os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras (Figura 6) foram realizados seguindo as orientações da NBR 7190 (ABNT, 1997). Para tal, foram usados corpos de prova com dimensões reduzidas proporcionalmente a norma, sendo: 2,0 x 2,0 x 5,0 cm (espessura x largura x comprimento).



Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão paralela.
Fonte: Autor, 2023.

Para o ensaio de flexão estática, foram seguidos os procedimentos da NBR 6230 (ABNT, 1985). Para determinar o módulo de ruptura (MOR) e modulo de elasticidade (MOE) foram produzidos corpos de prova com dimensões adaptadas proporcionalmente a norma, sendo: 2,0 x 2,0 x 30,0 cm (espessura x largura x comprimento) (Figura 7).



Figura 7 – Ensaio de resistência à flexão estática.
Fonte: Autor, 2023.

3.9. Análise e avaliação dos resultados

Para análise física da madeira in “natura” (teor de umidade, densidade básica e densidade aparente), teor de umidade das ripas tratadas e perda de massa foram utilizadas dez repetições. Adotou-se a estatística descritiva com valores médios.

Foi empregado o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Foram adotados quatro tratamentos, que foram as temperaturas utilizadas: 100°C (Controle), 120°C, 140 °C e 160 °C. Para as propriedades físicas do laminado colado (teor de umidade, densidade básica e retratibilidade) foram utilizadas 11 repetições, totalizando 44 amostras. Para os ensaios mecânicos (compressão paralela e flexão estática) foram testadas 6 repetições, por tratamento, totalizando 24 amostras. Para todas as propriedades foi realizada a análise de variância (ANOVA) e quando o teste F foi significativo, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância para comparação de médias, com o objetivo de investigar diferenças entre os tratamentos comparados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização Macroscópica da madeira de *Ficus* sp.

De acordo com as características da espécie analisada, a amostra utilizada neste estudo foi identificada cientificamente como *Ficus* sp. e feita sua descrição macroscópica. As características gerais da madeira foram cerne e alborno indistinto pela cor, cerne de cor amarelo, cheiro desagradável, camadas de crescimento pouco distintas, figura presente do tipo em linhas vasculares, madeira moderadamente mole ao corte e de textura fina.

As características macroscópicas observadas foram: parênquima axial: observados, visíveis a olho nu do tipo em faixas largas, curtas a longas. Raios observados na transversal visíveis somente sob lente de 10x de aumento, na tangencial visíveis somente sob lente de 10x de aumento, na superfície radial pouco contrastado, finos (com média de 58,20 μm), baixo (com altura média de 0,459 mm). Vasos: presentes, visíveis a olho nu, porosidade difusa, parcialmente solitários, e quando múltiplos, de dois e de frequência média (com média de 7,8/2mm²) parcialmente obstruídos (Figura 8).

Os dados referentes a caracterização macroscópica da espécie *Ficus* sp. encontrados neste trabalho corroboram com a descrição feita por Ferreira *et al.* (2023), onde a espécie também apresentou vasos visíveis a olho nu e porosidade difusa, além de possuir parênquima axial tipo faixas largas. Essas mesmas características foram avaliadas por Pereira (2022), que em seu trabalho observou raios finos e baixos. Conforme os dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2017), a espécie do gênero *Ficus* sp. possui parênquima axial em faixas largas, vasos visíveis a olho nu, porosidade difusa, resultados estes aproximados comparados aos encontrados neste estudo.

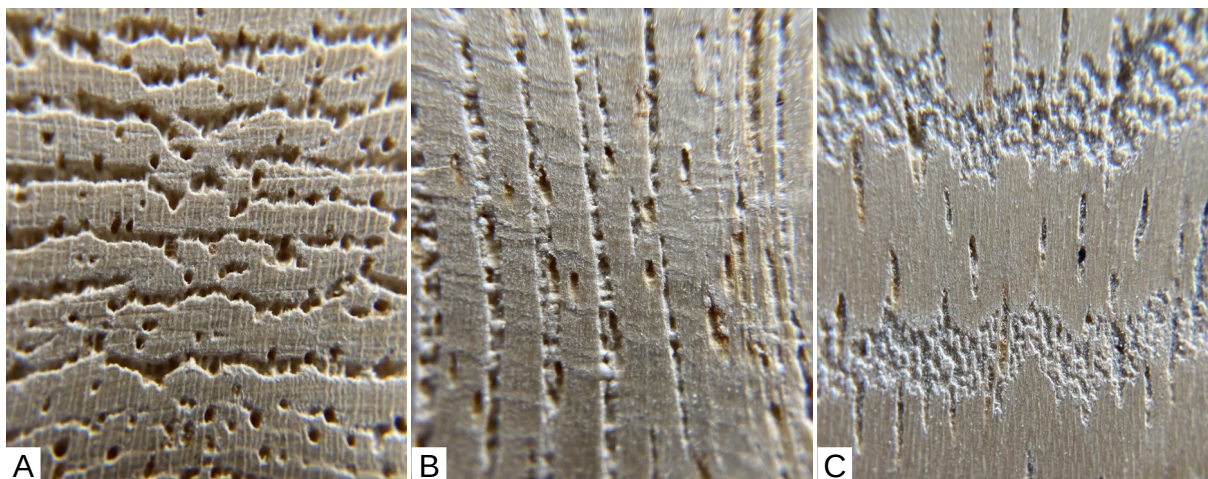


Figura 8 – Macrofotografias da espécie *Ficus* sp. nos planos transversal (A), radial (B) e tangencial (C).
 Fonte: Autor, 2023.

A estrutura anatômica influencia no processo de colagem de madeiras, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em: lenhos inicial e tardio, cerne e alborno, e lenho juvenil e adulto (Iwakiri, 1998). Esta variabilidade estrutural e anatômica afeta, de modo significativo, a performance de uma ligação adesiva (Albuquerque; Latorraca, 2000). A importância do estudo anatômico está relacionada com a absorção da cola pelas ripas. Conforme observado a estrutura da madeira de caxinguba é po Bsa, ou seja, esta espécie é favorável a absorção de cola, pois existe uma quantidade maior de espaços vazios para a cola penetrar e realizar uma colagem efetiva. Entretanto, cabe ressaltar que a gramatura deve ser bem calculada para não ocorrer linha de cola faminta.

4.2. Teor de Umidade, Densidade básica e aparente da madeira de caxinguba

O teor de umidade influencia diretamente na cura, molhabilidade e penetração dos adesivos. Conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997) o conhecimento do teor de umidade e a densidade aparente do lote de madeira são fatores fundamentais para fabricação de MLC, uma vez que a umidade deve estar entre 8 e 12% de umidade e a densidade interfere na pressão e tempo de prensagem dos elementos de MLC. O valor obtido neste trabalho foi 11,14% para caxinguba, próximo ao valor indicado.

Para massa específica aparente o valor obtido foi 0,40g/cm³. A densidade aparente influencia no tempo de prensagem e na pressão, durante o processo de

produção dos elementos de MLC (Segundinho *et al.*, 2015). A densidade da madeira utilizada no processo de colagem pode ser um fator limitante quanto a mobilidade do adesivo na estrutura lenhosa. Sendo assim, quanto maior a densidade, menos permeável será ao adesivo e, conseqüentemente a ligação adesiva será mais superficial e a linha de cola mais fraca (Marra, 1992).

Em relação a densidade básica foi obtido valor médio de 0,35g/cm³. As espécies mais indicadas para utilização em MLC são coníferas com massa volumétrica entre 0,40 g/cm³ e 0,75 g/cm³ (Szücs, 1992). Segundinho *et al.* (2011) ressaltam que algumas dicotiledôneas de baixa massa volumétrica também podem ser empregadas como elementos de MLC, quando facilmente coláveis, justificando assim o emprego da caxinguba nesta pesquisa.

4.3. Modificação da cor da madeira após o processo de modificação térmica

Foi realizada a análise visual das ripas da madeira antes e após o processo de modificação térmica e observaram-se alterações na coloração conforme a variação da temperatura (Figura 9).

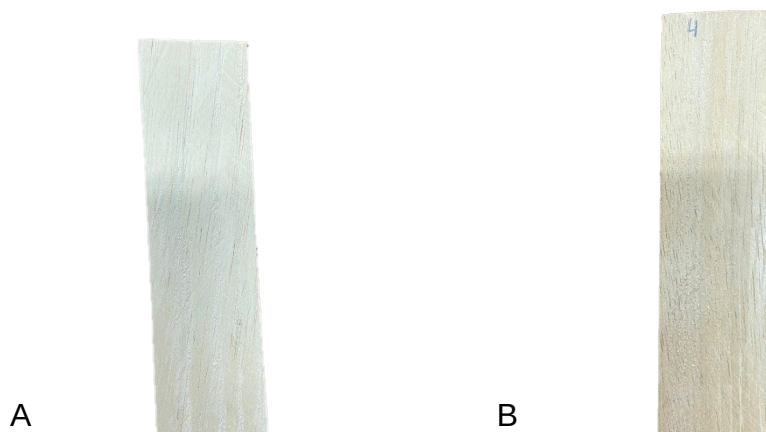


Figura 9 – Comportamento da cor das ripas de caxinguba antes (A) e após a aplicação da modificação térmica a 160 °C (B)

Fonte: Autor, 2023.

As ripas que foram submetidas ao tratamento de 160 °C graus, apresentaram coloração levemente mais escura. A alteração na cor da madeira ocorre devido às temperaturas mais elevadas provocarem uma aceleração da degradação dos extrativos e hemiceluloses, o que torna a madeira mais escura (Zanuncio; Farias; Silveira, 2014).

Essa mudança na coloração, proveniente de diferentes alterações químicas, pode representar uma maior aceitação ou rejeição pelo produto produzido, uma vez que precisaria ser testado no mercado a aceitação de peças de coloração mais escuras. Entretanto, do ponto de vista de se obter peças com cor mais próxima da madeira in natura, pode-se aplicar temperaturas menores na modificação térmica delas, cuja alteração na cor é menos perceptível. A mudança de cor é um comportamento normal quando se trabalha com modificação térmica, conforme alguns relatos da literatura (Barreiros *et al.*, 2023; Pereira, 2022; Viana, 2023).

4.4. Teor de umidade e perda de massa das ripas tratadas

Na tabela 1 estão descritos os valores médios obtidos para os teores de umidade e perda de massa da madeira tratada.

Tabela 1. Valores médios obtidos para o teor de umidade e perda de massa das ripas tratadas

Tratamentos	Teor de umidade (%)	Perda de massa (%)
Controle	7,08	-
120 °C	6,32	9,32
140 °C	6,00	10,19
160 °C	6,41	11,19
Média geral	6,45	9,77
Coeficiente de variação	4,50	2,54

Fonte: Autor, 2023.

Conforme a Tabela 1 é possível observar numericamente que houve um decréscimo no teor de umidade das amostras de madeira, após a modificação térmica. Utilizar madeiras com excesso de umidade na colagem pode ser problemático, pois a água ocupa os espaços vazios da madeira e durante a prensagem com aquecimento, pode se transformar em vapor, resultando em delaminação. O decréscimo do teor de umidade a partir da modificação térmica está diretamente relacionado à redução da quantidade de hidroxilas livres (grupos OH),

devido à degradação das hemiceluloses e zonas amorfas da celulose (Esteves *et al.*, 2007).

Ressalta-se ainda que a redução do teor de umidade, por meio da modificação térmica, é o maior ganho em relação às madeiras não tratadas, pois acarreta menores dilatações e retrações sem a necessidade do uso de produtos repelentes de água (Kol; Aysal; Gündüz, 2017).

Na Tabela 1 também são apresentados os valores de perda de massa das ripas, observados após cada tratamento térmico. Numericamente observa-se que houve uma tendência de perda de massa, conforme aumentava-se a temperatura dos tratamentos. Este comportamento é normal quando a madeira é modificada termicamente. Provavelmente a causa é oriunda do processo de secagem das ripas (pois a água liberada para a atmosfera é a água livre, ocasionando perda de massa da madeira) e pode ocorrer ainda degradação parcial das hemiceluloses durante os tratamentos. Segundo Anjos (2014) quanto maior a temperatura aplicada, maior será a alteração sofrida, além disso, Czajkowski, Olek e Weres (2020), destacam que além da degradação dos constituintes químicos da madeira submetida ao tratamento térmico, ainda pode ocorrer a volatilização de alguns extrativos, que reduz a massa da madeira.

Pereira (2022) conduziu um experimento com algumas espécies amazônicas e dentre elas a caxinguba que foi modificada termicamente utilizando três temperaturas (140, 160 e 180 °C) durante duas horas e trinta minutos. A autora observou a mesma tendência para a perda de massa, ou seja, houve um ganho no percentual de perda de massa, conforme aumentava-se a temperatura. Os resultados obtidos nesta pesquisa foram inferiores aos relatados por Poubel *et al.*, (2013), que conduziram um experimento com madeira de *Pinus caribaea* modificada termicamente em temperaturas de 200 e 220°C durante um período de duas horas. Os autores encontraram valor médio de 21,03% em relação à perda de massa para a temperatura mais alta (220°C) e afirmaram que a perda de massa nas amostras tratadas resulta em grande parte da perda de água livre e da água higroscópica presente nas paredes celulares, além da volatilização de algumas substâncias da mesma forma como afirmaram Czajkowski, Olek e Weres (2020).

Viana (2023) trabalhou com seis espécies de madeira tropical tratadas com temperaturas de 150°, 170° e 190°C durante 2 horas e trinta minutos e obteve

médias que oscilaram entre 0,82 e 8,19% de perda de massa para as espécies de *Goupia Glabra* e *Enterolobium schomburgkii*, respectivamente.

Vidholdova *et al.* (2023) trabalharam com amostras de madeira de *Picea abies* nas temperaturas de 100, 150, 200, 220, 240 e 260 °C durante 1, 3 e 5 horas. O processo de tratamento térmico da madeira induziu perdas de massa na faixa de 0,48 a 40,67%. A perda de massa perceptível em temperaturas acima de 220°C sugeriam intensa decomposição dos componentes químicos da madeira.

De acordo com Poubel *et al.* (2015), essa perda de massa das madeiras modificadas termicamente pode influenciar na resistência mecânica, que é um fator primordial que poderia afetar determinadas aplicações da madeira, principalmente se ocorrer perda na resistência dela.

4.5. Propriedades físicas do laminado colado

Os valores médios obtidos para as propriedades físicas (teor de umidade, densidade básica e retratibilidade) para cada tratamento térmico, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios obtidos de teor de umidade (TU), densidade básica (DB) e retratibilidade do laminado colado.

Tratamentos	TU (%)	DB (g/cm ³)	Retratibilidade (%)
Controle (100 °C)	11,12 a	0,32 a	9,40 a
120 °C	11, 17 a	0,32 a	9,54 a
140 °C	11,38 a	0,34 a	9,25 a
160 °C	10,00 b	0,32 a	9,80 a
Média Geral	10,91	0,32	9,50
Coefficiente de variação (%)	1,40	0,02	5,74

As médias na mesma coluna, seguidas pela letra minúscula, não são estatisticamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2023.

De acordo com a Tabela 2 é possível observar os blocos dos tratamentos T1, T2 e T3 não diferiram entre si, porém diferiram do tratamento T4, comprovando que houve efeito da temperatura sobre o teor de umidade do material. A redução do teor de umidade possui grande importância, pois amplia as possibilidades de uso do material, tornando-o, por exemplo, mais estável e biologicamente resistente quando aplicado em ambientes com maior umidade (Kol; Aysal; Gündüz, 2017).

Ainda na Tabela 2, observa-se que a densidade básica dos tratamentos não foi alterada pela modificação térmica, embora tenha sofrido uma pequena redução numérica de massa (Tabela 1). Provavelmente o curto período de tempo de tratamento não tenha sido suficiente para provocar uma redução significativa nas amostras. Tavora (2019) cita que, embora haja perda de massa durante o processo térmico, é possível que temperaturas aplicadas (até 200°C) provoquem a redução do volume proporcional a perda de massa, não afetando a densidade, que explica o resultado obtido neste trabalho.

Para retratibilidade (Tabela 2) observa-se que as temperaturas aplicadas não foram suficientes para exercer influência nesta propriedade do laminado colado. Esperava-se que a retratibilidade fosse reduzida com o tratamento térmico. Comportamento semelhante ao obtido nesta pesquisa foi observado por Ferreira (2017) que conduziu um experimento com o objetivo de analisar a influência de tratamentos nas propriedades físicas e mecânicas de compensado laminado de *Pinus taeda*. O autor utilizou três temperaturas (160°C, 180°C e 200°C) e notou uma tendência de diminuição do inchamento com o aumento da temperatura de modificação térmica. Entretanto, essa diminuição foi significativa apenas para a temperatura de 200°C.

Os valores obtidos por Brito et al. (2018) para essa propriedade foram superiores aos observados nesta pesquisa. Para 100 °C encontraram 14,28%, para 140 °C obtiveram 18,44% e para 160 °C o valor foi de 11,04%. Os autores comentaram que as juntas coladas com a UF, tinham uma tendência de aumento das médias da contração volumétrica, com o incremento da temperatura de modificação térmica, o que não foi observado nesta pesquisa.

4.6. Propriedades mecânicas do laminado colado

Os valores médios obtidos para as propriedades mecânicas de resistência à compressão paralela às fibras (CP) e resistência à flexão estática: módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para cada tratamento térmico, podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios obtidos para resistência a compressão paralela (CP) e flexão estática: módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) do laminado colado.

Tratamentos	CP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
Controle (100 °C)	37,63 b	44,17 b	5,72 a
120 °C	43,75 ab	46,65 b	5,62 a
140 °C	47,12 ab	62,96 ab	6,00 a
160 °C	50,76 a	71,98 a	7,00 a
Média Geral	44,81	9,77	6,07
Coefficiente de variação (%)	10,16	2,54	14,26

As médias na mesma coluna, seguidas pela letra minúscula, não são estatisticamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2023.

Conforme a Tabela 3 é possível observar que houve efeito do tratamento térmico na resistência a compressão paralela do laminado colado, pois as amostras do tratamento T1 evidenciaram menor valor médio, em relação as amostras tratadas com temperatura de 160°C. As amostras dos tratamentos T2 (120 °C) e T3 (140 °C) obtiveram comportamento intermediário. Normalmente ocorre uma redução nas propriedades de resistência.

De acordo com Calonego *et al.* (2013) e Brito *et al.* (2018) a modificação térmica em temperaturas mais elevadas pode promover a formação de trincas no material, diminuindo a resistência das juntas coladas. Alguns fatores como secagem e aquecimento podem danificar o substrato, pois afetam suas propriedades físicas e químicas como resultado da migração de extratos para a superfície, a reorientação da superfície moléculas e o fechamento dos microporos das paredes celulares, que

ocorre de forma irreversível. Modificações na composição química do material, que alteram sua estrutura podem reduzir as propriedades mecânicas como função da perda de massa e conseqüentemente produz uma menor resistência à força aplicada.

Entretanto o aumento nos valores médios da compressão paralela podem estar relacionados com a redução do teor de umidade do material tratado, pois à medida que a umidade é retirada ocorre uma aproximação das unidades estruturais aumentando a área resistente (Stamm, 1964). Outra suposição está relacionada com o curto período de tempo de tratamento térmico das ripas. Acredita-se que tenha ocorrido uma plasticização da lignina, que promoveu um arranjo mais consistente na madeira, aumentando a resistência em relação ao esforço de compressão, uma vez que a densidade, propriedade física que pode estar relacionada com a resistência mecânica não variou (Tabela 2).

Brito *et al.* (2018) trabalharam com laminado de material lignocelulósico. As ripas foram tratadas em mufla durante uma hora, com as seguintes temperaturas: Controle (100 °C), 140 °C, 160 °C, 180 °C e 200 °C. Dentre os adesivos utilizaram a uréia-formaldeído (UF) com gramatura de 300 g.m⁻². Os autores notaram um decréscimo nos valores conforme aumentava-se a temperatura de tratamento em relação ao controle. Os autores obtiveram valores superiores aos obtidos na presente pesquisa. Para o controle obtiveram valor médio de 75,32 MPa, 140 °C (64,86 MPa) e 160°C (73,35 MPa). A diferença entre valores pode ser explicada em função da maior espessura das ripas, densidade do material, além de características de variabilidade na estrutura anatômica (proporções de cerne e alburno, lenho juvenil e adulto, características químicas, como como teor de extrativos e pH).

Conforme a Tabela 3, observa-se que houve efeito da temperatura para o LCTC em relação ao módulo de ruptura (MOR). Observou-se o mesmo comportamento da resistência a compressão paralela, pois houve um acréscimo no MOR para o LCTC tratado a 160°C. As amostras controle e as que foram tratadas a 120 °C não diferiram entre si, mas diferiram das amostras tratadas com temperatura de 160 °C. As amostras do tratamento T3 (140°C) evidenciaram comportamento intermediário. Ainda de acordo com a Tabela 3 observa-se que o módulo de elasticidade (MOE) não apresentou diferença entre os tratamentos, porém nota-se uma tendência de acréscimo nos valores para o laminado produzido com madeira modificada termicamente. Para ambas as propriedades (MOR e MOE), conforme

explicado anteriormente, a última temperatura (160°C) apresentou médias superiores ao tratamento T1 (100°C) devido aos mesmos fatores já citados para a resistência a compressão. Brito *et al.* (2018) obtiveram resultados superiores aos obtidos nesta pesquisa. Para o MOR os valores variaram entre 146,70 MPa, 140 °C (120,18 MPa) e 160°C (124,65 MPa). Os valores obtidos para o MOE não foram informados.

Em função dos valores obtidos para as propriedades mecânicas o laminado de caxinguba pode ser classificado como material de baixa resistência. O laminado colado pode ser indicado para elementos não estruturais, como paredes divisórias, móveis e cabos de ferramentas, forro, além de equipamentos de tecnologias assistivas, como muletas, bengalas e andadores.

5. CONCLUSÕES

A madeira de Caxinguba possui propriedades físicas que a tornam apta à manufatura de elementos estruturais de MLC.

Em relação as propriedades físicas apenas o teor de umidade foi afetado pelo processo de modificação térmica. O LCTC produzido com temperatura de 160 °C demonstrou menor teor de umidade.

O LCTC produzido com temperatura de 160 °C demonstrou maior resistência nos ensaios de compressão paralela e MOR. Os resultados evidenciaram que fabricar LCTC nas condições adotadas neste trabalho conferem boa resistência para elementos não estruturais.

De forma geral, conclui-se que os períodos de tratamento podem ter sido curtos e as temperaturas baixas e por isso não teve efeito na retratibilidade do material, porém foi capaz de provocar melhorias na resistência à compressão paralela e no módulo de ruptura.

Recomenda-se a continuidade do trabalho testando outros fatores, como temperaturas, tempo de tratamento, quantidade de ripas, gramaturas, além de outros tipos de ensaios como molhabilidade, cisalhamento e delaminação com o objetivo de atingir uma caracterização tecnológica completa deste material.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011. Brasília, 2012.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**. v. 7, n. 1, p. 158-166, 2000.

ALMEIDA, N. F.; MORI, F. A.; GOULART, S. L.; MENDES, L. M. Estudo da reatividade de taninos de folhas e cascas de barbatimão *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 401-408, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6230: Métodos de ensaio para madeiras**. Rio de Janeiro, 1985. 89 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de Dimensionamento**. Rio de Janeiro, 2022.

AYANLEYE, S.; UDELE, K.; NASIR, V.; ZHANG, X.; MILITZ, H.. Durability and protection of mass timberstructures - A Review. **Journal of Building Engineering**, n. 46, 2021.

BARREIROS, R. M.; LISBOA, F. D.; GOUVEA, C. F.; REIS, A. M. F.; GODINHO, E. Z.; DIAS, K. B. Comportamento químico e físico da madeira natural e termorretificada de clones de eucalipto. **Ciência Florestal**. v. 33, n. 1, e67304, p. 1-18, Santa Maria, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509867304>

BIANCHE, J. J.; TEIXEIRA, A. P. M.; LADEIRA, J. P. S.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O.; LUCIA, R. M. D. Cisalhamento na Linha de Cola de Eucalyptus sp. Colado com Diferentes Adesivos e Diferentes Gramaturas. **Floresta e Ambiente**. n. 24, 2017.

BRITO, F. M. S., PAES, J. B., OLIVEIRA, J. T. D., ARANTES, M. D. C., DUDECKI, L. (2018). Chemical characterization and biological resistance of thermally treated bamboo. **Construction and Building Materials**, 262, 120033.

CALONEGO, F. W.; ANDRADE, M. C. N.; NEGRÃO, D. R.; ROCHA, C. D.; MINHONI, M. T. A.; LATORRACA, J. V.; SEVERO, E. T. D. Behavior of the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum* on thermally-modified *Eucalyptus grandis* wood. **Floresta e Ambiente**, 20 (2013) 417–423.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9, n. 1, p. 29-40, 2004.

CAO, S.; CHENG, S.; CAI, J. Research Progress and Prospects of Wood High-temperature Heat Treatment Technology. **BioResources**, 17(2), 3702-3717, 2022.

CARRASCO, E. V. M.; BREMER, C. F.; MANTILLA, J. N. R. D. Avaliação do desempenho estrutural de paredes de madeira laminada colada. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 3, p. 83-90, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.83-90>

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas. v. 30, p. 1-19, 1974.

CORREA, J. E. Q.; BERNAL, H. Y. M. (Ed.). **Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello**. Bogotá: SECAB, 1995. 515p. Tomo 11, letra M. (PREVECAB. Serie Ciencia y Tecnología, 54), 1995.

CZAJKOWSKI L.; OLEK, W.; WERES, J. Effects of heat treatment on thermal properties of European beech wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 78, p.301-312, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01525-w>

DEPIERI, R.; SANTOS, A. C. E.; COSTA, O. A. L. O uso sustentável do *Pinus elliottii* para a fabricação do MLC – madeira laminada colada. **FOCO: Caderno de Estudos e Pesquisas**, n. 15, p. 23-28, 2018.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**. V. 4, n. 1. p. 370-404, 2009.

DOI: [10.15376/biores.4.1.370-404](https://doi.org/10.15376/biores.4.1.370-404)

EUFLOSINO, A. E. R. **Eficiência da termorreificação na resistência das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Pinus taeda* a térmitas xilófagos**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2012.

FARIS, A. H.; RAHIM, A. A.; IBRAHIM, M. N. M.; ALKURDI, A. M.; SHAH, I. Combination of lignin polyol–tannin adhesives and polyethylenimine for the preparation of green water-resistant adhesives. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 20, 2016.

FERREIRA, C. A.; INGA, J. G. G.; HUACHO, R. B.; VIDAL, O. D. A.; REIS, D. C. A.; GOYTENDIA, W. C.; ASCUE, B. S. M.; MOYA, S. M. M.; CENTENO, T. U.; VÉLEZ, A. E.; TOMAZELLO-FILHO, T.; Identification of 20 species from the Peruvian Amazon tropical forest by the wood macroscopic features. **CERNE**, v. 29, e-10313, 2023.

DOI: [10.1590/01047760202329013134](https://doi.org/10.1590/01047760202329013134)

GAFF, M.; KUBOVSKÝ, I.; SIKORA, A.; KAČÍKOVÁ, D.; LI, H.; KUBOVSKÝ, M.; KAČÍK, F. Impact of thermal modification on color and chemical changes of African

padauk, merbau, mahogany, and iroko wood species. **Reviews on Advanced Materials Science**, 62: 20220277, 2020.

GOMES, L. D.; GOMES, J. D.; HACKENBERG, A. M. Avaliação do desempenho termoenergético da madeira laminada colada (mlc) como alternativa bioclimática em cobertura residencial. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v.9, n. esp, p.345-362, 2020.

GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; FASSARELA, M. V.; MININI, D.; TINTI, V. P.; LOPEZ Y. M.; FELBERG, M. J. K. F. S. Relação entre propriedades elásticas e biológicas em painéis aglomerados feitos com resíduos de madeira de eucalipto. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, 2021.

GUNDUZ, G.; AYDEMIR, D.; KARAKAS, G. The effect of thermal treatment on the mechanical prop-erties of wild pear (*Pyrus elaeagnifolia*Pall.) wood and changes in physical properties. **Materials & Design**, v. 30, p. 4391-4395, 2009.

HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. S; PEREIRA, D. VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. Atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados. Belém: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2016).
Disponível em: <<https://www.iba.org/florestas-sustentaveis>>
Acesso em: 12 fev 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório 2022.
Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>
Acesso em 28 fev 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Fichas de Características das Madeiras Brasileiras. 2a ed. São Paulo: IPT, 1989. 418p. (publicação IPT N° 1791).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Informações sobre madeiras.
Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=63>
Acesso em: 01 de agosto de 2023.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. 2ª ed. 247p. Curitiba: FUPEF, 2005.

JESUS, M. H.; CALIL JR, C. C. Estudo do adesivo Poliuretano à base de mamona em Madeira Laminada Colada (MLC). **Revista Madeira – Arquitetura e Engenharia**, São Paulo, n. 8, 2002.

JONES, D.; SANDBERG, D.; GOLI, G.; TODARO, L. **Wood Modification in Europe: A State-of-the-Art about Processes, Products and Applications**; 123p. Firenze University Press: Firenze, Italy, 2019.

KOL, H. S.; AYSAL, S.; GÜNDÜZ, K. Effects of heat treatment on the mechanical properties and dimensional stability of beech wood. **Journal of advanced technology sciences**. p. 820-830, 2017.

LILGE, D. S.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Avaliação do desempenho de painéis cimento-madeira fabricados com duas espécies florestais em combinação com casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 20-42, 2021.

LIMA, R. M. S.; SANTOS, A. M. N.; JARDIM, M. A. G. Levantamento de plantas tóxicas em duas comunidades caboclas do estuário amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Botânica, 11 (2):255-263. 1995.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, p. 352, 1992.

LUZ, A. B.; GONÇALVES, J. H. D.; ROMERA, G. F. S.; HASSE, F. K.; SOUZA, L. A. F.; VANALLI, L. Aplicação da madeira laminada colada (MLC) como vigas de pontes: uma análise sob o olhar do projeto de revisão da NBR 7190/1997. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 8, p. 59283-59306. 2020.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: V. Nostrand Reinhold, 453p. 1992.

MENDONZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; RIBEIRO, A. S.; FERNANDES, F. B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, Campo Grande. v. 22, n. 51, p. 49-68, 2017.

MOUBARIK, A.; CHARRIER, B.; ALLAL, A.; CHARRIER, F.; PIZZI, A. Development and optimization of a new formaldehyde-free cornstarch and tannin wood adhesive. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 68, n. 2, p. 167-177, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0357-6>

OKIMOTO, F. S.; DIAS, M. C., RÍGOLO, F. N., SANTOS, A. ANÁLISIS DE VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA REFORZADA CON BAMBÚ. **Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)**, IFSP Itapetininga, v.10, e023008, p. 1-20, 2023.

PEREIRA, K. N. **Qualidade da superfície da lâmina de madeira de figueira (*Ficus spp.*) submetida a tratamentos de acabamentos**. 2015. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2015.

PEREIRA, K. S. **Efeito do tratamento térmico na cor das madeiras de *Hymenaea spp.* e *Ficus sp.*** 2022. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, 2022.

PEREIRA, M. C. M. (2014). **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Laminada Colada Cruzada**. 2014, 107f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PFEIL, W., PFEIL, M. **Estruturas de madeira**, 6ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.

Disponível em: <<https://pdfcoffee.com/livro-estruturas-de-madeira-walter-pfeil-pdf-free.html>>

Acesso em: 28 fev 2023.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: M. Dekker; 1994.

PIZZI, Antonio. Natural Phenolic adhesive I: Tannin. In: Handbook of adhesive technology. Marcel Dekker, New York, 347-358, 1994.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; SANTOS, W. A.; OLIVEIRA, G. L.; ABREU, H. S. Efeito da termorretificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 391-398, 2013.

PRATES, R. C.; TRIPOLI, A. C. K. Certificação Ambiental e Internacionalização: Uma Análise do Setor Madeireiro Brasileiro. **Editora Unijuí**, ano 13. n. 31, jul./set, 2015.

RIOS, MARY NAVES DA SILVA; PASTORE JUNIOR, FLORIANO. **Plantas da Amazônia**: 450 espécies de uso geral. Brasília: Universidade de Brasília, Biblioteca Central, p. 3140, 2011.

Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/35458>>

Acesso em: 20 jan 2023.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2003.

ROWELL, R.M. **Wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 473p. 2005.

SANTOS, D.; SANTOS, M. L.; VERÍSSIMO, A. **Fatos da Amazônia**. Imazon, v. 1, 2022. 128p. Disponível em:

<https://amazonia2030.org.br/wp-content/uploads/2022/08/FatosAmazonia2022_FIN_AL_web.pdf>

Acesso em: 12 fev 2023.

SEGUNDINHO, P. G. A.; NETO, C. C.; SANTOS, C. J.; DIAS, A. A.; JUNIOR, C. C. Cruzetas de Madeira Laminada Colada produzidas a partir de madeira de reflorestamento. In: VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), 6ª ed., 2011, Fortaleza/CE. Anais Eletrônicos.

Disponível em: <<https://docplayer.com.br/13195164-Cruzetas-de-madeira-laminada-colada-produzidas-a-partir-de-madeira-de-reflorestamento.html>>

Acesso em: 02 ago 2023.

SILVA, G. C.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA, B. C.; LOSSANO, W. C. S.; ABREU, H. S. Propriedades de adesivo aplicado em painéis a partir da substituição por lignossulfonato do processo sulfito. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 322-335, 2019.

SRINIVAS, K.; PANDEY, K. K. Effect of Heat Treatment on Color Changes, Dimensional Stability, and Mechanical Properties of Wood. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, 32:304–316, 2012. DOI: 10.1080/02773813.2012.674170.

STAMATO, G. C. **Resistência ao embutimento da madeira compensada**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP, São Carlos, SP, Brasil, 1998.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. Raleigh: The Ronald press company, 1964.

TAVORA, M. V. G. **APTIDÃO DE LAMELAS TERMO-MODIFICADAS DE Pinus taeda L. PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)**. Dissertação (Engenharia de Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. 91f. 2019.

TORRES, J. T. C. **Sistemas Construtivos Modernos em Madeira**. 2010. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2010.

VERAS, M. O. B.; BUENAFRUENTE, S. M. F. Setor Madeireiro: uma análise de sua contribuição à balança comercial e à economia de Roraima. **Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p.22-35, 2019.

VIANA, G. P. **Efeito da modificação térmica nas propriedades físicas de seis madeiras amazônicas**. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, 2023.

VIDHOLDOVÁ, Z.; KACÍK, F.; REINPRECHT, L.; KUCEROVÁ, V.; LUPTÁKOVÁ, J. Changes in Chemical Structure of Thermally Modified Spruce Wood Due to Decaying Fungi. **Journal of Fungi**, 8, 739, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8070739>

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de Espécies Tropicais Alternativas na Produção de Elementos Estruturais de Madeira Laminada Colada**. 2003, 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2003.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S; SILVEIRA, T. A Termorreificação e Colorimetria da Madeira de Eucalyptus grandis. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n.1, p. 85-90, 2014.

SZÜCS, C. A. **Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado**. Florianópolis, SC. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. 13p. 1992.