



UNIVERSIDADE ESTUDUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

DANIELLY OLIVEIRA DE GOIS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAINÉIS
COMPENSADOS DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber
x Ducke) Barneby**

Imperatriz - MA
2022

DANIELLY OLIVEIRA DE GOIS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAINÉIS
COMPENSADOS DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber
x Ducke) Barneby**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr Joabel Raabe

G616a

Gois, Danielly Oliveira de

Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados de paricá (*schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (huber x ducke) barneby. / Danielly Oliveira de Gois. – Imperatriz, MA, 2022.

38 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1.Paricá. 2.Tecnologia da madeira. 3.Propriedades físico-mecânicas. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 674:582.736.2

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

DANIELLY OLIVEIRA DE GOIS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAINÉIS
COMPENSADOS DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*
(Huberx Ducke) Barneby**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro de Ciências Agrárias da Universidade
Estadual da Região Tocantina do Maranhão –
UEMASUL, como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 22/12/2022.

BANCA EXAMINADORA:



Joabel Raabe
Doutor em Ciências Florestais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL
(Orientador)



Cristiane Matos da Silva
Mestra em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL
(Membro)



Michael Douglas Roque Lima
Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL
(Membro)

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu oportunidade, força de vontade, sabedoria e coragem para superar todos os desafios vividos nos últimos cinco anos de graduação.

À minha querida avó materna, Rosa Maria, que me educou, apoiou, e entendeu como ninguém a minha ausência em casa durante essa jornada.

À toda minha família, em especial meus pais, Elisabeth e Antônio, por todo amor e incentivo.

Aos meus amigos de graduação, Ana Paula, Amanda, Gabriel, Larissa, Leonel, Natasha e Rayara, que convivi, compartilhei diariamente momentos e lembranças que nunca sairão do meu coração, além da amizade consolidada entre nós.

Aos meus amigos Júlio César e Virna, pelo auxílio e desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu querido Orientador, Joabel Raabe, por toda orientação, conhecimento repassado, incentivo e paciência durante a realização deste trabalho.

Ao professor, João Miguel Santos Dias pela ajuda e execução do projeto.

Ao grupo Arboris, pela parceria, confiança e apoio à pesquisa.

A Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, pela oportunidade concedida para a concretização deste curso.

RESUMO

A preocupação com o uso racional dos recursos florestais levou ao desenvolvimento de tecnologias que garantissem a sustentabilidade do uso desses recursos. Por meio desta, começaram a surgir os painéis a base de madeira como: compensados, particulados e painéis de fibras. O processo de fabricação proporciona ao painel compensado múltiplas aplicações e algumas vantagens em relação ao uso da madeira maciça. No entanto, o controle das propriedades deste tipo de painel, ainda é um aspecto desafiador para indústria. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados de (Paricá) *Schizolobium amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby, tipo exportação, produzidos no Sudeste do Pará. Para a análise do comportamento físico-mecânico das amostras, foram consideradas as propriedades de densidade aparente; umidade; absorção e inchamento de água, flexão estática (longitudinal e transversal), cisalhamento/qualidade da linha de cola (F_v) e cisalhamento na linha de cola. Os resultados médios obtidos foram: 0,43% g.cm⁻³ (densidade aparente); 12% (umidade); 143,4% (absorção de água) e 6,0% (inchamento em espessura). Os resultados dos ensaios de flexão mostraram que os painéis possuem um melhor desempenho sendo submetidos a flexão longitudinal quando comparados a seu uso sob flexão perpendicular, já os ensaios de resistência a flexão e tensão de cisalhamento indica uma possibilidade de maiores estudos quanto as características da madeira e do processo de colagem de forma a reduzir as falhas que possam influenciar no desempenho mecânico dos painéis. Tais valores obtidos para painéis compensados de Paricá tipo exportação, atenderam os requisitos mínimos exigidos pelas normas trabalhadas.

Palavras-chave: Madeira amazônica. Ensaios. Qualidade.

ABSTRACT

The concern with the rational use of forest resources led to the development of technologies that would guarantee the sustainability of the use of these resources. Through this, wood-based panels began to emerge, such as plywood, particulate and fiberboard. The manufacturing process provides the plywood panel with multiple applications and some advantages over the use of solid wood. However, controlling the properties of this type of panel is still a challenging aspect for the industry. Therefore, the present work aims to determine and evaluate the physical and mechanical properties of plywood panels of (Paricá) *Schizolobium amazonicum* Huber x Ducke Barneby, export type, produced in Southeast Pará. For the analysis of the physical-mechanical behavior of the samples, the apparent density properties were considered; moisture; water absorption and swelling, static bending (longitudinal and transverse), glue line shear/quality (F_v) and glue line shear. The average results obtained were: 0.43% g.cm^{-3} (apparent density); 12% (moisture); 143.4% (water absorption) and 6.0% (thickness swelling). The results of the bending tests showed that the panels have a better performance being subjected to longitudinal bending when compared to their use under perpendicular bending, since the tests of resistance to bending and shear stress indicate the possibility of further studies regarding the characteristics of the wood and the bonding process in order to reduce failures that could influence the mechanical performance of the panels. Such values obtained for export-type Paricá plywood panels met the minimum requirements demanded by the worked norms.

Keywords: Amazon wood. Essays. Quality.

LITA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espécie Paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber x Ducke) Barneby.....	15
Figura 2 - Representação gráfica das lâminas dispostas no painel compensado de Paricá	19
Figura 3 - Layout de corte dos corpos de prova	20
Figura 4 - Corpos de prova utilizados o teste de umidade	21
Figura 5 - Corpos de prova para ensaio de flexão estática.....	22
Figura 6 - Corpos de prova para ensaio de cisalhamento	26
Figura 7 - Tipos de rompimento apresentados na área de cisalhamento	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio e normas para painéis compensados de madeira.....	20
Tabela 2- Amostragem de corpos de prova por painel compensado.....	23
Tabela 3 - Valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das propriedades físicas determinadas em painel compensado de Paricá, tipo exportação.....	28
Tabela 4 - Resultados para análise de variância para E_M e F_M nos diferentes sentidos ensaiados.....	29
Tabela 5 - Resultados do teste de Student para as médias de E_M e F_M e análise estatística descritiva.....	30
Tabela 6 - Estatística descritiva dos ensaios de cisalhamento/qualidade da linha de cola.....	31
Tabela 7 - Requisitos mínimos para cisalhamento, conforme descrito na norma EN 314-2 (1993).....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Painéis compensados	13
3.2 Importância e vantagens dos painéis compensados	13
3.3 A espécie <i>Schizolobium amazonicum</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber x Ducke) Barneby	14
3.4 Propriedades físicas da madeira	15
3.4.1 Densidade	16
3.4.2 Umidade da madeira	16
3.4.3 Absorção de água e inchamento em espessura	17
3.5 Propriedades mecânicas dos painéis compensados	17
3.5.1 Flexão estática longitudinal e transversal	17
3.5.2 Cisalhamento	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Testes físicos	23
4.1.1 Densidade aparente	23
4.1.2 Umidade	23
4.1.3 Inchamento em espessura e Absorção de água	24
4.2 Testes mecânicos	25
4.2.1 Flexão estática longitudinal e transversal	25
4.2.2 Cisalhamento	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal possui grande evidência dentro da economia brasileira. Atualmente um dos principais segmentos que se destacam é o da produção de painéis de madeira, que vêm contribuindo positivamente para o crescimento da economia e da balança comercial brasileira (IBÁ, 2022). Além disso, o dinamismo das novas tecnologias desenvolvidas pelos diferentes segmentos do setor florestal, especialmente o de painéis de madeira reconstituída, tem gerado renda e emprego nos setores de construção civil e moveleiro (LOPES, 2014).

Os painéis de madeira apresentam-se de múltiplas formas, com destaque aos compensados. Estes são fabricados a partir de um número ímpar de finas lâminas de madeira através da incorporação de uma resina apropriada ao seu uso final. Estas finas lâminas de madeira são coladas sob pressão e temperatura de maneira que a compensação de forças é realizada por meio da disposição perpendicular das fibras das lâminas adjacentes (MATTOS et al., 2008).

Os parques industriais de painéis compensados de madeira, produzidos no Brasil, estão pulverizados em todo território nacional (IBÁ, 2022). Isso se deve, especialmente pelo baixo custo de investimento quando comparado com plantas industriais de painéis de fibras (MDF, por exemplo), bem como pela alta diversidade de espécies florestais (nativas ou exóticas) que podem ser utilizadas para fabricação de compensados.

Em 2019, a área total de árvores plantadas totalizou 9,0 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação a 2018 (8,79 milhões de hectares, considerando o ajuste conforme nova metodologia). Desse total, a maioria (77%) é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares, e 18% de pinus, com 1,64 milhão de hectares. Além desses cultivos, existem 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2021).

De acordo com o relatório da Indústria brasileira de árvores (IBÁ, 2021), o Brasil apareceu em sexto lugar no ranking mundial de produção de painéis compensados, com uma fabricação de 2,7 milhões de m³. Desse montante, 66% foram destinados para exportação e 34% para o consumo doméstico. Isso mantém o painel compensado como o produto de madeira mais vendido pelo país no mercado internacional (HELIODORO, 2021).

Além disso, a crescente demanda do mercado por produtos de madeira com características cada vez mais apropriadas a condições específicas, tem impulsionado o segmento a produzir painéis com tecnologias capazes de atender estas especificidades.

De modo geral, os painéis compensados possuem bom desempenho e alta durabilidade, principalmente por possuírem utilidades associadas as suas propriedades físicas e mecânicas diretamente relacionadas as características de estabilidade dimensional, resistência a fixação de parafusos e uniformidade da superfície (ABIMCI, 2019). Tais aspectos mostram a importância dessas propriedades para esse tipo de painel.

Com isso, as propriedades físicas e mecânicas das madeiras e seus produtos são muito importantes no que se refere às aplicações a que serão destinadas. Estudos realizados por diversos autores, mostram a importância das propriedades, sendo elas: densidade aparente, umidade, absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática e cisalhamento/qualidade de colagem (MENDES, 2010; SOZO, 2017; BATISTA, 2018; HELIODORO, 2021).

Portanto, o presente estudo é baseado na hipótese que para a avaliação e determinação dos painéis compensados de (Paricá) *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby, tipo exportação, é necessário que apresentem propriedades físicas e mecânicas condizentes com as especificações exigidas pelas normas técnicas e também pela literatura. O estudo dessas propriedades é de fundamental importância para que seja possível a avaliação de seu comportamento quanto a sua resistência. Tal pesquisa se torna uma informação significativa e determinante para as diversas aplicabilidades destes painéis, uma vez que refletem diretamente na sua qualidade e entrega ao consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados de Paricá, tipo exportação, produzidos no Sudeste do Pará.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar se o painel compensado de Paricá possui propriedades físicas e mecânicas condizentes com as especificações exigidas;

Apresentar melhorias dos painéis compensados mediante identificação de aspectos relacionados as suas propriedades físicas e mecânicas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Painéis compensados

De maneira geral, existem duas classificações distintas de painéis: os confeccionados com base na madeira processada mecanicamente e os que são feitos a partir da madeira reconstituída. O primeiro tipo é formado por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça. Já o segundo, são fabricados com base no processamento químico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação.

Os painéis compensados são fabricados com madeiras em lâminas, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de adesivos fenólicos, com destaque para o adesivo uréia-formaldeído. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e painéis (BNDS, 2008).

Os painéis são formados por lâminas de madeira, justapostas em camadas ímpares, coladas entre si de maneira que a direção da grã de camadas adjacentes forme um ângulo de 90° entre si (DIAS, 2005). A sua aplicação pode ser bastante variada, sendo destinada para setores diversos, como indústria moveleira, construção civil, naval, entre outros.

3.2 Importância e vantagens dos painéis compensados

A indústria madeireira é muito importante para a economia brasileira, especialmente por meio da dinâmica das novas tecnologias relacionadas a geração de renda e emprego na indústria moveleira e de construção civil. Ainda, existe uma crescente demanda do mercado em substituir os produtos de madeira sólida por painéis à base de madeira que atendam às necessidades específicas dos mesmos, diminuindo a crescente pressão ambiental exercida por diversos setores da sociedade (IWAKIRI, 2005).

As vantagens dos painéis de madeira em relação à madeira sólida são perceptíveis já no início do processo de fabricação, pois o aproveitamento da tora é expressivo, obtendo altos índices de rendimento quando comparado à conversão de madeira serrada, que geralmente apresenta baixo aproveitamento e perdas consideráveis (GONÇALVEZ, 2000).

Nessa perspectiva, a crescente demanda do mercado por peças de madeira

com qualidade controlada e o avanço do setor tecnológico, contribui para a diminuição gradativa do uso de madeira serrada, sendo substituída por produtos engenheirados de madeira, os quais foram desenvolvidos em resposta a uma necessidade por madeira de alta qualidade, determinado comprimento num período de escassez deste material nos recursos florestais (PEDROSA, 2003).

A forma peculiar de construção do compensado confere maiores estabilidades dimensionais e resistência físico-mecânica do que a madeira sólida, que por ser heterogênea e anisotrópica, apresenta algumas limitações quanto à utilização. Isto ocorre em virtude da elevação da densidade do painel em relação à madeira maciça, resultando em produtos com melhor estabilidade dimensional e melhor distribuição da resistência nos sentidos longitudinal e transversal (IWAKIRI et al., 2005).

Segundo Prata (2006), as vantagens do painel compensado sob a madeira sólida são:

- facilidade de produzir painéis com diferentes dimensões dependendo somente da capacidade de produção de cada empresa;
- a resistência se apresenta de forma uniforme em toda extensão do painel;
- na laminação, o rendimento da tora é maior do que no desdobro da madeira serrada;
- diminuição da anisotropia da madeira em relação a madeira serrada, devido ao princípio da disposição perpendicular das lâminas adjacentes;

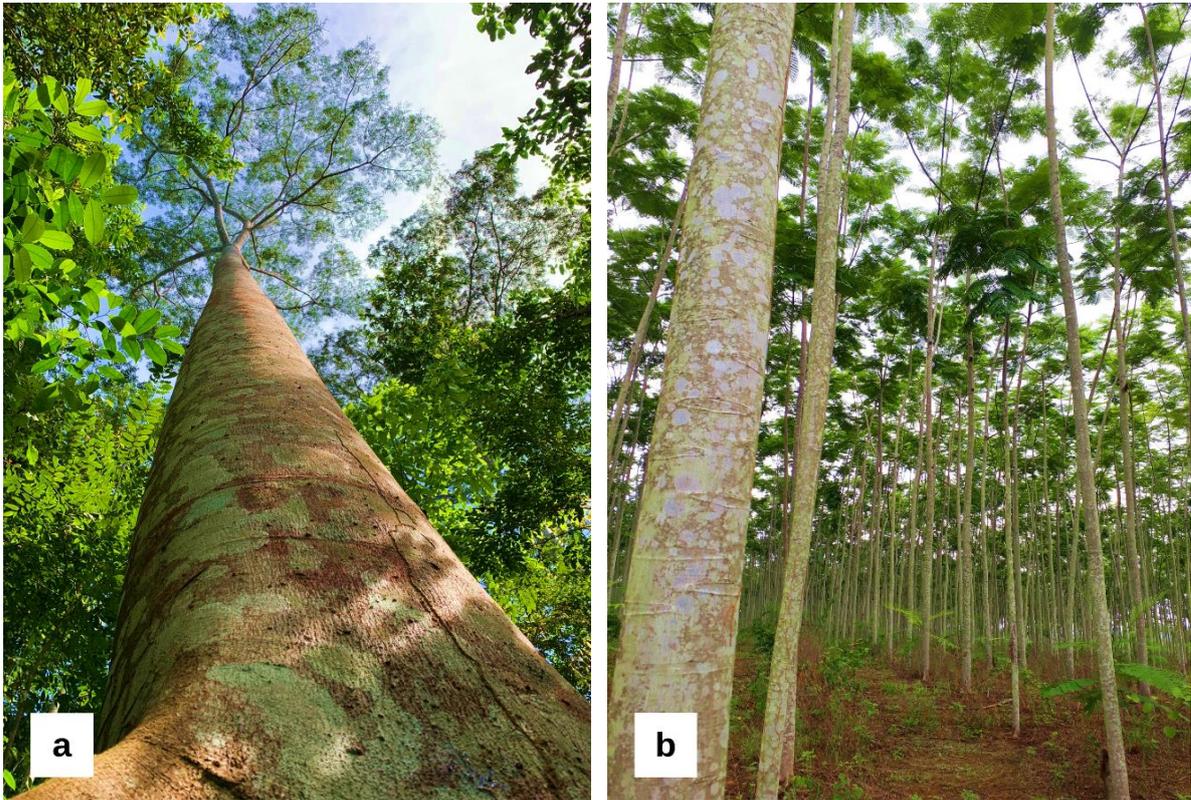
Nessa perspectiva, o setor florestal e madeireiro, passou a investir em alternativas, como implantação de florestas plantadas com espécies nativas regionais. Uma dessas espécies que se destaca na região Amazônica é o (Paricá) *Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. Esta espécie demonstra ser uma excelente alternativa quanto aos aspectos silviculturais, por apresentar um crescimento acelerado e pode ser implantada em plantios homogêneos ou consorciados. Além disso, a madeira apresenta características tecnológicas favoráveis à produção de lâminas e compensados (IBÁ, 2019).

3.3 A espécie *Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby

O Paricá é uma árvore de grande porte, podendo atingir de 15 a 40 m de altura e de 50 a 100 cm de diâmetro sendo medido a 1,30 metros de altura em relação ao

nível do solo (Figura 1). Por ser uma espécie pioneira apresenta crescimento rápido, possuindo um fuste alto e esbelto, sem ramificações, o que a torna uma alternativa interessante para plantios comerciais e reflorestamento (SOUZA et al., 2003).

Figura 1: Espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby.



Fonte: Grupo Arboris (2022).

Essa espécie ocorre em matas primárias ou secundárias de solos argilosos, que podem possuir alta ou baixa fertilidade, em terra firme e várzea alta, sendo uma espécie pioneira, além disso, a espécie tem a capacidade de crescer em ambientes com modificações antrópicas, o que a torna interessante para a recuperações de áreas degradadas (DUCKE, 1949).

3.4 Propriedades físicas dos painéis

As propriedades físicas dos painéis compensados englobam as características inerentes da espécie tais como: densidade aparente, teor de umidade, retratibilidade (absorção e dessorção de água). A aplicabilidade do estudo dessas propriedades são todas condicionadas as normas regulamentadoras, como a ABNT NBR 17002 (2021); EN 323 (1993); EN 322 (1993); EN 317 (1993); EN 314 – 1 e 2 (1993), que

estabelecem os métodos de ensaio apropriados para testes e os requisitos mínimos que norteiam a fabricação dos painéis compensados.

3.4.1 Densidade aparente

Uma das variáveis mais importantes e que regula as propriedades da chapa, é a densidade da própria matéria-prima. Esta propriedade tem sido um fator importante na determinação de que espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis, logo, atreladas a sua aplicação e ao desenvolvimento tecnológico em que os compensados possam apresentar. De maneira geral, as madeiras que apresentam densidade mais reduzida possibilitam uma produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (MALONEY, 1993).

De acordo com Melo (2016), a densidade é considerada a propriedade física mais importante para a caracterização de madeiras destinadas à construção civil, e também para as indústrias de móveis e chapas. O autor aponta ainda que, a densidade é um parâmetro referencial de qualidade da madeira para determinar usos, e está diretamente relacionada a outras importantes características como resistência e umidade.

Ainda, a densidade é definida como a quantidade de massa contida na unidade de volume, ou a relação entre peso e volume de amostra, sendo também chamada de peso específico, em que a massa e o volume representa a parte sólida (madeira), líquida (água) e vazios celulares e intercelulares.

3.4.2 Umidade da madeira

A madeira por ser considerada um material semiporoso e higroscópico, tem a capacidade de absorver umidade quando o ambiente está úmido e perder umidade quando o ambiente está seco. Seu comportamento higroscópico é uma das características mais importantes no estudo de algumas propriedades físicas, pois influencia na resistência mecânica, na secagem e preservação, na durabilidade natural, na trabalhabilidade, nos acabamentos e na produção de produtos derivados (MELO, 2002).

Além disso, a umidade influencia a qualidade dos compensados usadas na indústria, o que conseqüentemente afeta também a qualidade dos produtos. Ainda, o controle de umidade em madeira também está ligado com a densidade e resistência

do material, assegurando uma matéria prima de qualidade superior.

Portanto, a umidade da madeira compensada corresponde à relação entre a massa de água nela contida e a massa da madeira seca.

3.4.3 Absorção de água e inchamento em espessura

Os defeitos mais comuns que ocorrem nos painéis compensados e que estão relacionados às propriedades de retração e inchamento são as rachaduras internas e superficiais, os empenamentos e as variações de suas dimensões ao longo do tempo de uso (GAVA, 2012). O autor aponta ainda que, os componentes construtivos apresentam frestas, distorções de formas e alterações nas dimensões que comprometem seu desempenho geral, chegando muitas vezes a inviabilizar o uso.

Portanto, torna-se indispensável o estudo dos fatores relacionados à variação dimensional dos painéis compensados para melhor compreensão do fenômeno de retração e inchamento, bem como definir os procedimentos mais adequados para minimizar seus efeitos na produção de componentes construtivos na construção civil.

3.5 Propriedades mecânicas dos painéis compensados

As propriedades mecânicas definem o comportamento do compensado quando sujeitos à esforços mecânicos, pois estas estão relacionadas à capacidade do material de resistir ou transmitir estes esforços aplicados sem romper e sem se deformar de forma incontrolável e irreversível.

3.5.1 Flexão estática longitudinal e transversal

A flexão estática é a propriedade mecânica que se refere à variação do painel compensado quando submetido a uma força na sua face tangencial. Essa força até determinado ponto conhecido como limite proporcional ou limite elástico, causa apenas deformações elásticas, ou seja, reversíveis, a partir de então, as deformações passam a ser plásticas, denominadas irreversíveis (MORESCHI, 2010).

Para esse propósito, dois parâmetros são determinados nos testes de flexão estática: o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). Ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, e conseqüentemente suas possíveis aplicações práticas (MOREIRA, 1999). Segundo Scanava Junior e Garcia (2004), o MOE é de maior importância na caracterização tecnológica do material, uma vez que, recebe uma força aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, podendo

assim representar a resistência da mesma.

3.5.2 Cisalhamento

Nos painéis compensados, o cisalhamento é a separação das fibras por uma tensão de tração aplicada em paralela a elas. A resistência ao cisalhamento da madeira é diretamente proporcional à sua densidade, mas depende principalmente da direção em que a tensão é aplicada em relação aos anéis de crescimento da madeira onde geralmente a quebra é determinada no plano tangencial ou radial (MORESCHI 2010).

No plano tangencial, existe uma grande influência da diferença inicial entre a madeira de lenho inicial e lenho tardio. No plano radial, há uma grande influência devido ao crescimento da madeira. Madeira com raios espaçados tem baixa resistência ao cisalhamento em comparação com anéis de crescimento mais estreitos. No plano tangencial existe uma forte influência do crescimento de árvores, ou a diferença de resistência entre as madeiras novas e velhas (HARA et al., 2014).

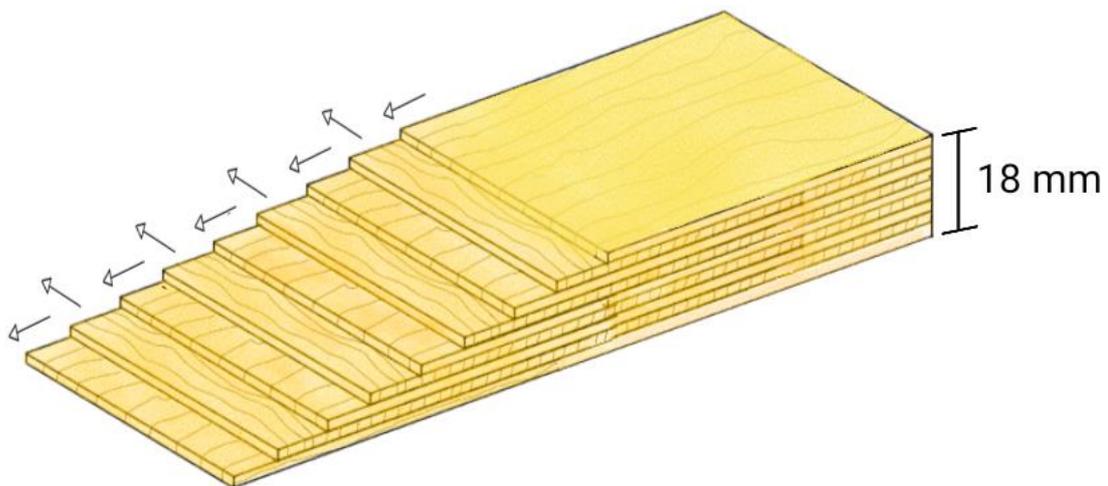
Dessa forma, as propriedades físicas e mecânicas são estabelecidas através de avaliação qualitativa e quantitativa em amostras de madeira. Logo, a determinação e o conhecimento dessas propriedades são imprescindíveis para a escolha do material para uma determinada aplicação, bem como para o projeto e fabricação do componente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios físicos e mecânicos, foram utilizados painéis doados pela ADECO, empresa pertencente ao Grupo Arboris, localizada na rodovia BR 010, km 016,5, no município de Dom Eliseu/Pará. Os corpos de prova foram obtidos a partir de 12 painéis compensados de Paricá e extraídos com o auxílio de uma serra circular. Os mesmos, foram produzidos a partir da madeira de árvores plantadas com idade de aproximadamente 7 anos, procedente de plantios localizados na região do Sudeste do Pará.

Os painéis compensados possuem nove lâminas finas, cada uma com dois milímetros em espessura, totalizando dezoito milímetros de espessura total (Figura 2).

Figura 2: Representação gráfica das lâminas dispostas no painel compensado de Paricá.

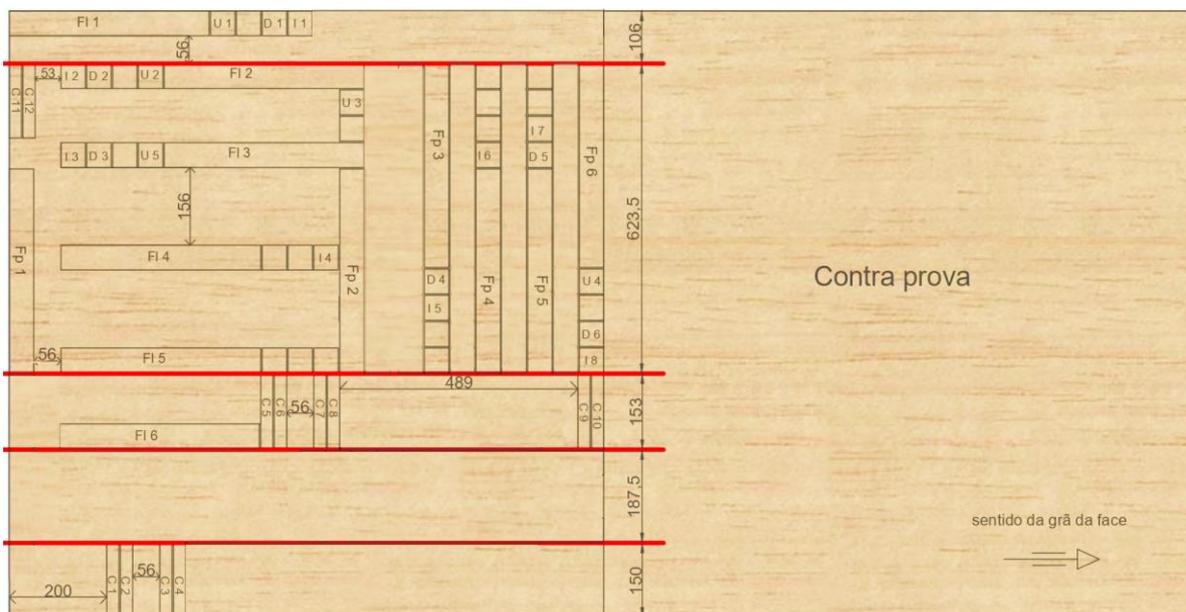


Legenda: As setas indicam a direção das fibras na lâmina

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os painéis compensados, do tipo exportação, foram selecionados na indústria de forma aleatória, seguindo as recomendações contidas na Norma ABNT NBR-17002:2021 (ABNT, 2021) conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Layout de corte dos corpos de prova.



Legenda: Painel compensado e corpos de prova representados pelas letras (D=Densidade; U=Umidade; L=Inchamento e absorção de água. FI e Fp – corpos de prova para ensaio de flexão longitudinal e paralela a grã respectivamente, c- corpos de prova de cisalhamento. A linha em vermelho representa o sentido do corte no painel.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A etapa de realização dos ensaios físicos foi desenvolvida no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) campus Imperatriz. Foram utilizados equipamentos e infraestrutura dos laboratórios do centro, com destaque para o laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira. Já os ensaios mecânicos, foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção (LEMATCON) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), localizado no campus de Açailândia – MA. As análises foram realizadas separadamente para cada propriedade estudada.

A avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados foi realizada utilizando-se modelos matemáticos e atendendo-se às prescrições das normas europeia para painéis tipo exportação, indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaio e normas para painéis compensados de madeira

Ensaio	Norma
Densidade aparente	EN 323 - 1993
Umidade	EN 322 - 1993
Inchamento e absorção (estabilidade dimensional)	EN 317 - 1993
Flexão estática (longitudinal e transversal - $E_{M,l}$; $E_{M,t}$; $f_{M,l}$; $f_{M,t}$)	EN 310 - 1993
Qualidade da colagem / cisalhamento da linha de cola (f_v)	EN 314 - 1 EN 314 - 2 (2002)

Legenda: $E_{M,l}$ - módulo de elasticidade à flexão longitudinal; $E_{M,t}$ - módulo de elasticidade à flexão transversal; $f_{M,l}$ - resistência à flexão longitudinal; $f_{M,t}$ - resistência à flexão transversal; f_v - tensão de ruptura.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a confecção dos CP's, seguiu-se o dimensionamento proposto pela Norma ABNT NBR 17002:2021 (ABNT, 2021), em que as medidas são: 10 cm x 5 cm (densidade aparente); 10 cm x 5 cm (umidade) conforme (Figura 4); e 5 cm x 5 cm (absorção de água e inchamento).

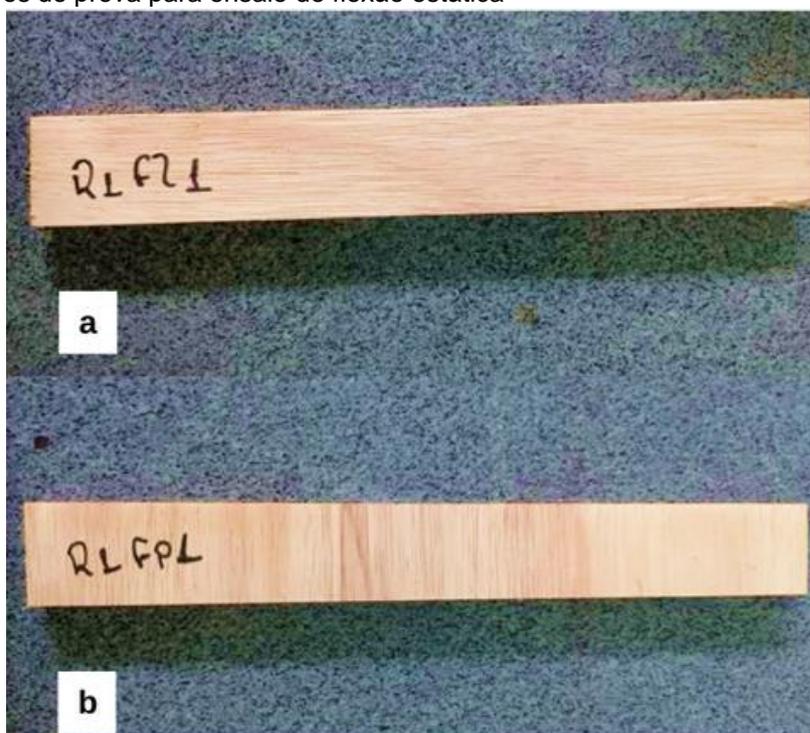
Figura 4: Corpos de prova utilizados no teste de umidade.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na confecção dos CP's dos ensaios mecânicos em especial o de flexão estática, buscou-se retirar amostras no sentido longitudinal e paralelo ao sentido da grã, conforme sugerido pela norma e mostrado anteriormente na Figura 3. Os ensaios mecânicos (flexão estática e cisalhamento na linha de cola), foram realizados com o auxílio de uma máquina universal de ensaios Instron (Modelo 3382A), com capacidade de carregamento de até 100 KN.

Para os ensaios de flexão, foram confeccionadas 12 amostras por painel, sendo 6 no sentido longitudinal em relação ao sentido da grã e 6 no sentido perpendicular a grã, considerando as recomendações da norma em que os CP's tiveram dimensões nominais de 5 cm x 48 cm x 1,8 cm (Figura 5).

Figura 5: Corpos de prova para ensaio de flexão estática



Legenda: a) corpos de prova orientados no sentido longitudinal a grã, b) corpos de prova orientados no sentido perpendicular a grã.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para os ensaios de cisalhamento/qualidade da linha de cola, foram preparadas 10 amostras por painel com dimensões de 15 cm x 25 cm x 1,8 cm. A área de cisalhamento foi definida conforme a norma EN 314 -1 (2002), sendo de 2,5 cm x 2,5 cm.

Além disso, o número dos CP's para cada propriedade analisada foi estabelecido também segundo recomendações da norma ABNT NBR 17000 (2021)

conforme (Tabela 2).

Tabela 2: Amostragem de corpos de prova por painel compensado.

Propriedade	N° de amostras por painel
Densidade aparente	6
Umidade	4
Inchamento e absorção de água	5/8
Flexão estática longitudinal e transversal	12
Cisalhamento/Qualidade da linha de cola	10

Fonte: NBR 17002 (2021).

4.1 Testes físicos

4.1.1 Densidade aparente

A determinação da densidade aparente a 0% de umidade foi realizada com auxílio de uma balança analítica 0,01g, (modelo S2202H) e paquímetro digital 0,1 mm (modelo Lcd Digital Vernier/Fibra de Carbono). Inicialmente, os CP's foram secos em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ no qual sua massa foi determinada. Logo após, foram realizadas medições das dimensões de cada corpo de prova, para então a densidade aparente ser determinada por meio da Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \quad (\text{Eq.01})$$

Onde:

ρ = densidade aparente á 0% de umidade ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

m = massa do corpo de prova (g);

b_1 e b_2 = Largura do corpo de prova (cm);

t = espessura do corpo de prova (cm);

4.1.2 Umidade

A determinação da umidade foi realizada conforme recomendação da norma da EN 322 (1993). O documento normativo não especifica nenhum dimensionamento para os corpos de prova, somente que cada amostra deve ter no mínimo 20g.

Portanto, para a execução deste teste foram utilizadas as amostras do ensaio de densidade aparente nas quais todos os corpos de provas possuíam mais de 20g.

A determinação da massa dos corpos de prova deu-se em uma balança analítica com precisão de 0,01g. Após esse procedimento, os CP's foram colocados em uma estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem a massa constante. Depois desta etapa, a massa foi novamente determinada, estabelecendo-se a massa seca para cada CP. Assim, a umidade foi determinada a partir da Equação 2.

$$U = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (\text{Eq.02})$$

Onde:

U = Umidade (%);

Mu = massa úmida (inicial) do corpo de prova (g);

Ms = massa seca (final) do corpo de prova em (g);

4.1.3 Inchamento em espessura e Absorção de água

Com base na norma da EN 317 (1993), realizou-se o ensaio para determinação do inchamento, a partir de CP's com dimensões de 5,0 cm x 5,0 cm x 1,8 cm. Inicialmente, os CP's foram secos na estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até atingirem massa constante ou peso anidra, condição na qual foram aferidas as dimensões dos CP's.

Posteriormente, os CP's foram imergidos em água até atingirem massa constante, para então, serem feitas as medições de suas dimensões na condição saturadas. As medidas de inchamento em espessura no centro de cada amostra foram realizadas com auxílio de um micrômetro com precisão de 0,01 mm.

Após as etapas anteriormente citadas e mediante os dados coletados foi possível determinar o inchamento em espessura (Equação 03).

$$I = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde:

I = Inchamento em espessura (%);

t_1 = inchamento inicial em espessura (mm);

t_2 = inchamento final em espessura (mm);

Para a determinação da absorção de água, primeiramente determinou-se a massa seca dos CP's em uma balança analítica com precisão de 0,01g. Em seguida, os CP's foram imersos em água por 24 horas, e após este período foi determinado a sua massa úmida. Com os dados das massas obtidas, calculou-se a absorção de água (Equação 04).

$$Ab_s = \frac{ms - m_i}{m_i} \times 100 \quad (\text{Eq.04})$$

Onde:

Abs = quantidade de água absorvida (%);

Ms = é a massa final do corpo de prova, após a imersão em água por 24 h (g);

Mi = é a massa inicial do corpo de prova (g);

4.2 Testes mecânicos

4.2.1 Flexão estática longitudinal e transversal

A determinação dos módulos de elasticidade (E_M) e de ruptura (F_M) foram calculados utilizando-se as Equações 5 e 6.

$$E_M = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \quad (\text{Eq.05})$$

$$F_M = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2bt^2} \quad (\text{Eq.06})$$

Onde:

E_M : módulo de elasticidade (MPa);

F_M : módulo de ruptura (MPa);

F_{max} : força máxima de ruptura (N)

F_1 e F_2 : incremento de carga dentro da linha de proporcionalidade (N).

a_1 e a_2 - deflexão do corpo de prova correspondente a F_1 e F_2 ;

l_1 , b e t - são, respectivamente, o comprimento, largura e espessura do corpo de prova

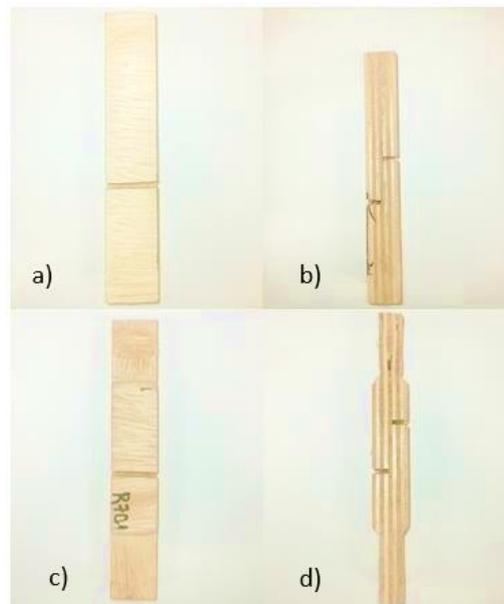
em (mm).

4.2.2 Cisalhamento

Para os ensaios de cisalhamento/qualidade da linha de cola, foram preparadas 10 amostras por painel com dimensões de 2,5 cm x 15 cm x 1,8 cm (Figura 7). A área de cisalhamento foi definida de acordo com as recomendações contidas na norma EN 314 – 2 (2002), sendo de 2,5 cm x 2,5 cm².

Para a realização do ensaio foi necessário a adaptação do corpo de prova ao espaço de abertura das garras de tração do equipamento utilizado. As adaptações foram feitas de modo a não influenciar no rompimento do corpo de prova na área de cisalhamento (Figura 6).

Figura 6: Corpos de prova para ensaio de cisalhamento.



Legenda: a e b – visões frontal e lateral do cp retirado do painel, c e d – visões frontal e lateral do cp após adaptação para o ensaio.

Fonte: Elaborado pela autora (2002).

A determinação da força de cisalhamento na linha de cola foi realizada mediante cálculo matemático, utilizando-se a Equação 7:

$$F_v = \frac{F}{l_1 b_1} \quad (\text{Eq. 07})$$

Onde:

F_v : força de cisalhamento;

F : força máxima de ruptura (N);

l_1 e b_1 : são, respectivamente, o comprimento e a largura da área de cisalhamento (mm).

Para a análise dos dados, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 12 repetições, sendo 45 amostras por repetição, totalizando 540 amostras.

Os dados foram processados com auxílio da planilha eletrônica Excel (Microsoft), sendo que para todos os ensaios físicos e para os ensaios mecânico de flexão estática e cisalhamento na linha de cola (qualidade da colagem) determinaram-se as principais estatísticas descritivas. Entretanto, para os ensaios mecânicos de flexão estática longitudinal e paralela ao sentido da grã das fibras (Módulo de ruptura - MOR e Módulo de elasticidade - MOE), foi empregado o teste Tukey ($p \leq 0,05$), para as médias detectadas como significativas pelo teste de F ($p \leq 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados obtidos por meio dos ensaios físicos realizados em CP's de painel compensado de Paricá tipo exportação.

Tabela 3: Valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das propriedades físicas determinadas em painel compensado de Paricá, tipo exportação.

Propriedade	Mínimo	Média	Máximo	DP	CV (%)
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	0,39	0,43	0,45	0,02	4,2
Umidade (%)	11,1	12,0	13,1	0,9	7,1
Absorção de água por 24 h (%)	120,6	143,3	154,7	9,5	9,5
Inchamento em espessura (%)	2,2	6,0	8,0	1,4	23,7

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A densidade aparente (a 0% de umidade) média encontrada nos compensados foi de 0,43 g.cm⁻³, próxima ao valor encontrada por Costa (2015) que foi de 0,42 g.cm⁻³. Entretanto, o valor médio de densidade foi superior aos valores encontrados por Almeida et al. (2013) ao trabalharem com madeira sólida de Paricá - 0,37 g.cm⁻³.

Segundo Kollmann et al. (1975) citado por Costa (2015) a razão que explica a densidade aparente de um painel ser maior que a da madeira sólida é a densificação de um painel de lâminas depender do tipo e qualidade da madeira que o constitui, a quantidade de cerne e alburno presentes nas lâminas, quantidade de adesivo, assim como o teor de umidade e parâmetros de prensagem utilizado na sua manufatura.

O valor médio de umidade encontrado para os painéis compensados avaliados está de acordo com o valor recomendado pela norma EN 322 (CEN,1993). Campos et al. (2009), ao estudarem painéis compensados de *Pinus* sp., confeccionados com cinco lâminas e resina poliuretana bi-componente, obtiveram umidade média de 9,2%, ligeiramente mais baixa ao obtido que dos compensados de Paricá, aqui avaliados. Lima (2011) trabalhando com painéis compensados e LVL de nove lâminas, fabricados com *Cordia goeldiana*, *Parahancornia amapa*, *Pterodon pubescens* e *Pinus* sp., colados com o adesivo resorcinol-formaldeído, obtiveram para os compensados, valores médios de teor de umidade variando entre 8% e 11% e para o LVL a variação foi de 10,5% a 12,6%. Os valores de umidade encontrados neste trabalho foram

similares com os valores apresentados nas pesquisas descritas acima, para o tipo de painel estudado.

Os resultados de absorção encontrados neste trabalho foram de 120,6% (valor mínimo); 154,7% (valor máximo); e 143,4% (valor da média), que ficaram acima do mencionado em literatura. Muller et al. (2015), ao avaliarem painéis LVL com diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*, fabricados com cinco lâminas e adesivo fenolformaldeído, encontraram valores médios entre 22,19% e 42,55%, para 24 horas de absorção de água, sendo esses valores inferiores aos valores relatados neste trabalho. Como as normas europeia não estabelecem valores mínimos para a propriedade física mencionada, provavelmente este fato, ocorreu devido ao tipo de madeira utilizado na confecção dos painéis.

O Paricá é uma madeira que apresenta elevada porosidade, isso pode ter favorecido a entrada de água no painel e conseqüentemente aumentando consideravelmente sua massa, favorecendo assim, uma maior absorção de água em seu valor percentual (MENDOZA, 2010).

Quanto ao inchamento em espessura observa-se um valor médio de 6% e uma variação 6% entre o mínimo e máximo. Para o estudo realizado por por Iwakiri et al. (2005) e Ferreira (2011) os valores de inchamento em espessura variaram entre 5 e 10% e 5 e 7%, respectivamente. Isso mostra que os resultados neste trabalho obtidos, estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.

Na Tabela 4, observa-se os resultados da análise de variância para os ensaios de flexão estática (E_M e F_M), para os diferentes sentidos da grã das lâminas superficiais do painel em relação ao maior eixo do CP.

Tabela 4: Resultados para análise de variância para E_M e F_M nos diferentes sentidos ensaiados.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		F Calculado		F Tabelado
		E_M	F_M	E_M	F_M	
Tratamento	1	35,4	491,7	47,8*	14,7*	4,3
Resíduo	22	0,7	33,6			
Total	23					

Legenda: * F calculado maior que F tabelado, o que indica uma diferença significativa entre os tratamentos

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os resultados dos ensaios de flexão apresentados na Tabela 4, mostram que

existe uma diferença significativa na resistência a flexão nos diferentes sentidos da grã da superfície tanto para o Módulo de Elasticidade (E_M), assim como para o Módulo de Ruptura (F_M) dos painéis amostrados.

Na Tabela 5 são exibidos os resultados da estatística descritiva e comparação dos valores médios dos ensaios de flexão pelo Teste t-Student.

Tabela 5: Resultados do teste de Student para as médias de E_M e F_M e análise estatística descritiva.

Ensaio	Orientação do ensaio	Média	Mín.	Máx.	Desvio Padrão	Coef. de Variação (%)	Teste T-Student
Módulo de Elasticidade - E_M (MPa)	Longitudinal a grã	7.465,6	6.042,4	9.236,8	1.021,2	13,7	**
	Perpendicular a grã	5.035,5	4.268,4	6.261,9	561,6	11,2	
Módulo de Ruptura - F_M (MPa)	Longitudinal a grã	38,0	32,5	46,1	4,4	11,6	**
	Perpendicular a grã	29,0	16,2	38,7	6,6	22,4	

Legenda: *** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Avaliando os valores apresentados na Tabela 3, é possível afirmar que as amostras de madeira orientadas no sentido longitudinal a grã tiveram um desempenho superior aos ensaiados no sentido perpendicular ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste t-Student.

Considerando que a norma para flexão estática (EN 310) não estabelece padrões mínimos para Módulo de ruptura e Módulo de elasticidade, os resultados descritos na Tabela 5 foram comparados a classificação proposta pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) para painéis de Pinus com 18 mm de espessura e 0,559 g.com⁻³ de densidade básica.

Assim, para E_M longitudinal e perpendicular, a ABIMCI (2002) estabelece os valores mínimos de 5.854,0 e 2.752,6 MPa, respectivamente. Considerando essa classificação, os valores médios de E_M longitudinal de 7.465,6 MPa e E_M e perpendicular de 5.035,5 MPa, encontrados para os painéis de Paricá encontram-se acima dos valores mínimos estipulados. Para os parâmetros de Módulo de Ruptura longitudinal e perpendicular os valores mínimos estabelecidos pela norma são de 18,5 e 26,8 MPa, respectivamente. Considerando essa classificação, os valores médios do

Módulo de Ruptura paralelo e perpendicular (38 MPa e 29 MPa, respectivamente) determinados para os painéis de Paricá encontram-se acima dos valores mínimos estipulados pela ABIMCI (2002).

Os valores médios apresentados na Tabela 5 de 7.465 MPa e 38,0 MPa, respectivamente, para os Módulos de elasticidade e de ruptura no sentido perpendicular foram superiores àqueles encontrados na literatura. Batista (2018) encontrou valores de 2.971 MPa e 24,4 MPa para E_M e F_M em pesquisas sobre propriedades mecânicas de painéis de compensados termo-densificados de Paricá de 18 mm de espessura e massa específica a 12 % de umidade de 0,40 g.cm⁻³. Iwakiri et al. (2011) com a pesquisa da qualidade de painéis de compensado de lâminas de Paricá de 2 mm de espessura e 0,31 g.cm⁻³ de densidade aparente, obtiveram valores inferiores a 4.300 MPa e 33,2 MPa para os ensaios de flexão estática (E_M e F_M) longitudinal.

Júnior (2010) em sua tese quanto a variabilidade e amostragem em painéis classificou as faixas de 9,84 a 24,83% para F_M e 8,05 a 20,98% para E_M são considerados médio. Todos os valores de CV % para os ensaios mecânicos (Tabela 5) encontram-se dentro da faixa proposta pelo autor. Isso possibilita afirmar que os painéis compensados de Paricá, tipo exportação, produzidos na indústria ADECO possuem uma variabilidade adequada, tendo em vista a homogeneidade das propriedades mecânicas de flexão estática, levando-se em consideração os baixos valores de coeficiente de variação.

Na Tabela 6 são exibidos os resultados da estatística descritiva para a qualidade da colagem, verificada pelo teste de cisalhamento na linha de cola para os painéis ensaiados.

Tabela 6: Estatística descritiva dos ensaios de cisalhamento/qualidade da linha de cola.

Ensaio	Mínimo	Média	Máximo	DP	CV (%)
Força de Cisalhamento (MPa)	1,1	1,3	1,8	0,2	14,0

Legenda: DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação;
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na Tabela 6 observa-se que o coeficiente de variação encontrado também é satisfatório e que a média de força de cisalhamento na linha de cola se encontra acima dos requisitos mínimos estabelecidos pela norma EN 314-2 (1993), conforme especificado na Tabela 7.

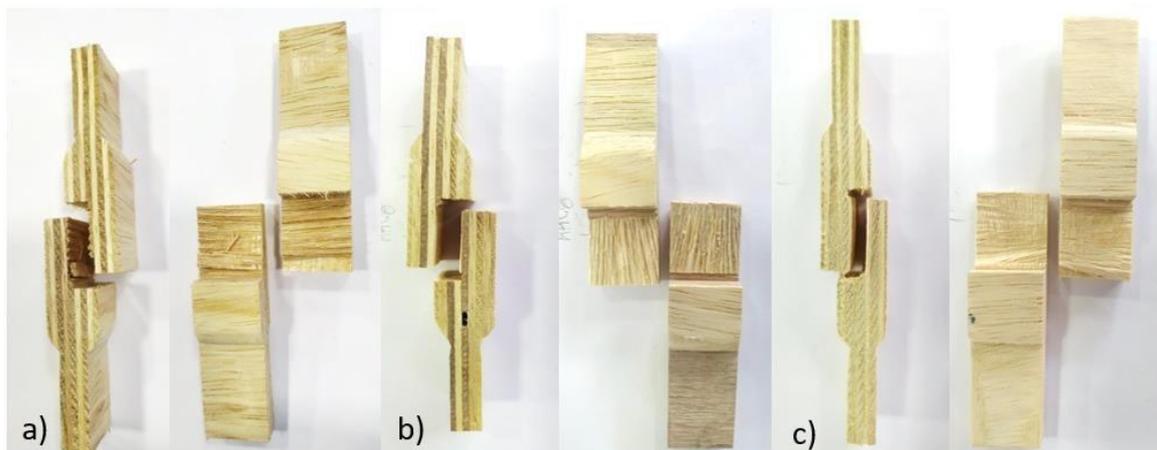
Tabela 7: Requisitos mínimos para cisalhamento, conforme descrito na norma EN 314-2 (1993).

Média de resistência ao cisalhamento f_v (MPa)	Média de ruptura por coesão aparente na madeira(%)
$0,2 \leq f_v \leq 0,4$	≥ 80
$0,4 \leq f_v \leq 0,6$	≥ 60
$0,6 \leq f_v \leq 1$	≥ 40
$1 \leq f_v$	Sem requisitos

Fonte: EN 314 -2 (1993) adaptado pela autora (2022).

Os painéis ensaiados obtiveram uma média de 1,3 MPa sendo esse um resultado superior ao requisito mínimo estabelecido pela norma de 1,0 MPa para ensaios onde não foi realizada análise de falha na madeira.

Além da força de cisalhamento, foi realizada uma avaliação visual da área da madeira cisalhada após a realização do ensaio. Nessa avaliação foram identificados três tipos de rompimento: perpendicular as fibras da lâmina, paralelo as fibras da lâmina, e rompimento na linha de cola, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Tipos de rompimento apresentados na área de cisalhamento.

Legenda: a) rompimento perpendicular ao sentido das fibras da lâmina, b) rompimento em paralelo ao sentido das fibras da lâmina, c) rompimento na linha de cola.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Dos corpos de prova ensaiados, 46% apresentaram um rompimento do tipo perpendicular ao sentido das fibras da lâmina, 34% apresentaram rompimento na linha

de colae 20% apresentaram rompimento em paralelo ao sentido das fibras. Desses resultados se destaca a porcentagem significativa de CP's que tiveram um rompimento na linha de cola, o que indica a presença de falhas de colagem nos painéis estudados.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que há uma necessidade de maiores estudos quanto as características da madeira e do processo de colagem a fim de - reduzir as falhas que possam influenciar no desempenho mecânico dos painéis.

A madeira do Paricá apresenta potencial para a produção de painéis compensados, desde que se dê uma maior atenção quanto ao seu uso, quando uma força perpendicular a grã estiver sendo aplicada, uma vez que no sentido da grã os painéis compensados de Paricá avaliados, apresentam menor resistência quando comparado ao sentido paralelo as fibras.

Os painéis compensados de Paricá apresentaram propriedades físicas e mecânicas condizentes ao resultados encontrados na literatura, bem como pelas normas estudadas. Permitindo inferir que, os painéis compensados de Paricá tipo exportação possuem boa qualidade quanto aos seus parâmetros avaliados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D H.; CALIL JUNIOR, C.; SCALIANTE, R. M.; MACEDO, L. B.; MACEDO, A. N.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L. **Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá em peças de dimensões estruturais**. Revista Árvore, v. 37, n.6, p. 1175- 1181, Viçosa, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 17002 Compensados – Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2021. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA.

BATISTA, P. R. **Propriedades físicas e mecânicas de compensados termo-densificados de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. 2018. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade de Brasília. DF. 2018.

BNDES- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Painéis de madeira no Brasil, panoramas e perspectivas**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1601.pdf>. Acesso em 16 de outubro de 2022.

CAMPOS, C. I.; MORAIS, R. D. V.; NASCIMENTO, M. F. **Caracterização físico-mecânica de painéis de madeira compensada produzidos com *Pinus* sp. e resina poliuretana bi-componente**. Revista Madeira Arquitetura & Engenharia, São Carlos, SP, v. 10, n.24, p. 37-50, jan/jun. 2009.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras: EMBRAPA - Informação tecnológica**. Brasília, DF. v 1. p. 1039, 2003. **compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus* spp.**

COSTA, M.A. **Efeito de diferentes estratégias de densificação sobre as propriedades de compensados e painéis de lâminas paralelas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p, 2015. Curitiba, 2003, 104p.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 178f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

DUCKE, A. **As leguminosas da Amazônia brasileira: notas sobre a flora neotrópica - II**. Belém: Instituto Agrônomo do Norte, 1949. 248 p. (Boletim Técnico, 18).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 317: Particleboards and fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water**. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 322: wood-based**

panels: determination of moisture content. Bruxelas, 1993a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 323**: wood-based panels: determination of density. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 310**: 1993: Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 314-1**: 1993: Plywood - determination of shear bonding strength. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 314-2**: 1993: Plywood - determination of shear bonding strength: part 2 requirements. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) **EN 326-1**: 1994: Wood-based panels – Sampling, cutting and inspection – Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. 1994.

GAVA, Maristela. **Inchamento e absorção de água por painéis sarrafeados**. Revista da madeira, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - UNESP -Câmpus Experimental de Itapeva, edição 130, fevereiro, 2012.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru, SP, 2000. 213-214 p.

HARA, M. M. **Proposta de método de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras mediante esforço induzido por punção do corpo de prova**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

HELIODORO, J. C. A. **Preservação de painéis compensados: estudo comparativo de processos, produtos e desempenhos**. 2021. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2017**. E-book. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2017.pdf>. Acesso em: set. 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório IBÁ 2019**. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2020.pdf. Acesso em: 24 de setembro de 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório IBÁ 2020**. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2020.pdf. Acesso em: 24 de setembro de 2022.

IWAKIRI, S. et al. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI, S., et al. **Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de *Schizolobium amazonicum***. FLORESTA, v.41, n.3, 451-458. 2011.

JÚNIOR, J. B. G. **Variabilidade e amostragem em painéis aglomerados**. Minas

Gerais, 2010. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras.

LIMA, N. N. **Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia.** 2011. 208 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

LOPES, M. F. **Avaliação do comércio e da qualidade de painéis de madeira compensada na cidade de Manaus-AM.** 2014. Dissertação (Ciências Florestais e Ambientais) -Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas. Amazonas. 2014.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing.** 2 ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689p.

MATTOS, R. L. G. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008. MECANICAMENTE - ABIMCI. Compensados de Pinus. Catálogo Técnico. Curitiba: 2002.20p.

MELO, J. E. **Estruturas em Madeira,** Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Brasília. Publicação Interna, Brasília, 2016.

MENDES, R. F. **Efeito do Tratamento Térmico sobre as propriedades de painéis OSB.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. 2010.

MENDOZA, Z. M. S. H. **Efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados fabricados com resíduos da indústria laminadora.** 2010. 128p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira.** 1999. 107f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORESHI, J, C. **Propriedades Tecnológicas da madeira,** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Publicação Interna, Curitiba, 2005.

MÜLLER, M. T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna*, *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL.** 2009, 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

PEDROSA, A.L. **Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e PRATA,** José Guilherme WILSON LOZAO RÉCIO. 2022. 77 f. Dissertação (Bacharel) – Faculdade Marechal Rondon Coordenação Do Curso De Administração, São Manuel, 2004. Disponível em: http://www.fmr.edu.br/moografia/2004/tr/tr_05.pdf. Acesso em 25 out. 2022.

PRATA, José Guilherme. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma**

fábrica de painéis compensados. 2006. 1006 f. Dissertação (Mestre) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduação/defesas/pdf_ms/2006/d449_0641-M.pdf>. Acesso em 11 de outubro de 2022.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Eucalyptus urophylla.** Piracicaba: Revista Scientia Forestalis, v.65, p.120-129, 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil florestal - 2006.** Disponível em: Acesso em: 12/11/2021.

SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não-destrutiva de painéis de lâminas paralelas confeccionados com madeira de Pinus oocarpa e P. kesiya.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 135f, 2009.

SOZO, P. A. M. **Potencial de utilização da madeira de Pinus patula na confecção de lâminas e produção de chapas de madeira compensada.** 2017. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos. 2017.

STAMATO, G. C. **Ligações em estruturas de madeiras compostas por chapas de madeira compensada.** 2002. 142 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002).