

UEMASUL



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
CAMPUS AÇAILÂNDIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

**SANDRIEL LIMA NASCIMENTO**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPENSADOS  
DE MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex.  
Ducke) Barneby) VISANDO A APLICAÇÃO ESTRUTURAL**

AÇAILÂNDIA – MA  
2023

**SANDRIEL LIMA NASCIMENTO**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPENSADOS  
DE MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber ex.  
Ducke) Barneby) VISANDO A APLICAÇÃO ESTRUTURAL.**

Este trabalho foi submetido ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, oferecido pelo Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras - CCHSTL, da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

N244a

Nascimento, Sandriel Lima

Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de compensados de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby) visando a aplicação estrutural - / Sandriel Lima Nascimento – Açailândia: UEMASUL, 2023.

17 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2023.

Orientador: Prof. Me. João Miguel Santos Dias

1. Compensado. 2. Caracterização físico-mecânica. 3. Estruturas. I. Título.

CDU 624.011.1

**SANDRIEL LIMA NASCIMENTO**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPENSADOS  
DE MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex.  
Ducke) Barneby) VISANDO A APLICAÇÃO ESTRUTURAL.**

Este trabalho foi submetido ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, oferecido pelo Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras - CCHSTL, da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 JOAO MIGUEL SANTOS DIAS  
Data: 07/07/2023 15:32:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Me. João Miguel Santos Dias (Orientador)**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente  
 BRUNO LUCIO MENESES NASCIMENTO  
Data: 07/07/2023 15:38:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dr. Bruno Lucio Meneses Nascimento**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente  
 SANDRO FABIO CESAR  
Data: 06/07/2023 22:30:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dr. Sandro Fábio César**  
Universidade Federal da Bahia

**Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de compensados de madeira de paricá  
(*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) visando a  
aplicação estrutural**

*Evaluation of the physical and mechanical properties of paricá plywood (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) aiming at structural application.*

**Sandriel Lima Nascimento<sup>1</sup>; João Miguel Santos Dias<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Engenharia Civil, Açailândia/MA, Brasil. Email: sandrielnascimento.20180040180@uemasul.edu.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0998-067X>

<sup>2</sup> Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Engenharia Civil, Açailândia/MA, Brasil. Email: joao.dias@uemasul.edu.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8030-739X>

**Resumo:** O compensado é um produto engenheirado amplamente comercializado no mercado mundial por possuir diversas aplicações no setor moveleiro e da construção civil. Para sua aplicação é extremamente importante ter conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da espécie utilizada. O objetivo deste trabalho consistiu na caracterização física e mecânica do compensado de paricá, visando as propriedades inerentes à utilização em estruturas de edificações. Dessa forma, foram realizados os seguintes ensaios: densidade aparente, teor de umidade, resistência ao cisalhamento e compressão nas condições *in natura* e saturada, resistência à tração, resistência e rigidez à flexão na posição *flatwise* e *edgewise*. Na condição *in natura*, os CPs apresentaram valores de resistência superiores à condição saturada devido à influência do aumento da umidade. Para resistência à flexão, a posição *flatwise* apresentou valores superiores em relação a *edgewise* devido ao desempenho das lâminas da extremidade. Assim sendo, a utilização do paricá na fabricação de painéis compensados representa uma opção viável para fins estruturais, todavia, é pertinente realizar tratamentos preservativos e cuidados com exposição à umidade e às intempéries.

**Palavras-chave:** Compensado; Caracterização físico-mecânica; Estruturas

**Abstract:** Plywood is an engineered product widely marketed in the global market due to its various applications in the furniture and construction sectors. For its application, it is extremely important to have knowledge of the physical and mechanical properties of the species used. The objective of this study was to characterize the physical and mechanical properties of paricá plywood, focusing on properties inherent to its use in building structures. Therefore, the following tests were performed: apparent density, moisture content, shear and compression strength in both natural and saturated conditions, tensile strength, and flexural strength and stiffness in the flatwise and edgewise positions. In the natural condition, the plywood panels showed higher strength values compared to the saturated condition due to the influence of increased moisture. Regarding flexural strength, the flatwise position exhibited higher values compared to the edgewise position due to the performance of the end veneers. Therefore, the use of paricá in the manufacturing of plywood panels represents a viable option for structural purposes. However, it is pertinent to apply preservative treatments and exercise caution regarding exposure to moisture and weather conditions.

**Keywords:** Plywood; Physical-mechanical characterization; Structures.

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	6
2. Metodologia .....	7
3. Resultados e discussões .....	9
4. Conclusão.....	14
Agradecimentos .....	14
Referências .....	15

## 1. Introdução

Ao longo da história, a madeira tem sido amplamente empregada pelo ser humano devido a sua abundância, capacidade de renovação, alta relação entre resistência mecânica e peso, além de proporcionar conforto térmico e acústico. (SOUTO *et al.*, 2016). A madeira se destaca de outros materiais por possuir alta trabalhabilidade, boa resistência ao fogo, além de ser biodegradável e por apresentar baixo consumo energético durante o seu processamento (SEGUNDINHO *et al.*, 2018).

Todavia, por ser um material higroscópico, apresenta capacidade de trocar moléculas de água com o meio externo, podendo provocar variações volumétricas e ataques de seres xilófagos, o que compromete o desempenho mecânico e gera perda de durabilidade (DIAS, 2018). Além disso, a madeira serrada possui seções comerciais limitadas e presença de defeitos de crescimento (medula, faixas de parênquima, grã inclinada e nós) que interferem no desempenho mecânico dos elementos estruturais (CORREIA, 2009; GÓES *et al.*, 2017).

Nesse contexto surgem os produtos de madeira engenheirada confeccionados a partir de elementos de madeira (partículas, fibras, lascas, lâminas ou lamelas) colados com adesivo (MATTOS, GONÇALVES e CHAGAS, 2008). Dentre eles, o compensado é o mais antigo e possui diversas aplicações no setor moveleiro e da construção civil, sendo formado pela colagem de lâminas, com as fibras alternadas ortogonalmente (MATTOS, GONÇALVES e CHAGAS, 2008; ALMEIDA, 2021). Segundo Lima *et al.* (2022), as indústrias de compensado se concentram nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, além do Nordeste do Pará.

De acordo com dados da AIMEX (2022), em 2022, as indústrias de compensado do Estado do Pará exportaram cerca de 3.797.000 kg do produto, o que gerou um total de aproximadamente US \$4.955.000 dólares. Santos (2017), refere que a indústria de compensados paraenses se destaca por utilizar, sobretudo, a espécie paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby). Esta espécie, nativa da região amazônica, apresenta rápido crescimento, tronco retilíneo, elevado valor comercial, alta trabalhabilidade e é amplamente cultivada em áreas de reflorestamento (ALMEIDA *et al.*, 2013; GAMA *et al.*, 2020).

Devido a sua baixa densidade (MATOS *et al.*, 2019), não é comum encontrar o paricá em estruturas de madeira serrada, o que reduz as possibilidades de aplicação desta espécie. Como consequência, alguns estudos, como, TEREZO e SZÜCS, 2010; FURTADO *et al.*, 2015; IWAKIRI *et al.*, 2010) investigaram a possibilidade de utilização desta espécie em produtos de madeira engenheirada para fins estruturais. Apesar dos estudos envolvendo esta espécie amazônica, ainda não existem indústrias de produtos de madeira engenheirada, para fins

estruturais, instaladas na região Norte e Nordeste (ELIAS e MAIDEL, 2020). Por conseguinte, essas regiões estão desprovidas destes produtos a preços acessíveis, o que favorece a escolha de outras soluções estruturais (aço e concreto armado).

Considerando as regiões Norte e Nordeste, os compensados de paricá poderão surgir como uma alternativa viável, segura e ambientalmente mais sustentável, quando aplicados como uma solução estrutural para situações nas quais ocorram baixos carregamentos. Desta forma, o propósito deste estudo é a caracterização físicas e mecânicas de compensados de paricá visando a sua utilização em estruturas de edificações.

## 2. Metodologia

Os corpos de prova (CPs) utilizados neste estudo foram fornecidos pela empresa ADECO – Indústria e Comércio de Compensados Ltda., do Grupo Arboris, localizada na cidade de Dom Eliseu – PA. Para compor cada painel, foram utilizadas 17 lâminas de madeira de paricá, cada uma com espessura de 2,1 mm, coladas com adesivo fenol-formaldeído, perfazendo uma espessura final de 35 mm. Os painéis foram mantidos na prensa durante 35 minutos com temperatura de 120°C e sob uma pressão de 1,77 MPa.

Para a caracterização física e mecânica do compensado, tendo como foco a utilização estrutural, foram realizados os seguintes ensaios, conforme a ABNT NBR 7190-3:2022 – *Projeto de Estruturas de Madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas*: densidade aparente e teor de umidade, resistências ao cisalhamento e compressão, tração e flexão, assim como rigidez à flexão. O teste de resistência à flexão foi conduzido levando em consideração duas posições diferentes: *flatwise* e *edgewise*. Para verificar o desempenho do compensado em situação de incidência de chuva, foram realizados os ensaios de compressão e cisalhamento com o teor de umidade saturado.

Foram adotadas as taxas de carregamento e 30 CPs por série, conforme estabelecido pelas normas ABNT NBR 7190-3:2022. Vale ressaltar que, devido à espessura dos compensados ser 35 mm, as dimensões dos CPs foram ajustadas proporcionalmente. A Tabela 1 apresenta os parâmetros referentes aos CPs produzidos para os ensaios de caracterização física e mecânica do compensado de paricá. Os CPs foram confeccionados e armazenados no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção – LEMATCON – Timoshenko da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), situado no campus de Açailândia-MA, onde ocorreram todos os ensaios. As medidas de todos os CPs foram obtidas utilizando um paquímetro analógico STORM.

Tabela 1 - Dimensões médias dos CPs de compensado.

Ensaio	Largura (mm)	Altura (mm)	Base (mm)	Área de análise (mm <sup>2</sup> )
$U$	33,1	49,4	49,7	-
$U_{sat}$	33,9	51,1	49,7	-
$\rho_{ap}$	33,1	49,4	49,8	-
$f_{c0}$	32,5	98,9	33,1	1077,80
$f_{c0,sat}$	32,5	98,9	331	1074,86
$f_{t0}$	10,4	449,9	49,5	515,40
$f_v$	38,3	-	49,5	1894,67
$f_{v,sat}$	40,6	-	49,9	2025,22
$f_M^{edg}$	32,8	759,5	33,5	1098,19
$MOE^{edg}$	32,8	759,5	33,5	1098,19
$f_M^{flat}$	32,8	759,7	33,5	1097,21
$MOE^{flat}$	32,8	759,7	33,5	1097,21

$U$ : teor de umidade;  $U_{sat}$ : teor de umidade saturado;  $\rho_{ap}$ : densidade aparente;  $f_{c0}$ : resistências à compressão paralela as fibras da capa;  $f_{c0,sat}$ : resistência à compressão paralela as fibras da capa na condição saturada;  $f_{t0}$ : resistência à tração paralela as fibras da capa;  $f_v$ : resistência ao cisalhamento;  $f_{v,sat}$  resistência ao cisalhamento na condição saturada;  $f_M^{edg}$  e  $MOE^{edg}$ : resistência e rigidez à flexão na posição edgewise, respectivamente;  $f_M^{flat}$  e  $MOE^{flat}$ : resistência e rigidez à flexão na posição flatwise, respectivamente. Fonte: Autor (2023).

Os CPs designados para o ensaio de teor de umidade e densidade aparente foram colocados em uma estufa de secagem da marca Lucadema, modelo 80/100, e expostos a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ \text{C}$ . Suas massas foram aferidas a cada 24 horas devido a disponibilidade do laboratório, com auxílio de uma balança de precisão do modelo S622, fabricada pela marca Bel. Os CPs alcançaram a massa seca em dois dias, após verificada uma variação igual ou menor a 0,5% entre duas medidas consecutivas.

Para a determinação das propriedades mecânicas, nomeadamente, resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, resistência à tração, resistência e rigidez à flexão *edgewise* e *flatwise*, foi usada uma máquina universal INSTRON EMIC 23-100 e seus acessórios. As taxas de carregamento estão previstas nas metodologias de ensaio da norma ABNT NBR 7190-3:2022.

Os CPs destinados ao ensaio de compressão e cisalhamento, na condição de saturação da madeira, foram imersos em água (Figura 1) na canaleta de concreto ao lado do LEMATCON, por um período suficiente para alcançar uma variação de massa igual ou inferior a 0,5% entre duas medições consecutivas, sendo este o volume saturado.



Figura 1: CPs em processo de saturação. Fonte: Autor (2023).

### 3. Resultados e discussões

A Tabela 2 apresenta os valores máximos, médios, mínimos e coeficientes de variação (CV) dos resultados obtidos para a caracterização física do compensado. O teor de umidade ( $U$ ) médio foi de 12,05%, sendo o máximo foi de 12,92% e o mínimo de 11,63%. O valor médio encontrado de teor de umidade significa que os painéis se enquadram na classe 1 de umidade (12%) da norma ABNT NBR 7190-1:2022 – *Projeto de Estruturas de Madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento*. Almeida (2013), refere que, para valores acima de 20% de teor de umidade, poderão ocorrer adesões entre o adesivo e madeira não satisfatórias. Desta forma, visto que o teor de umidade médio obtido neste trabalho foi de 12,05%, é possível deduzir que a colagem foi realizada sem interferência negativa do mesmo.

A umidade relativa média mensal da região de Açailândia-MA, de 1991 a 2021, variou entre 51,49% a 88,15% (CLIMATE-DATA, 2023). Segundo a ABNT NBR 7190-1:2022, estes valores implicam na variação do teor de umidade em equilíbrio ao ar de 12% a 18%, respectivamente. Essas variações podem ocasionar inchamentos e retrações significativas nos painéis, interferindo diretamente em suas propriedades físicas e mecânicas (MELO, 2013). Uma alternativa para este problema é a utilização de produtos hidrofóbicos. Em Sanson *et al.* (2021), Através do uso de bio-óleo obtido a partir de resíduos de eucalipto, foi possível transformar a superfície altamente hidrofílica da madeira de *Pinus elliotti* em uma superfície com elevado grau de repelência a líquidos polares.

Tabela 2: Caracterização física do compensado.

	$U$ (%)	$\rho_{ap}$ (g.cm <sup>-3</sup> )
<b>Máximo</b>	12,92	0,62
<b>Média</b>	12,05	0,49
<b>Mínimo</b>	11,63	0,45
<b>CV (%)</b>	2,62	6,05

Fonte: Autor (2023).

Conforme apresentado na Tabela 2, o valor médio encontrado para densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) foi de 0,49 g.cm<sup>-3</sup>, sendo o mínimo de 0,45 g.cm<sup>-3</sup> e o máximo de 0,62 g.cm<sup>-3</sup>. Segundo Dias (2018), madeiras com densidades até 0,55 g.cm<sup>-3</sup> se enquadra na classe de madeira leve, desta forma, os compensados utilizados neste estudo são de baixa densidade. O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos na bibliografia para a densidade aparente de compensados de paricá. É possível verificar que a média dos estudos bibliográficos encontrados foi de aproximadamente 0,41 g.cm<sup>-3</sup>, sendo 20,5% inferior ao encontrado neste trabalho.

A densidade aparente média obtida neste estudo foi 8,89% superior ao maior valor obtido na literatura e 25,64% superior ao menor resultado. Terezo *et al.* (2015), indicam que a densidade da madeira pode variar em função da sua idade, todavia, essa relação pode sofrer influência das condições ambientais que a árvore está submetida durante seu ciclo de vida. A baixa densidade de uma espécie favorece na fabricação de produtos engenheirados da mesma espécie por proporcionar uma melhor ancoragem na interface adesivo-madeira (SANTIAGO *et al.*, 2018).

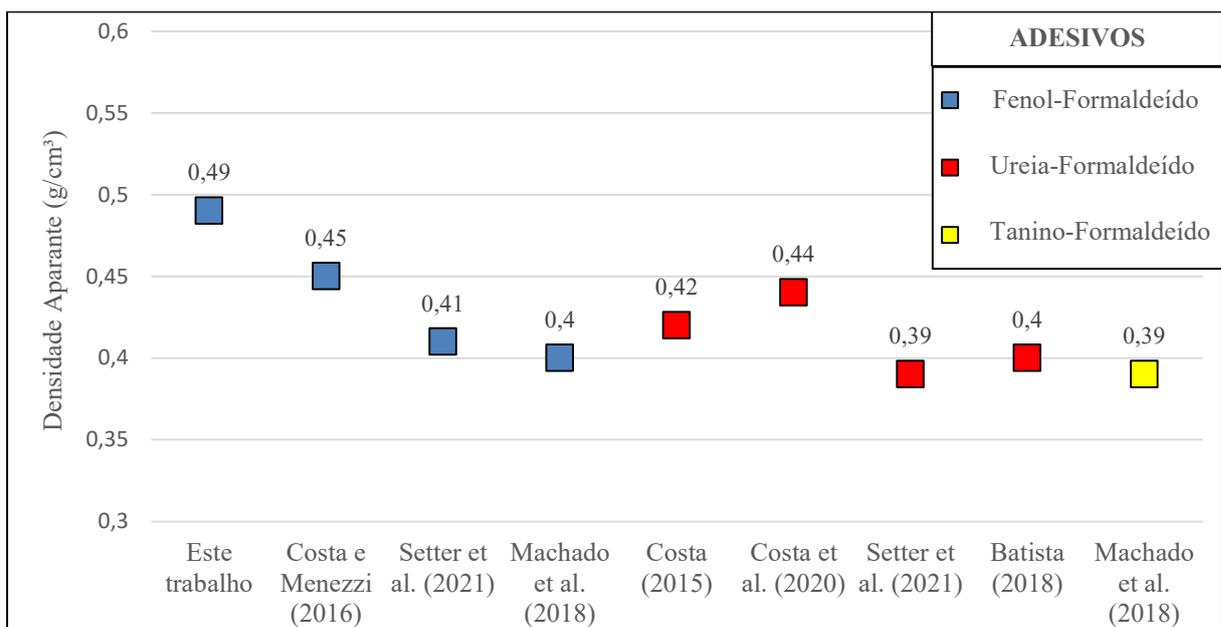


Gráfico 1: Valores médios de densidade aparente para compensados de paricá obtidos na bibliografia. Fonte: Autor (2023).

Os valores médios, máximos, mínimos, coeficientes de variação e característico obtidos nos ensaios mecânicos (Tabela 3). A resistência à compressão variou de 14,86 MPa a 20,67 MPa, sendo o médio de 18,97 MPa e o característico de 17,79 MPa.

Tabela 3: Resultados da caracterização mecânica do compensado.

Propriedade	$f_c^{nat}$	$f_c^{sat}$	$f_v^{nat}$	$f_v^{sat}$	$f_t^{nat}$	$MOR^{flat}$	$MOE^{flat}$	$MOR^{edge}$	$MOE^{edge}$
Máximo (MPa)	20,67	13,51	5,17	3,38	27,5	41,02	4839,97	30,83	4963,39
Média (MPa)	18,97	11,86	3,32	2,36	13	31,46	4126,01	26,24	4227,07
Mínimo (MPa)	14,86	9,98	1,84	1,16	1,5	24,95	3387,12	18,58	3557,95
CV (%)	7,42	8,54	31,25	22,54	51,73	13,84	7,51	11,96	7,93
$f_k$ (MPa)	17,79	11,02	2,32	1,65	9,1	27,39	4036,25	22,63	4210,2

$f_c^{nat}$  e  $f_c^{sat}$ : resistência à compressão in natura e saturado;  $f_v^{nat}$  e  $f_v^{sat}$ : resistência ao cisalhamento in natura e saturado;  $f_t^{nat}$ : resistência à tração in natura;  $f_k$ : valor característico. CV: coeficiente de variação.  $MOR^{edge}$  e  $MOE^{edge}$ : resistência e rigidez à flexão na posição edgewise, respectivamente;  $MOR^{flat}$  e  $MOE^{flat}$ : resistência e rigidez à flexão na posição flatwise, respectivamente. Fonte: Autor (2023).

A resistência ao cisalhamento na linha de cola apresentou um valor médio de 3,32 MPa, com um valor máximo de 5,17 MPa, mínimo de 1,84 MPa, valor característico de 2,32 MPa e coeficiente de variação de 31,25%. A Tabela 4 apresenta valores médios para resistência ao cisalhamento de compensados de paricá encontrados na bibliografia. O resultado médio deste trabalho foi cerca de 210,28% superior ao valor médio das resistências ao cisalhamento encontrados na bibliografia. Essa diferença pode estar relacionada com as diferenças entre carregamentos e procedimentos de ensaios descritos nas normas utilizadas neste estudo e na bibliografia. Ademais, Trianoski *et al.* (2015), evidenciam um crescimento na resistência ao cisalhamento na linha de cola devido um aumento na gramatura dos adesivos ureia-formaldeído (UF).

Tabela 4: Resistência ao cisalhamento de compensados de paricá obtidos na bibliografia.

Estudo	Norma utilizada	Adesivo	$g$ (g/m <sup>2</sup> )	$e$ (mm)	$f_{v0,m}$ (MPa)
Iwakiri <i>et al.</i> (2011)		UF	280	2	0,77
		FF	280	2	0,84
Costa (2015)	EN 314	UF	-	-	2,07
Costa e Menezzi (2016)		FF	-	-	0,79
Machado <i>et al.</i> (2018)	NBR ISO 12466/1:2006	FF	145	1,6	0,90
<b>Média</b>					<b>1,07</b>

UF: ureia-formaldeído; FF: fenol-formaldeído;  $g$ : gramatura de adesivo;  $e$ : espessura das lâminas;  $f_{v0,m}$ : resistência média ao cisalhamento na linha de cola. Fonte: Autor (2023).

A resistência à tração apresentou um valor médio de 13,0 MPa, com um valor máximo de 27,5 MPa, mínimo de 1,5 MPa, valor característico de 9,1 MPa e coeficiente de variação de

51,73%. A baixa resistência à tração e o alto coeficiente de variação podem ser decorrentes do fato de alguns CPs escorregamento no mordente durante o ensaio de tração (Figura 2).



Figura 2: Vestígios de escorregamento do CP no mordente do aparato de ensaio. Fonte: Autor (2023).

No ensaio de flexão, foram obtidos a resistência característica de 27,39 MPa (*flatwise*) e 22,63 MPa (*edgewise*). O valor médio da resistência na posição *edgewise* (26,24 MPa) foi inferior ao da posição *flatwise* (31,46 MPa). Por outro lado, a rigidez nas posições *edgewise* e *flatwise* foram próximas (4227,07 MPa e 4126,01 MPa, respectivamente). Segundo Melo e Menezzi (2015), os painéis sofrem maior influência propriedades das lâminas na posição *flatwise*, uma vez que as tensões normais máximas incidem sobre as lâminas das extremidades (de melhor desempenho), enquanto que na posição *edgewise*, as tensões máximas recaem sobre todas lâminas. A Tabela 5 apresenta valores médios para resistência e rigidez à flexão, na posição *flatwise*, do compensado de paricá encontrados na bibliografia.

Tabela 5 – Valores médios de resistência e rigidez à flexão médias, encontradas na bibliografia.

Estudos	g (g/m <sup>2</sup> )	e (mm)	Adesivo	<i>flatwise</i>		$\Delta$ (%)	
				MOR	MOE	MOR	MOE
Iwakiri <i>et al.</i> (2011)	280	2	Fenol-formaldeído	24,70	4389	-27,36	6,37
Machado (2018)	150	1,6	Fenol-formaldeído	34,93	4915	11,03	19,12
Gois (2023)	-	2	Fenol-formaldeído	38,00	7465	20,79	80,93
Iwakiri <i>et al.</i> (2011)	280	2	Ureia-formaldeído	33,20	4234	5,53	2,61
Machado (2018)	150	1,6	Tanino-formaldeído	29,32	5111	- 7,3	23,87
<b>Média obtida na bibliografia</b>				<b>32,03</b>	<b>5222</b>	<b>1,81</b>	<b>26,58</b>

$\Delta$ : diferença entre resultado (valores positivos e negativos representam, respectivamente, superioridade e inferioridade) do valor da bibliografia ao deste estudo; e: espessura das lâminas. Fonte: Autor (2023).

Conforme a Tabela 5, para a posição *flatwise*, a média da resistência à flexão é 1,81% inferior à resistência média dos resultados encontrados na bibliografia (32,02 MPa). Para a rigidez na posição *flatwise*, o valor deste estudo foi cerca de 26,58% inferior à média obtida na bibliografia (3404,63 MPa). Essas diferenças podem estar relacionadas com as propriedades do adesivo utilizado, como teor de sólidos e viscosidade, que segundo Ferreira *et al.* (2012) se relacionam diretamente com o desempenho à flexão do compensado.

A diferença também pode estar relacionada com a espessura do painel. Purba *et al.* (2019), afirmam que lâminas mais finas proporcionam melhor desempenho mecânico devido à presença de um maior número de camadas de lâminas, promovendo a distribuição uniforme dos defeitos e, por conseguinte, melhores propriedades mecânicas.

A fim de verificar o desempenho do compensado diante da presença da água, foram realizados ensaios de compressão e cisalhamento na condição de saturação total. A média obtida para a resistência à compressão na condição saturada foi de 11,86 MPa, sendo o máximo de 13,51 MPa, mínimo de 9,98 MPa e característico de 11,02 MPa. Para a resistência ao cisalhamento, o maior valor foi 3,38 MPa, enquanto que o menor foi 1,16 MPa, médio de 2,36 MPa e característico de 1,65 MPa. A Figura 3 apresenta o diagrama representativo dos resultados dos ensaios dos CPs saturados.

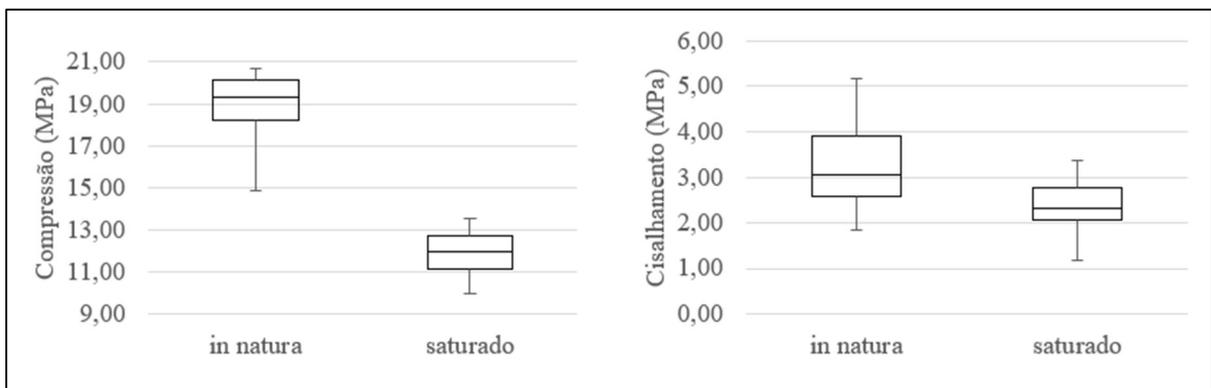


Figura 3 – distribuição dos resultados do ensaio de compressão e cisalhamento na condição *in natura* e saturada. Fonte: Autor (2023)

Para verificar se houve diferença estatística entre os ensaios de compressão e cisalhamento em condições *in natura* e saturado, foi realizado o teste *t-Student* (Tabela 6), para um nível de confiança de 95%, que mostrou diferença estatística entre os resultados encontrados. O incremento da umidade resulta na diminuição da resistência mecânica da madeira (DIAS, 2018) e o inchamento do elemento acaba induzindo tensões internas de cisalhamento que podem provocar a delaminação do compensado (CAVALCANTE, 2022).

*Tabela 6 - Teste t-Student das resistências à compressão e cisalhamento in natura e saturado.*

	$f_{c0}^{sat}$	$f_v^{sat}$
$f_{c0}^{in}$	$4,76 \times 10^{-29}$	-
$f_v^{in}$	-	$1,59 \times 10^{-5}$

*Para valor inferior a 0,05 existe diferença significativa entre as duas amostras;  $f_{c0}^{in}$  e  $f_{c0}^{SAT}$ : resistência à compressão paralela às fibras do CP nas condições in natura e saturado, respectivamente;  $f_v^{in}$  e  $f_v^{SAT}$ : resistência ao cisalhamento do CP nas condições in natura e saturado, respectivamente. Fonte: Autor (2023).*

#### **4. Conclusão**

O compensado de paricá apresentou um valor médio de teor de umidade e densidade aparente de, respectivamente, 12,05% e  $493,88 \text{ kg.m}^{-3}$ , o que indica que a madeira é da classe 1 de umidade e possui baixa densidade. Os valores característicos obtidos para as propriedades mecânicas foram: resistência à compressão de 17,79 MPa, resistência à tração de 9,1 MPa, resistência ao cisalhamento de 2,32 MPa, e resistência à flexão *flatwise* de 27,39 MPa e *edgewise* de 22,63 MPa.

O aumento do teor de umidade, decorrente da saturação dos CPs, reduziu cerca de 60% e 41% as resistências médias a compressão e cisalhamento na linha de cola, respectivamente, mostrando uma influência negativa na resistência mecânica dos painéis de compensado. O compensado de paricá representa uma solução viável para situações em que os carregamentos sejam compatíveis com a capacidade de carga de até 17 MPa.

#### **Agradecimentos**

O autor agradece ao Grupo Arboris pelo fornecimento dos compensados e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) pela concessão da bolsa.

## Referências

- ALMEIDA, C. C. F de. **Utilização de imagens para a determinação automática da qualidade da colagem em painéis compensados**. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2021.
- ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente–EGP**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE MADEIRA DO ESTADO DO PARÁ – AIMEX. **Exportação de madeira do estado do Pará janeiro a dezembro: comparativo 2021 – 2022**, Belém, Pará, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 - 1: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento**. Rio de Janeiro. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 - 3: Projeto de estruturas de madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas**. Rio de Janeiro. 2022.
- BATISTA, P. R. **Propriedades físicas e mecânicas de compensados termo-densificados de paricá (*Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke*)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- CAVALCANTE, A. K. de L. **Manufatura experimental e avaliação das propriedades de painéis CLT de alta densidade**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2022.
- Climate-Data.org. (2023). **Clima Açailândia: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Açailândia**. <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/acailandia-29550/>
- CORREIA, E.A.S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.
- COSTA, M. de 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 (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- COSTA, M. de A. e MENEZZI, C. H. S. D. *Effect of thermo-mechanical treatment on properties of parica plywoods (*Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke*)*. **Revista Árvore**, v. 41, 2016.
- COSTA, A. A.; MASCARENHAS, A. R. P.; SANTOS, C. M. M. dos; FARIA, C. E. T.; DUARTE, P. J.; CRUZ, T. M. *Technological characterization of engineered panels produced with paricá wood*. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e786986089, 2020.
- DIAS, J. M. S (2018). **Estrutura de Madeira**. Editora **2B Educação**, v. 3, 2018.

ELIAS, E. A. e MAIDEL, B. Identificação e comparação das indústrias de madeiras engenheiradas do Brasil e Japão. **Revista Innovatio**, v. 3, 2020.

FERREIRA, B. S.; SILVA, M. S. da.; CAMPOS, C. I. Análise do desempenho físico-mecânico de compensados produzidos com adesivos a base de PVA. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 12, n. 29, p. 13-22, 2012.

FURTADO, F. R. C. *et al.* Viabilidade econômica de vigas em madeira laminada colada de parica (*Schizolobium parahyba var amazonicum*). **II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**, Belo Horizonte, 2015.

GAMA, R. V. *et al.* Viabilidade econômica de uma monocultura de paricá. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1660-1666, Curitiba, 2020.

GÓES, J. L. N.; CARLIN, T.; PIZZINI, P. R. e TAVARES, M. D. G. Avaliação experimental da influência da deformação por cisalhamento em vigas I de madeira. **II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera**, Buenos Aires, Argentina, 2017.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis laminados unidirecionais-LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 16, p. 557-563, lavras, 2010.

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

LIMA, V. S. *et al.* *Economic and geographic assessment of Brazilian plywood industry. Avaliação geográfica e econômica das indústrias de compensado no Brasil.* **The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC**, v. 08, n. 04. 2022

MACHADO, J. F. *et al.* *Production of plywood panel for exterior use with paricá and embaúba timbers.* **Revista Árvore**, v. 42, 2018.

MATTOS, R.L.G.; GONÇALVES, R.M.; e CHAGAS, F.B das. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p.121–156, 2008.

MATOS, A. C de. Influência de diferentes composições de lâminas de *Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Pinus oocarpa var. oocarpa* (Schiede ex Schltdl) para produção de compensados multilaminados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 47, n. 124, p. 799-810, dez. 2019.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 4, n. 2, 2013.

MELO, R. R. de; MENEZZI, C. H. S. del. Effects of grading of veneers on properties of LVL made from *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, p. 677-683, 2015.

PURBA, C. Y. C. *et al.* The influence of veneer thickness and knot proportion on the mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) made from secondary quality hardwood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 77, n. 3, p. 393-404, 2019.

SANTIAGO, S. B. *et al.* Colagem de madeira de eucalipto com adesivos naturais. **Matéria**, v. 23, Rio de Janeiro, 2018.

SANTOS, H. J. M. **Crescimento e qualidade de plantas jovens de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em função de níveis de boro.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Paragominas, PA, 2017

SANSON, C. S. L. *et al.* Reuse of the aqueous phase of bio-oil fractionation as a water-repellent agent for wood. **FLORESTA**, v. 51, n. 3, p. 557-566, jun. 2021

SEGUNDINHO, P. G. DE A.; REGAZZI, A. J.; POLETTI, F. S.; PAULA, M. O. de.; MENDONÇA, A. R. e GONÇALVES, F. G. Variação dos módulos de elasticidade e ruptura em madeira de cedro-australiano por meio de ensaios não destrutivo e destrutivo. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1163–1178, 2018.

SETTER, Carine *et al.* Influence of different sheet compositions and commercial adhesives on the performance of multilaminated plywood. 2021.

SOUTO, L. G.; BUENO, L, da S; e SILVA, P. de J. Técnicas construtivas utilizando madeira e sua evolução histórica. **IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação**, Vol. 05, No. 02, 2016.

TEREZO, R. F. e SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010.

TEREZO, R. F. *et al.* Propriedades da madeira de paricá em diferentes idades para uso estrutural. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 6(3), 244-253. 2015.

TRIANOSKI, R. *et al.* Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, v. 39, p. 759-768, 2015.