



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

**JÚLIO CÉSAR DO ESPÍRITO SANTO SANTOS**

**TRATAMENTO TÉRMICO APLICADO A MADEIRAS AMAZÔNICAS  
COMERCIALIZADAS NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO**

Imperatriz - MA  
2024

**JÚLIO CÉSAR DO ESPÍRITO SANTO SANTOS**

**TRATAMENTO TÉRMICO APLICADO A MADEIRAS AMAZÔNICAS  
COMERCIALIZADAS NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Joabel Raabe

S237t

Santos, Júlio César do Espírito Santo

Tratamento térmico aplicado a madeiras amazônicas comercializadas na região tocantina do Maranhão. / Júlio César do Espírito Santo Santos. – Imperatriz, MA, 2024.

36 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. Tecnologia da madeira – espécies tropicais. 2. Termoretificação. 3. Retratabilidade. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 630\*8:674.03

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

**JÚLIO CÉSAR DO ESPÍRITO SANTO SANTOS**

**TRATAMENTO TÉRMICO APLICADO A MADEIRAS AMAZÔNICAS  
COMERCIALIZADAS NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Joabel Raabe

Aprovado em: 01/03/2024.



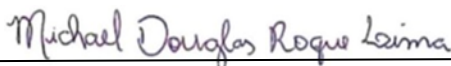
---

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



---

Jaqueline Macedo Gomes  
Doutora em Ciências Florestais  
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**

Agradeço à minha família, pelo amor incondicional, apoio inabalável e compreensão nos momentos de ausência e dedicação a este trabalho. Sem o suporte de vocês, esta conquista não seria possível.

Ao meu Professor orientador Joabel Raabe, expresso minha gratidão pela orientação dedicada, pelo conhecimento compartilhado e pela inspiração que me proporcionou durante este período.

Aos meus amigos da faculdade, em especial as pessoas do LATECMA, agradeço pela colaboração, pelo incentivo mútuo e pela amizade que tornaram esta jornada acadêmica mais leve e enriquecedora.

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

Agradeço também a Suzano e a minha equipe de trabalho que me incentivaram e deram total apoio na conclusão desse ciclo.

Agradeço também à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, pela oportunidade de realizar este trabalho e por todo o apoio acadêmico oferecido ao longo do curso.

## RESUMO

A madeira é um material de origem biológica que possui utilidade nos mais variados campos da tecnologia e representa uma grande relevância socioeconômica para o país. Contudo, a instabilidade dimensional da madeira, propriedade associada à sua característica higroscópica, resulta em uma limitação do emprego da madeira para determinadas finalidades. Este fato evidenciou uma necessidade do desenvolvimento de metodologias capazes de minimizar esse efeito limitante. Desse modo, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos do tratamento térmico na retratibilidade, coeficiente de anisotropia, perda de massa e densidade básica de madeiras de espécies amazônicas comercializadas no município de Imperatriz - MA. Nesse contexto, foram selecionadas as espécies *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby (paricá), *Cordia goeldiana* Huber (freijó-cinza) e *Manilkara* sp. (maçaranduba). Optou-se para o tratamento térmico o uso de estufa elétrica, com a aplicação de três faixas de temperatura (160°C, 180°C e 200°C), por um período de 90 min. Os efeitos do tratamento sobre as propriedades físicas foram avaliados mediante determinação da retratibilidade, coeficiente de anisotropia, perda de massa e densidade básica. As três espécies foram classificadas como de baixa, média e alta densidade (respectivamente paricá, freijó e maçaranduba) apresentando densidades básicas de 0,293 g.cm<sup>-3</sup>, 0,537 g.cm<sup>-3</sup> e 0,908 g.cm<sup>-3</sup>. Os tratamentos mostraram potencial na redução da retratibilidade dimensional das madeiras de paricá e freijó. Não houve diferença significativa na retratibilidade da maçaranduba com os tratamentos aplicados. As espécies apresentaram uma baixa perda de massa em resposta ao tratamento térmico. De acordo com os resultados o tratamento térmico possui potencial para a melhoria das propriedades físicas e para agregação de valor a madeira comercializada na região. No entanto, é necessário estudos de adequação das faixas de temperatura e metodologias de aplicação do tratamento.

**Palavras-chave:** Termoretificação. Retratibilidade. Espécies tropicais.

## ABSTRACT

Wood is a material of biological origin that has utility in various fields of technology and represents great socioeconomic relevance for the country. However, the dimensional instability of wood, a property associated with its hygroscopic characteristic, results in a limitation of the use of wood for certain purposes. This fact highlighted the need for the development of methodologies capable of minimizing this limiting effect. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of thermal treatment on the shrinkage, coefficient of anisotropy, mass loss, and basic density of woods from Amazonian species commercialized in the municipality of Imperatriz - MA. In this context, the species *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby (paricá), *Cordia goeldiana* Huber (freijó-cinza), and *Manilkara* sp. (maçaranduba) were selected. Electric oven was used for the thermal treatment, with the application of three temperature ranges (160°C, 180°C, and 200°C), for a period of 90 min. The effects of the treatment on the physical properties were evaluated by determining shrinkage, anisotropy coefficient, mass loss, and basic density. The three species were classified as low, medium, and high density (respectively paricá, freijó, and maçaranduba), with basic densities of 0.293 g.cm<sup>-3</sup>, 0.537 g.cm<sup>-3</sup>, and 0.908 g.cm<sup>-3</sup>. The treatments showed potential in reducing the dimensional shrinkage of paricá and freijó woods. There was no significant difference in the shrinkage of maçaranduba with the applied treatments. The species showed low mass loss in response to the thermal treatment. According to the results, thermal treatment has the potential to improve the physical properties and add value to the wood marketed in the region. However, further studies are needed to adjust the temperature ranges and application methodologies of the treatment.

**Palavras-chave:** Heat rectification. Retractability. Tropical trees.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Geral.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Propriedades físicas da madeira.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Tratamento térmico da madeira .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Características das espécies .....</b>	<b>9</b>
3.3.1 <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber x Ducke) Barneby (paricá).....	9
3.3.2 <i>Cordia goeldiana</i> Huber (freijó-cinza) .....	10
3.3.3 <i>Manilkara</i> sp. (maçaranduba) .....	11
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Preparo dos corpos-de-prova.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Tratamento térmico .....</b>	<b>13</b>
<b>4.3 Determinação das propriedades físicas.....</b>	<b>14</b>
4.3.1 Densidade Básica .....	14
4.3.2 Perda de Massa.....	15
4.3.3 Retração e inchamento .....	16
4.3.4 Coeficiente de anisotropia .....	17
<b>4.4 Análise dos dados .....</b>	<b>18</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 Densidade básica .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 Perda de massa.....</b>	<b>25</b>
<b>5.3 Retratibilidade e Anisotropia dimensional.....</b>	<b>26</b>
5.3.1 paricá ( <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber x Ducke) Barneby .....	26
5.3.2 freijó-Cinza ( <i>Cordia goeldiana</i> Huber).....	27
5.3.3 maçaranduba ( <i>Manilkara</i> sp.) .....	28
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de origem biológica de características higroscópicas e contém propriedades que possibilitam sua utilização nos mais variados campos da tecnologia. Sua composição química e anatômica lhe confere uma variabilidade de aplicação tanto na forma de madeira maciça, com também na forma de derivados, como painéis reconstituídos, utilizados na indústria moveleira e construção civil e derivados químicos utilizados na indústria de celulose e papel (LACERDA *et al.*, 2023; PAIXÃO *et al.*, 2023; VIVIAN *et al.*, 2022).

Essa versatilidade da madeira à torna uma matéria prima de grande importância comercial e econômica para o país. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), o setor florestal, representou em 2022, cerca de 1,3% do PIB nacional. Ainda segundo o relatório, no ano de 2022, o segmento teve uma grande relevância socioeconômica, gerando cerca de 2,6 milhões empregos diretos e alcançou uma receita bruta de R\$ 260 bilhões.

No entanto, apesar da reconhecida relevância socioeconômica, é sabido que algumas propriedades da madeira dificultam a expansão do setor madeireiro, dentre as quais destaca-se a sua instabilidade dimensional. Tal característica está associada a capacidade higroscópica e também a característica anisotrópica que as madeiras apresentam.

Esse potencial higroscópico resulta na alteração dimensional da madeira durante o processo de desorção e adsorção de moléculas de água presentes nos elementos anatômicos que compõem a madeira. A alteração dimensional é indesejável e ocorre quando a madeira perde ou ganha umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF - aproximadamente 28% de umidade em relação a sua massa seca) (MORESCHI, 2014).

Para Moreschi (2014), Jankowsky e Galina (2013), a variação dimensional (volumétrica ou linear) é uma das características mais problemáticas, porque provoca uma série de defeitos na madeira, tais como: empenamentos, rachaduras, fendas, entre outros. Isso resulta em prejuízos, limita sua utilização e evidencia a necessidade de estudos que possam desenvolver tecnologias para minimizar os efeitos causados pela anisotropia e higroscopicidade, e melhorar a estabilidade dimensional da madeira.

Nessa perspectiva, existem diferentes métodos de tratamento capazes de modificar as propriedades da madeira, dentre os quais destacam-se: (i) tratamento químico (AZEVEDO *et al.*, 2018; FRAVET *et al.*, 2015.); (ii) tratamentos de revestimento superficial (CADEMARTORI *et al.* 2017), (iii) e modificação térmica (FERREIRA *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2019).

Destes, a modificação térmica destaca-se devido a sua praticidade, baixo custo de execução e baixo impacto ambiental quando comparado aos demais (FREITAS *et al.*, 2016; ANDRADE, 2011).

Diante do exposto, buscou-se mediante a execução deste trabalho, avaliar a eficiência do tratamento térmico em espécies amazônicas comercializadas na região Tocantina do Maranhão.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar os efeitos do tratamento térmico na retratibilidade, coeficiente de anisotropia, perda de massa e densidade básica de madeiras de espécies amazônicas comercializadas no município de Imperatriz - MA.

### **2.2 Específicos**

Avaliar a influência das diferentes temperaturas de tratamento térmico nas propriedades físicas das madeiras de diferentes espécies.

Avaliar a eficiência do tratamento térmico para as diferentes classes de densidades.

Indicar a espécie que apresentar melhor resposta ao processo de tratamento térmico.

Indicar o tratamento que apresentar melhores respostas na redução da variação dimensional da madeira.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Propriedades físicas da madeira

A madeira é um recurso natural amplamente utilizado na construção civil, marcenaria, fabricação de móveis, papel e celulose, entre outras aplicações. Suas propriedades físicas desempenham um papel crucial em sua utilização e desempenho (VIVIAN *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2021). Neste texto, serão abordadas algumas das principais propriedades físicas da madeira, destacando sua importância e influência em diferentes contextos.

##### 3.1.1 Densidade Básica

A densidade da madeira é uma de suas propriedades físicas mais importantes. Ela está relacionada à massa da madeira por unidade de volume podendo variar de acordo com a espécie, umidade, posição do disco, relação cerne alburno, etc. A densidade influencia diretamente a resistência e a estabilidade dimensional da madeira, sendo crucial na seleção de madeiras para diferentes aplicações (SANTOS *et al.*, 2021; ZANATTA *et al.*, 2021).

A importância da densidade básica nos estudos relacionados as propriedades da madeira decorrem da facilidade de sua determinação, sua correlação com outras propriedades físico-químicas e também de seu efeito direto no desempenho operacional e econômico de diversos processos produtivos nos quais a madeira está envolvida (BOSCHETTI *et al.*, 2020; BENJAMIN; BALLARIN, 2003).

##### 3.1.2 Retratibilidade

A retratibilidade consiste na capacidade da madeira de se expandir ou contrair quando exposta a condições de umidade e temperatura variáveis. Esse fenômeno ocorre devido à estrutura celular da madeira, que é composta por fibras que podem absorver ou liberar água conforme o ambiente ao seu redor. A mudança de volume da madeira é observada no intervalo de 0% umidade e o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) (MORESCHI, 2014).

Essa alteração dimensional pode ocorrer de maneira diferente a depender do sentido anatômico da madeira (longitudinal, tangencial e radial). Segundo Moreschi (2014), o sentido anatômico tangencial apresenta a maior alteração dimensional, seguido sentido radial e, finalmente, no sentido longitudinal. Considerando a baixa variação dimensional no sentido longitudinal, normalmente este é desconsiderado.

A retratibilidade da madeira é um aspecto importante a ser considerado em diversas aplicações, especialmente na indústria da construção civil e na fabricação de móveis. Por exemplo, ao utilizar a madeira na construção de estruturas, como pisos, portas e janelas, é essencial levar em conta a possibilidade de variações dimensionais causadas pela retratibilidade. Se essas variações não forem consideradas, podem ocorrer problemas como empenamento, rachaduras e deformações, comprometendo a qualidade e a durabilidade das peças (MORESCHI, 2014, OLIVEIRA *et al.*, 2010)

### 3.2 Tratamento térmico da madeira

O tratamento térmico da madeira, ou termorreificação, consiste em submeter a madeira a temperaturas que vão de 150°C a 220°C por um tempo previamente determinado (de 30 a 120 min). Isso provoca alterações e degradação nos componentes químicos fundamentais (Ex: as hemiceluloses) e modifica a estrutura físico-mecânica da madeira (FERREIRA *et al.*, 2019; PALERMO, 2015).

A aplicabilidade da retificação térmica na madeira esta correlacionada ao tipo de tratamento empregado. Aplicação de convecção térmica com estufas ou muflas elétricas, uso de autoclaves com vapor d'água, assim como aplicação de tratamentos conjugados. Os efeitos que cada metodologia imprime na madeira são avaliados por diversos estudos e apresentam diferentes conclusões dependendo da finalidade da madeira tratada (LAUDARES *et al.*, 2023; MODES *et al.*, 2017).

Além dos fatores de exposição da madeira ao tratamento térmico, a eficiência do procedimento depende também das características anatômicas da madeira e de outras propriedades correlacionadas, sendo a densidade básica um dos parâmetros mais importantes para indicar a aceitabilidade da madeira a vários processos e aplicações (MODES *et al.*, 2017).

### 3.3 Características das espécies

#### 3.3.1 *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby (paricá)

O *Schizolobium parahyba* é uma espécie nativa da Amazônia pertencente à família Fabaceae e ocorre de forma natural nos estados do Acre, Amazona, Pará e Rondônia. Sendo uma espécie pioneira, o paricá possui rápido desenvolvimento e participa diretamente nos processos de restauração ecológica onde cresce naturalmente (SANTOS *et al.*, 2023; VIDAURRE *et al.*, 2018).

Em indivíduos adultos seu porte pode atingir dimensões próximas a 40 m de altura e 100 cm diâmetro à altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo. Possui copa galhosa, aberta e obovoide de ramificações dicotômicas. Tais características tornam o paricá uma matéria prima de alto interesse para o setor florestal.

O *Schizolobium parahyba* é uma espécie amazônica de baixa densidade (<0,55 g.cm<sup>-3</sup>), que vem se tornando cada vez mais significativa entre as espécies florestais cultivadas no Brasil devido a tais características tecnológicas da madeira e incremento de altura e diâmetro que possibilita sua utilização em poucos anos. Na região em que a espécie é cultivada, a madeira de paricá é utilizada principalmente na indústria de laminados, tendo como polo os povoados desenvolvidos no estado do Pará (ALMEIDA *et al.*, 2013)

**Figura 1** – Características do tronco, secção transversal e sementes do *Schizolobium parahyba*.



**Fonte:** Google imagens (2024).

### 3.3.2 *Cordia goeldiana* Huber (freijó-cinza)

A *Cordia goeldiana* é uma espécie nativa da Amazônia brasileira, com ocorrência na região amazônica, principalmente no estado do Pará. Possui árvores que podem atingir de 40 a 45 metros de altura e diâmetro de 80 a 100 cm. Para seu pleno desenvolvimento, o freijó requer total exposição solar ao longo de todo o seu ciclo de vida (LORENZI, 1992; CARPANEZZI; KANASHIRO, 1982).

Com relação as características da sua madeira, possui um cerne de cor marrom acinzentado e um alburno branco-acinzentado. É considerada uma madeira com boa estabilidade dimensional que lhe garante diferentes aplicações. É amplamente utilizado na construção não pesada, com a fabricação de móveis decorativos, lambris, persianas e

venezianas, construção naval e mais recentemente em laminados (FERNANDES *et al.*, 2007; LORENZI, 1992; GOMES, 1982).

**Figura 2** – Características do tronco, fruto e sementes da *Cordia goeldiana*.



**Fonte:** Embrapa (2021).

### 3.3.3 *Manilkara* sp. (maçaranduba)

Os indivíduos do gênero *Manilkara*, popularmente conhecidos por maçaranduba, são árvores que possuem um fuste longo com altura geralmente variando de 30m a 40m. Possuem copa arredondada, casca grossa, tronco reto e cilíndrico. Essa espécie ocorre no biôma amazônico, se destacando nas regiões fluviais de terra firme (LORENZI, 1992).

Segundo Jankowsky *et al.* (1990), as principais características da maçaranduba é uma casca rugosa, parda e fissurada longitudinalmente delimitando estreitas tiras, folhas grandes, douradas no dorso, flores no ápice dos ramos revestidas de uma densa camada de pelos ferruginosos que se estendem até o pedúnculo.

As espécies florestais do gênero *Manilkara* são amplamente valorizadas no mercado madeireiro por suas características físicas e mecânicas. Devido a sua resistência, a madeira de maçaranduba possui diversas aplicações, sendo empregadas em vigas, colunas, coberturas e até mesmo em móveis finos (FERNANDES *et al.*, 2023).

**Figura 3** – Características do tronco, secção transversal e sementes de *Manilkara* sp.



**Fonte:** Google imagens (2024).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Preparo dos corpos-de-prova

A confecção dos corpos-de-prova (CP's) foi realizada em colaboração com o Grupo Arboris, empresa de base florestal localizada no município de Dom Eliseu (PA).

Foram obtidos CP's de três espécies madeiras comerciais inicialmente classificadas como madeira de baixa ( $<0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ ), média (entre  $0,55$  e  $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e alta densidade básica ( $>0,72 \text{ g.cm}^{-3}$ ) (SILVA *et al.*, 2015; VALE *et al.*, 2005).

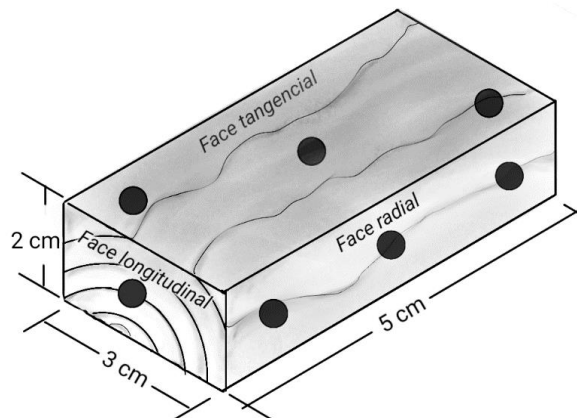
Os CP's foram produzidos a partir de discos selecionados aleatoriamente não sendo possível a seleção de discos em diferentes secções do tronco, conforme a disponibilidade da madeira, e confeccionados seguindo as especificações estabelecidas pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Cada tratamento foi composto por 58 CP's (Tabela 1), livre de defeitos e obedecendo rigorosamente os sentidos anatômicos da madeira (radial, tangencial e longitudinal) e às dimensões estabelecidas na norma ( $2,0 \times 3,0 \times 5,0 \text{ cm}$  – espessura x largura x comprimento), conforme demonstrado na Figura 4.

Tabela 1 – Numero de corpos-de-prova por tratamento para os ensaios.

Tratamento	Retratibilidade e Perda de Massa	Densidade
T0 (controle)	36*	10
T1	36	10
T2	36	10
T3	36	10

\*para o tratamento T0 (controle) não foi realizado ensaio de perda de massa considerando que os CP's não foram expostos ao tratamento térmico.

Figura 4 - Ilustração das dimensões dos corpos-de-prova e marcações para aferir as dimensões lineares.



Fonte: Autor (2021).

Após o preparo, os CP's foram identificados quanto a espécie e a suas faces anatômicas, para então serem acondicionados e submetidos ao tratamento.

#### 4.2 Tratamento térmico

O tratamento térmico foi realizado em estufa elétrica de esterilização e secagem Lucadema (Figura 5) por um período de 90 min e temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C referentes aos grupos T1, T2, e T3, que somados ao tratamento controle T0, o qual não sofreu qualquer tratamento térmico, formam os grupos de amostras avaliados. As temperaturas e o período de exposição foram definidos de acordo com Ferreira *et al.* (2019).

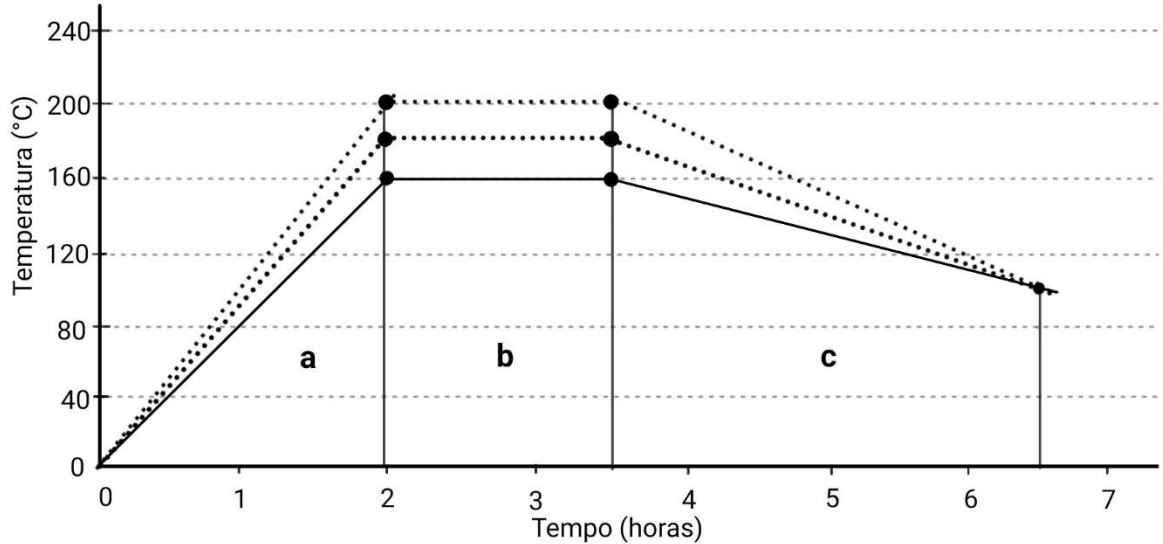
**Figura 5** - Identificação das amostras e aplicação dos tratamentos em estufa.



**Fonte:** Santos (2021).

O procedimento para execução dos tratamentos térmicos seguiu a curva de aquecimento representada pelas etapas a, b e c, como mostrado na **Figura 6**, onde: a) aquecimento dos CP's até a temperatura final, 2 h; b) tratamento na temperatura final selecionada, 1h 30min; e c) resfriamento dos CP's em estufa até temperatura de 100 °C, 3 h. O aquecimento inicial dos CP's foi feito de maneira gradual com um período de estabilização a 100 °C para garantir a aclimação igual para todos os CP's e evitar rachaduras nas amostras.

**Figura 6.** Representação gráfica da relação entre temperatura e tempo de exposição do tratamento térmico submetido aos corpos de prova.



Fonte: Santos (2021).

Após a aplicação dos tratamentos os corpos de prova foram colocados em dissecador para posterior análise e mensuração.

### 4.3 Determinação das propriedades físicas

Os dados para determinação das propriedades físicas foram coletados antes e após os tratamentos térmicos (quando necessário), conforme descrito a seguir:

#### 4.3.1 Densidade Básica

A densidade básica ( $\rho_{bas}$ ) é determinada pela razão entre a massa seca ( $M_s$ ) e o volume saturado ( $V_{sat}$ ) da madeira, conforme descrito na equação 02. O volume saturado foi obtido pelo método de imersão e deslocamento em água:

$$\rho_{bas} = \frac{M_s}{V_{sat}} \quad (02)$$

Onde:

$M_s$  – massa seca do CP.

$V_{sat}$  – volume saturado do CP.

A massa seca foi obtida seguindo a mesma metodologia para o cálculo de perda de massa. A saturação dos CP's e a determinação do seu volume saturado seguiu a metodologia descrita por Brito *et al.* (2006). A saturação dos CP's sendo realizada em laboratório por um período de 8 dias até a estabilização da massa das amostras (Figura 4).

**Figura 7** – Saturação e determinação do volume saturado dos corpos-de-prova.



Fonte: Santos (2021).

#### 4.3.2 Perda de Massa

A perda de massa ( $P_m$ ), foi calculada pela diferença entre a massa seca da madeira ( $M_s$ ), obtida mantendo os corpos de prova em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até que a sua massa constante, e a massa da madeira após o tratamento térmico ( $M_1$ ), de acordo com a equação 01:

$$P_m = \frac{M_s - M_1}{M_s} * 100$$

Onde:

$M_s$  – massa seca do CP antes do tratamento térmico.

$M_1$  – massa seca do CP pós tratamento térmico.

(01)

### 4.3.3 Retração e inchamento

Para a determinação das propriedades de retração e inchamento lineares foram considerados as direções preferenciais da madeira, sendo elas, longitudinal, radial e tangencial. As deformações de retração ( $\epsilon_r$ ), inchamento ( $\epsilon_i$ ), foram calculados por meio das equações 3 e 4 de acordo com as recomendações da norma NBR 7190-3 (ABNT, 2022).

$$\epsilon_{r,j} = \left( \frac{L_{j,sat} - L_{j,seca}}{L_{j,sat}} \right) * 100 \quad (03)$$

$$\epsilon_{i,j} = \left( \frac{L_{j,sat} - L_{j,seca}}{L_{j,seca}} \right) * 100 \quad (04)$$

Onde:

$L_{seco}$  – comprimento do CP em estado seco.

$L_{sat}$  – comprimento do CP em estado saturado.

A variação volumétrica ( $\Delta V$ ) foi calculada seguindo as equações 5 e 6.

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{sat}} \quad (05)$$

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{seco}} \quad (06)$$

Onde:

$V_{seco}$  – volume do CP em estado seco.

$V_{sat}$  – volume do CP em estado saturado.

As dimensões lineares ( $L_{j,sat}$ ,  $L_{j,seca}$ ) de cada CP foram aferidas com auxílio de um paquímetro analógico de 0,05 mm de precisão, onde as medidas de comprimento radial e tangencial correspondem a média aritmética de três pontos predefinidos em cada superfície.

Para o comprimento longitudinal, apenas uma medida por CP foi realizada, considerando que a variação nesse sentido anatômico da madeira não apresentar mudanças

significativas. Os CP's que apresentaram defeitos decorrente do tratamento foram excluídos e desconsiderados do experimento.

#### 4.3.4 Coeficiente de anisotropia

A madeira se deforma de maneira diferente entre os sentidos radial e tangencial durante o processo de retração e inchamento. Para determinar a relação entre a variação dimensional percentual nas direções tangencial e radial é utilizado o coeficiente de anisotropia dimensional da madeira, também chamado pela literatura de fator anisotrópico ou fator A.

Partindo do princípio de que, quanto maior esta relação mais suscetível a defeitos de secagem é a madeira, o coeficiente de anisotropia permite a classificação da madeira em: madeiras consideradas excelentes (1,2 a 1,5), madeiras normais (1,6 a 1,9) e madeiras de baixa qualidade (>2) (MORESCHI, 2014; ALMEIDA, 2015).

**Figura 8** - Fatores de anisotropia e respectivas classes de qualidade da madeira.

FATOR A	QUALIDADE DA MADEIRA
1,2 a 1,5	- Madeiras consideradas excelentes - procuradas para usos que não permitem empenamentos, torções, etc. (janelas, móveis, instrumentos musicais, ...).
1,6 a 1,9	- Madeiras consideradas normais.
$\geq 2,0$	- Madeiras de baixa qualidade - inapropriada para várias utilizações, mas algumas ainda de grande interesse comercial por reunirem outras propriedades desejadas.

Fonte: MORESCHI (2014).

Para a determinação dos fatores de anisotropia dos corpos-de-prova foram utilizadas as equações 6 e 7 (anisotropia de retração  $A_r$  e anisotropia de inchamento  $A_i$ ), conforme metodologia aplicada por Moreschi (2014).

$$A_r = \frac{\epsilon_{r,3}}{\epsilon_{r,2}} \quad (06)$$

$$A_i = \frac{\epsilon_{i,3}}{\epsilon_{i,2}} \quad (07)$$

Onde:

$\epsilon_{r,3}$  – deformação de retração tangencial.

$\epsilon_{r,2}$  – deformação de retração radial.

$\varepsilon_{i,3}$  – deformação de inchamento tangencial.

$\varepsilon_{i,2}$  – deformação de inchamento radial.

#### **4.4 Análise dos dados**

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado desconsiderando o posicionamento vertical dos discos e árvore de origem das amostras. Considerando o número total de 48 amostras selecionadas por espécie, o estudo de reprodutibilidade foi composto por 4 grupos (T0, T1, T2 e T3) com 12 repetições por tratamento para ambas as espécies. A densidade básica foi conduzida em um grupo separado com 10 repetições por espécie. Os dados das propriedades avaliadas foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0,05$ ). Uma vez atestada a normalidade dos dados foi realizado a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias através do teste Tukey a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas através do software Microsoft Excel.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade básica

A Tabela 4 apresenta os valores de densidade básica encontrados para as espécies estudadas.

**Tabela 1** – Valores médios de densidade básica para as espécies.

Espécie	Densidade básica			Classe de densidade
	Max (g.cm <sup>-3</sup> )	Min (g.cm <sup>-3</sup> )	Média (g.cm <sup>-3</sup> )	
<i>Schizolobium parahyba</i>	0,381	0,199	0,293(±0,05)	baixa
<i>Cordia goeldiana</i>	0,628	0,468	0,537(±0,06)	média
<i>Manilkara</i>	0,955	0,803	0,908(±0,05)	alta

Max – densidade básica máxima encontrada, Min – densidade básica mínima encontrada e Média – média da densidade básica para a espécie. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

Considerando a classificação descrita por Vale et al., 2005, a madeira de *Schizolobium parahyba* neste trabalho estudada pode ser classificada como madeira de baixa densidade, apresentando densidade média de 0,293 g.cm<sup>-3</sup>. Esses valores encontram-se dentro do esperado quando comparados a bibliografia relacionada a caracterização física do *Schizolobium parahyba* a qual encontra densidade na faixa que varia de 0,260 g.cm<sup>-3</sup> a 0,360 g.cm<sup>-3</sup> (VASCONCELOS et al., 2020, ALMEIDA et al., 2013 e VIDAURE et al., 2012)

*Cordia goeldiana* apresentou uma densidade básica de 0,537 g.cm<sup>-3</sup>, sendo assim classificada como uma madeira de média densidade (VALE et al., 2005). Mascarenhas et al. (2020) obtiveram valores similares para o *Cordia goeldiana*, o qual apresentou uma densidade básica de 0,540 g.cm<sup>-3</sup>. Por outro lado, Leandro et al. (2017) estudando madeiras comercializadas na região norte observou uma densidade inferior para *Cordia* spp., com 0,470 g.cm<sup>-3</sup>. Pressupõe-se que tais diferenças podem ocorrer devido aos resultados apresentados se tratarem da reprodutibilidade encontrada para o gênero e que podem ocorrer diferenças entre espécies pertencentes ao mesmo gênero.

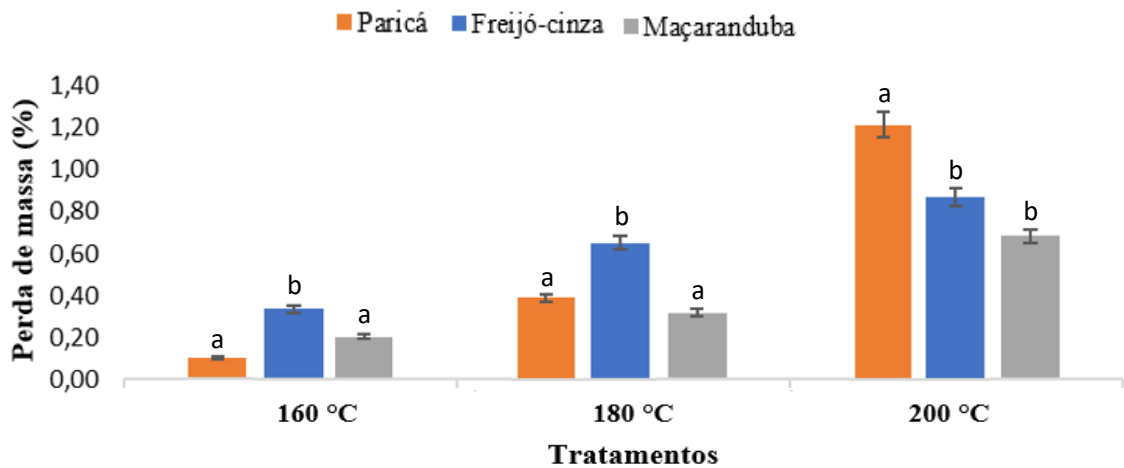
Com a densidade básica apresentada no estudo da maçaranduba (0,908 g.cm<sup>-3</sup>) podemos classifica-la como uma madeira de alta densidade. Essa classificação também foi observada nos trabalhos de Paula (2021) e Lopes et al. (2014), onde observa-se densidades de 0,876 g.cm<sup>-3</sup> e 0,820 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente para essa espécie.

O estudo comparativo das densidades da madeira é importante dada a complexidade de se avaliar os padrões de variação, a qual pode variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, e no mesmo indivíduo a depender de fatores como idade, posição no tronco da amostra retirada (ALVES *et al.*, 2016; SETTE JR *et al.*, 2012).

## 5.2 Perda de massa

A Figura 9 traz a representação gráfica dos valores médios de perda de massa das espécies estudadas para cada faixa de temperatura aplicadas no experimento.

**Figura 9** – Análise estatística de perda percentual de massa entre as espécies. Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. As barras representam o desvio padrão da média.



Fonte: Autor (2024).

**Tabela 2** – Análise estatística de perda percentual de massa entre os tratamentos.

Tratamento	Espécies		
	<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Cordia goeldiana</i>	<i>Manilkara sp.</i>
T1 (160 °C)	0,10(± 0,10) a	0,33(± 0,17) a	0,20(± 0,11) a
T2 (180 °C)	0,39(± 0,24) b	0,65(± 0,14) b	0,32(± 0,12) b
T3 (200 °C)	1,21(± 0,26) c	0,90(± 0,16) c	0,68(± 0,33) c

Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

A perda de massa da madeira com aplicação de tratamento térmico se deve diretamente a degradação dos constituintes químicos do lenho, principalmente as

hemiceluloses (HILL, 2006). Os valores mais elevados de perda de massa nos ensaios em estufa elétrica foram observados principalmente nos tratamentos a 200°C

O tratamento controle (T0) não foi analisado quanto a perda de massa. Apesar da diferença significativa entre os tratamentos, a perda de massa total das amostras após o tratamento não se mostrou considerável para as três temperaturas testadas (T1-160 °C, T2-180 °C e T3-200 °C), tendo como média máxima uma perda de 1,2% ( $\pm 0,26$ ) para os CP's de *Schizolobium parahyba* submetidos a temperatura de 200 °C se comparado a outras temperaturas.

Os corpos de prova de Maçaranduba apresentaram um alto coeficiente de variação (48,43%). Pressupõe-se que isso possa ter ocorrido em função do aparecimento de fissuras nos corpos de prova após os processos de imersão, secagem e tratamento térmico.

A perda de massa no tratamento térmico é reconhecida como um fator associado a perda de resistência mecânica da madeira tratada (MOURA *et al.*, 2012). Assim, tendo em vista a baixa taxa de perda de massa obtida no experimento, é possível apontar que as espécies estudadas apresentam boa resistência aos tratamentos térmicos com temperaturas até 200 °C.

### 5.3 Retratibilidade e Anisotropia dimensional

#### 5.3.1 paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby

Os valores de retração tangencial média ( $\epsilon_t$ ); retração radial média ( $\epsilon_r$ ); retração longitudinal média ( $\epsilon_l$ ); variação volumétrica ( $\Delta V$ ); coeficiente anisotrópico de retração ( $A_r$ ) e coeficiente de anisotropia de inchamento ( $A_i$ ) antes e após aplicação dos tratamentos são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3** – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de retração encontrados para *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby.

Tratamento	Deformações de retração			$A_r$
	$\epsilon_t$ (%)	$\epsilon_r$ (%)	$\Delta V$ (%)	
<b>T0 (controle)</b>	5,17( $\pm 0,26$ ) a	1,74( $\pm 0,41$ ) a	7,04( $\pm 0,64$ ) a	3,11( $\pm 0,67$ ) a
<b>T1 (160 °C)</b>	5,11( $\pm 0,58$ ) a	1,84( $\pm 0,46$ ) a	7,19( $\pm 0,45$ ) a	2,96( $\pm 0,74$ ) a
<b>T2 (180 °C)</b>	5,13( $\pm 0,35$ ) a	2,00( $\pm 0,33$ ) a	7,22( $\pm 0,72$ ) a	2,57( $\pm 0,34$ ) a
<b>T3 (200 °C)</b>	4,61( $\pm 0,47$ ) b	1,62( $\pm 0,32$ ) a	6,34( $\pm 0,64$ ) b	2,94( $\pm 0,62$ ) a

Onde:  $\epsilon_t$  – deformação tangencial,  $\epsilon_r$  – deformação radial,  $\Delta V$  – variação volumétrica e  $A_r$  – anisotropia de retração. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

**Tabela 4** – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de inchamento encontrados para *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby.

Tratamento	Deformações de inchamento			A <sub>i</sub>
	ε <sub>t</sub> (%)	ε <sub>r</sub> (%)	ΔV (%)	
<b>T0 (controle)</b>	5,45(± 0,29) a	1,78(± 0,42) a	7,57(± 0,74) a	3,23(± 0,71) a
<b>T1 (160 °C)</b>	5,39(± 0,65) a	1,88(± 0,49) a	7,75(± 0,52) a	3,06(± 0,79) a
<b>T2 (180 °C)</b>	5,41(± 0,39) a	2,08(± 0,35) a	7,79(± 0,84) a	2,65(± 0,36) a
<b>T3 (200 °C)</b>	4,83(± 0,52) b	1,65(± 0,33) a	6,78(± 0,74) b	3,03(± 0,65) a

Onde: ε<sub>t</sub> – deformação tangencial, ε<sub>r</sub> – deformação radial, ΔV – variação volumétrica e A<sub>i</sub> – anisotropia de inchamento. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

Quanto ao estudo da retratibilidade, o tratamento T3 (200°C), mostrou alteração significativa na retração tangencial média (ε<sub>r</sub>) pós tratamento onde foi possível observar uma redução de aproximadamente 12,5% em relação ao tratamento controle. A variação volumétrica também sofreu uma redução significativa, tanto em retração como em inchamento.

Esses resultados coincidem com o apresentado nos estudos de Ferreira *et al.* (2019) e Delucis *et al.* (2014), que pesquisaram o efeito do tratamento térmico em madeiras de densidades similares e obtiveram uma degradação mais efetiva dos materiais hidrófilos da madeira em faixas de temperatura acima de 180 °C e, conseqüentemente, maior redução da instabilidade dimensional da madeira tratada.

Na avaliação estatística da anisotropia dimensional do *Schizolobium parahyba* não foi identificado diferença significativa, a variação máxima foi observada no estudo do coeficiente de anisotropia de retração (A<sub>r</sub>) (Tabela 3), para o tratamento T2 (180°C), o qual apresentou uma redução da média de aproximadamente 14% em relação ao tratamento controle.

Considerando a classificação proposta por Moreschi, (2014), e Almeida, (2015), a madeira de *Schizolobium parahyba* classifica-se como de baixa qualidade (A>2) para os CP's com e sem tratamento. Observa-se que as variações do fator anisotrópico entre os tratamentos térmicos aplicados não apresentaram reflexos práticos de forma a alterar essa classificação inicial. Entretanto, a avaliação apontou uma tendência de redução da anisotropia dimensional da madeira tratada ao longo do gradiente de temperatura aplicada.

### 5.3.2 freijó-Cinza (*Cordia goeldiana* Huber)

Os valores de deformações tangenciais e radiais para a madeira do *Cordia goeldiana* são apresentados nas tabelas 5 e 6.

**Tabela 5** – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de retração encontrados para *Cordia goeldiana* Huber.

Tratamento	Deformações de retração			A <sub>r</sub>
	ε <sub>t</sub> (%)	ε <sub>r</sub> (%)	ΔV (%)	
<b>T0 (controle)</b>	6,75(± 0,62) a	4,28(± 1,00) a	11,47(± 0,69) a	1,66(± 0,39) a
<b>T1 (160 °C)</b>	6,46(± 0,43) ab	3,64(± 0,75) ab	11,45(± 1,10) a	1,86(± 0,48) a
<b>T2 (180 °C)</b>	5,93(± 0,83) b	3,09(± 1,03) b	11,37(± 1,13) a	2,18(± 0,91) a
<b>T3 (200 °C)</b>	5,18(± 0,87) c	3,04(± 0,68) b	10,15(± 2,48) a	1,78(± 0,49) a

Onde: ε<sub>t</sub> – deformação tangencial, ε<sub>r</sub> – deformação radial, ΔV – variação volumétrica e A<sub>r</sub> – anisotropia de retração. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

**Tabela 6** – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de inchamento encontrados para *Cordia goeldiana* Huber.

Tratamento	Deformações de inchamento			A <sub>i</sub>
	ε <sub>t</sub> (%)	ε <sub>r</sub> (%)	ΔV (%)	
<b>T0 (controle)</b>	7,25(± 0,71) a	4,00(± 0,72) a	12,97(± 0,88) a	1,88(± 0,38) a
<b>T1 (160 °C)</b>	6,91(± 0,49) ab	3,92(± 0,83) a	12,95(± 1,42) a	1,85(± 0,49) a
<b>T2 (180 °C)</b>	6,20(± 0,78) bc	3,73(± 0,61) a	12,85(± 1,44) a	1,70(± 0,31) a
<b>T3 (200 °C)</b>	5,50(± 0,84) c	3,38(± 0,65) a	11,38(± 3,04) a	1,67(± 0,33) a

Onde: ε<sub>t</sub> – deformação tangencial, ε<sub>r</sub> – deformação radial, ΔV – variação volumétrica e A<sub>i</sub> – anisotropia de inchamento. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

Na literatura acerca das propriedades físicas do *Cordia goeldiana* encontra-se valores similares ao encontrado no presente trabalho. Mascarenhas *et al.* (2020) apresenta valores de 6,83 e 4,27% para retração tangencial e radial respectivamente. Leandro *et al.* (2017), obteve retrações de 6,68 e 3,81%.

Considerando os valores apresentados na literatura e do grupo controle, os tratamentos se mostraram eficientes em alterar a retratibilidade dimensional da madeira de Freijó-cinza a qual apresentou redução significativa para todos os ensaios exceto para o inchamento radial.

Analisando o fator anisotrópico das amostras, apesar da redução observada, não foi possível estabelecer uma diferença significativa entre os tratamentos. Considerando a classificação proposta por Moreschi, (2014), o *Cordia goeldiana* fica classificado como uma madeira normal (fator A entre 1,6 a 1,9).

### 5.3.3 maçaranduba (*Manilkara sp.*)

Os valores de retração tangencial média (ε<sub>t</sub>); retração radial média (ε<sub>r</sub>); retração longitudinal média (ε<sub>l</sub>); coeficiente anisotrópico de retração (A<sub>r</sub>) e coeficiente de anisotropia

de inchamento ( $A_i$ ) antes e após aplicação dos tratamentos para a maçaranduba são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

**Tabela 7** – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de retração encontrados para *Manilkara sp.*

Tratamento	Deformações de retração			$A_r$
	$\epsilon_t$ (%)	$\epsilon_r$ (%)	$\Delta V$ (%)	
<b>T0 (controle)</b>	8,85( $\pm 0,82$ ) a	6,05( $\pm 0,82$ ) a	14,73( $\pm 1,35$ ) a	1,46( $\pm 0,20$ ) a
<b>T1 (160 °C)</b>	8,49( $\pm 0,74$ ) a	6,08( $\pm 0,91$ ) a	14,29( $\pm 0,76$ ) a	1,45( $\pm 0,37$ ) a
<b>T2 (180 °C)</b>	8,47( $\pm 0,86$ ) a	5,69( $\pm 0,50$ ) a	14,07( $\pm 1,97$ ) a	1,52( $\pm 0,20$ ) a
<b>T3 (200 °C)</b>	8,36( $\pm 0,91$ ) a	5,54( $\pm 0,66$ ) a	12,72( $\pm 2,56$ ) b	1,49( $\pm 0,16$ ) a

Onde:  $\epsilon_t$  – deformação tangencial,  $\epsilon_r$  – deformação radial,  $\Delta V$  – variação volumétrica e  $A_r$  – anisotropia de retração. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

**Tabela 8** – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de inchamento encontrados para *Manilkara sp.*

Tratamento	Deformações de inchamento			$A_i$
	$\epsilon_t$ (%)	$\epsilon_r$ (%)	$\Delta V$ (%)	
<b>T0 (controle)</b>	9,58( $\pm 0,87$ ) a	6,54( $\pm 0,95$ ) a	17,30( $\pm 1,85$ ) a	1,49( $\pm 0,22$ ) a
<b>T1 (160 °C)</b>	9,28( $\pm 0,87$ ) a	6,48( $\pm 1,02$ ) a	16,68( $\pm 1,03$ ) a	1,49( $\pm 0,41$ ) a
<b>T2 (180 °C)</b>	9,23( $\pm 0,93$ ) a	6,05( $\pm 1,05$ ) a	16,43( $\pm 2,64$ ) a	1,56( $\pm 0,24$ ) a
<b>T3 (200 °C)</b>	8,77( $\pm 0,80$ ) b	5,87( $\pm 0,74$ ) a	14,67( $\pm 3,26$ ) b	1,51( $\pm 0,18$ ) a

Onde:  $\epsilon_t$  – deformação tangencial,  $\epsilon_r$  – deformação radial,  $\Delta V$  – variação volumétrica e  $A_i$  – anisotropia de inchamento. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Valores entre parêntesis representam o desvio padrão da média.

Lopes *et al.* (2014), apresentaram para a madeira de maçã *Manilkara sp.* randuba valores de deformação de inchamento tangencial de 9,43% e radial de 7,19%, similares aos evidenciados nesse estudo para a os testemunhos de 9,58% e 6,54%. Por outro lado, Paula (2021), em sua tese identificou resultados de inchamentos tangencial e radial inferiores (6,62% e 3,60%, respectivamente).

Se tratando da variação volumétrica a *Manilkara sp.* foi a espécie que apresentou maior variação, com variações de  $\Delta V_r$  - 14,73 e  $\Delta V_i$  - 17,39, frente as variações apresentadas pelo *Cordia goeldiana* e *Schizolobium parahyba*. Avaliando a densidade das espécies observa-se uma tendência já expostas em outras bibliografias, espécies de maior densidade tendem a apresentar uma maior retratibilidade (MARTINS *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al* 2010).

Tal comportamento se deve ao fato de madeiras mais densas apresentarem uma maior concentração de células com paredes espessas e absorverem mais água por unidade de

volume e assim expandido e contraindo mais em relação a espécies de menor densidade (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

As diferentes faixas de temperatura não apresentaram efeito significativo na redução da retratibilidade linear tanto para deformação de retração como inchamento quando analisados ao nível de 5% de significância, entretanto, para a variação volumétrica existiu uma redução significativa nos CP's expostos à temperatura de 200 °C. Também não foi possível observar alterações quanto a anisotropia dimensional das amostras entre os tratamentos.

A *Manilkara* sp. fica classificado como uma madeira excelente (fator A entre 1,2 a 1,5), procuradas para usos que não permitem empenamentos como na construção civil, confecção de janelas, batentes e móveis finos, assim como instrumentos musicais.

Dentre as espécies, o *Cordia goeldiana* obteve as melhores respostas ao tratamento com baixa perda de massa e maiores modificações significativas da variação dimensional dos corpos-de-prova.

No geral o tratamento térmico se mostrou capaz de modificar as propriedades físicas das espécies estudadas. As reduções significativas de retratibilidade para o *Schizolobium parahyba*, *Cordia goeldiana* e *Manilkara* ocorreram sob as temperaturas de 180 °C e 200 °C. Não houve alteração significativa no fator de anisotropia para ambas as espécies, mas foi possível observar uma tendência de redução ao avançar das faixas de temperatura aplicadas.

## 6 CONCLUSÃO

De modo geral, o tratamento térmico aplicado as madeiras amazônicas mostrou-se eficiente, principalmente para as temperaturas de 180 °C e 200 °C. Considerando os resultados, o *Cordia goeldiana* obteve as melhores respostas ao tratamento, o qual uniu uma baixa perda de massa e maiores modificações significativas da variação dimensional dos corpos-de-prova.

As características higroscópicas da madeira em muitos casos restringem sua versatilidade, e as pesquisas acerca do tratamento térmico, assim como outras metodologias de tratamento da madeira, se mostram fundamentais para mitigar esses impactos

Estudos adicionais merecem ser realizados para avaliar outras propriedades das amostras após aplicação do tratamento térmico. Isso permitirá avaliar a possibilidade de aplicar maiores temperaturas ou diferente tempos de exposição como tratamento para modificação das propriedades de ambas as espécies.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASIEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**. Projeto de estruturas de madeira: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro, 1997.

ALMEIDA, T.H. **Estudo da estabilidade dimensional de madeiras tropicais brasileiras**. Tese (Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2015.

ALMEIDA, D. H., et al. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* HERB) em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013.

ANDRADE, G.E. **Influência da termorreificação de amostras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas propriedades físicas, dureza janka e flexão estática**. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, nov. 2011.

ALVES, Yanka Laryssa Almeida. Variação na Densidade da Madeira de Espécies do Gênero *Eschweleira* em Seis Sítios no Amazonas. In: Anais do V Congresso de Iniciação do INPA-CONIC. 2016.

AZEVÊDO, S.M.A.; CALEGARI, L.; OLIVEIRA, E.; PIMENTA, A.S.; PAES, J.B.; LIMA, C.R.; Avaliação e eficiência do CCB a madeira de *Prosopis juliflora* (Sw) DC. Pelo método de substituição de seiva. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1704-1715, out./dez., 2018.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; JÚNIOR, G.B.; PESSOA, A.M.C.; SILVA, P.H.M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, Lavras, v.12, n. 2, p. 182-188, abr./jun. 2006.

BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Correlações entre a densidade básica média ponderada e a densidade básica da madeira em alguns pontos ao longo do tronco de árvores de *E. saligna*, *E. grandis* e híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. **Energia na Agricultura**, v. 18, p. 1-13, 2003.

BOSCHETTI, W. T. N.; VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M. Densidade e sua variação na madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; CARNEIRO, A. C. O. Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil. Vitória: EDUFES, 2020.

CADEMARTORI, P. H. G. et al. Efeito do tratamento com plasma frio na molhabilidade de madeiras tropicais brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. Trabalhos publicados.[Seropédica]: SBC-TEM, 2017.

CARPANEZZI, A.A.; KANASHIRO, M. Informações sobre a ecologia de freijó-cinza (*Cordia goeldiana* Huber). **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, pt. 1, p. 447-455, 1982.

FERNANDES, Antonio Rodrigues et al. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, v. 31, p. 599-608, 2007.

- FERREIRA, M.D.; MELO, R.R.; ZAQUE, L.A.M.; STANGERLIN, D.M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Angelim-Pedra submetida ao tratamento térmico. **Tecnol. Metal. Mater. Miner.**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 3-7, jan./mar. 2019.
- FRAVET, P.R.F.; FILHO, A.J.C.; BORGES, C.G.; NOGUEIRA, G.; PINTO, M.C.A.; BRANDO, P.T.V.M.; GUIMARÃES, R.R.; FERREIRA, R.T. Tratamento de mourões pelo método de substituição de seiva. **Serie Circular Técnica-Embrapa**, n. 14. Araxá, MG. Maio, 2015.
- FREITAS, A. S.; GONÇALVEZ, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S. Tratamento termomecânico e seus efeitos nas propriedades da *Simarouba amara* (Aubl.). **Floram**. Brasília, 2016.
- GOMES, JOAQUÍM IVANIR. A madeira de *Cordia goeldiana* Huber. 1982. E-book. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/382285/1/CPATUBP45.pdf>. Acesso em: 08 de janeiro, 2024.
- HILL, C. Wood modification: chemical, thermal and other processes. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006.
- IBÁ, INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório 223**. E-book. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2023.pdf>. Acesso em: 25 dezembro, 2023.
- JANKOWISKY, I.P.; CHIMELO, J.P.;CAVALCANTE, A. A.; CRISTINA, I.; GALINA,M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**.Caxias do Sul: Spectrum, 1990. v. 1 . p.127 - 128.
- JANKOWSKY, I.P.; GALINA, I.C.M. **Secagem de madeira**. São Paulo, 2013. E-book. Disponível em: [http://www.pimads.org/documento\\_atividades/Apostila%20-%20Secagem%20de%20Madeiras..pdf](http://www.pimads.org/documento_atividades/Apostila%20-%20Secagem%20de%20Madeiras..pdf). Acesso em: 25 de dezembro, 2023.
- JÚNIOR, A.F.D.; LANA, A.Q.; SANTOS, P.V.; CARVALHO, A.M.; SOUZA, N.D.; BRITO, J.O. Propriedades físicas e acabamento superficial da madeira de eucalipto termicamente tratada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 3, p. 270-276, jul./set. 2015.
- LACERDA, M.P.; BILCATI, G.K.; PAULINO, R.S.; COSTA, M.R.M.M.; HOLZMANN, H.A. Efeito da adição de polpa de celulose nanofibrilada nas propriedades de argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, 2023.
- LAUDARES, F. A. L.; NASCIMENTO, A. M. D.; OLIVEIRA, R. N.; SANTOS, R. R. D.; & MOURA, F. D. G. Avaliação das propriedades acústicas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetido a tratamento térmico em estufa e autoclave. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 28, p. e20230035, 2023.
- LEANDRO, R. I. M., DA SILVA, A. K. D., DA COSTA SILVA, C., NASCIMENTO, N. R. M., NOBRE, J. R. C., DE SOUSA, M. A. R., & FIGUEIREDO, M. F. Avaliação das propriedades físicas de madeira serrada comercializadas na região norte. E-book. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao-Nobre-5/publication/328028077>. Acesso em: 25 de dezembro, 2023.
- LOPES, D., NETO, P. M., TINTI, V., BOBADILHA, G., & SILVA, A. P. Relação da massa específica básica, anidra e inchamento volumétrico de quatro espécies florestais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Instituto Plantarum de Estudo da Flora**, São Paulo, v. 3, 1992. 382p.
- MARTINS, C. S. et al. Propriedades físicas de três espécies de madeiras comercializadas no sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. Trabalhos publicados.[Seropédica]: SBCTEM, 2017.
- MASCARENHAS, A. R. P.; DE OLIVEIRA CORRÊA, F. L.; DE MELO, R. R.; ALMEIDA, M. H. V.; DA SILVA, W. D.; LIMA, M. F. M.; MORETTI, S. D. A. Estoque de volume e biomassa na madeira de *Cordia goeldiana* Huber (freijó) em sistema agroflorestal multiestratificado. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13602-13615, 2020.
- MELO, R.R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 04, n. 02, p. 152-175, Nov. 2013.
- MELO, R.R.; SILVA, A.G.M.F.; SABINO, M.; STANGERLIN, D.M.; BATISTA, F.G.; SOUZA, M.J.C. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência da madeira a cupins subterrâneos. **Revista de Ciências Agrárias**. 42(3). pg. 786-791.2019.
- MODES, K.S.; SANTINI, E.J.; VIVIAN, M.A.; HASELEIN, C.R. Efeito da termorretrificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 291-302, jan./mar., 2017.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. Curitiba. 4º edição, setembro de 2014. E-book. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro, 2023.
- MORESCHI, J.C. **Relação água-madeira e sua secagem**. Curitiba. 2º edição, nov. 2014. E-book. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/AGUA-MADEIRA.pdf>. Acesso em: 25 de dezembro, 2023.
- OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO, M. F.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.929-936, Viçosa-MG. 2010.
- PAIXÃO, G.L.O.; FILHO, W.A.; BONFIM, K.S.; AOUADA, F.A; MOURA, M.R. Hidrofobização e odorização de madeira para uso na construção civil por imersão em nanoemulsões de óleo essencial de melaleuca e copaíba. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.27, n.2, 2022
- PALERMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; CARVALHO, A.M.; GARCIA, R.A. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden tratada termicamente. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 145-152, jan./mar. 2015.
- PAULA, M.H. **Propriedades tecnológicas de madeiras submetidas a tratamentos térmicos para estabilização dimensional**. Tese (Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília(UNB), Brasília, 2021.
- SANTOS, J. A.; REIS, K. de J. .; SANTOS , L. S. R. dos .; VIEIRA , I. L. S. M. .; LIMA, M. R. N. .; SILVA, M.; ANDRADE, A. C. de A. . Avaliação do efeito de acabamento na rugosidade superficial da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 10, p. e95121043479, 2023.

SANTOS, J.C.E.S.; RAABE, J. Tratamento térmico aplicado a madeiras amazônicas comercializadas na região Tocantina do Maranhão. *Anais, SAPIENS*, 2021.

SANTOS, P.V.; SILVA, M.A.; JÚNIOR, A.F.D.; CARVALHO, A.M.; NASCIMENTO, A.M. Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook) K.D.Hill & L.A.S. Johnson submetida ao processo de termorreificação. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 343-350, jun. 2016.

SILVA, C.J.; VALE, A.T.; MIGUEL, E.P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 35, n. 82, p. 63-75, abr./jun. 2015.

SETTE JR, Carlos Roberto et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v. 36, p. 1183-1190, 2012.

VALE, A.T.; SARMENTO, T.R.; ALMEIDA, A.N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, dez. 2005.

VASCONCELOS, A. G. F. D., VASCONCELOS, A. F., FERREIRA, A. D., BEVILÁQUA, M. F., PINTO, C. X., ALVES, A. B. Q.; MOTTA, J. P. Caracterização física e anatômica da madeira de paricá plantada em clareiras abertas após a exploração florestal na Amazônia. **AGRONOMIA: JORNADAS CIENTÍFICAS-VOLUME 1**, 1(1), 190-194. 2020.

VIDAURRE, G. B., VITAL, B. R., OLIVEIRA, A. C., OLIVEIRA, J. T. S., MOULIN, J. C., SILVA, J. G. M., & SORANSO, D. R. Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. *Revista Árvore*, 42(1), 1-9. 2018.

VIDAURRE, Graziela Baptista et al. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Revista Árvore*, v. 36, p. 365-371, 2012.

VIVIAN, M.A.; JÚNIOR, M.D.; MODES, K.S.; BELINI, U.L.; RUFINO VAZ, D. Ciclos de produção de *Pinus taeda* L. Com mais de 30 anos: uma alternativa para obtenção de madeira para usos sólidos e estruturais. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 573-596, abr./jun. 2022.