



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**FABIANE DA CONCEIÇÃO ALMEIDA
INGRID DAVILA DE OLIVEIRA COELHO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DO PECÍOLO DA
(*Maximiliana Maripa*) DA MICROREGIÃO DE SANTARÉM – PA**

**Santarém - PA
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**FABIANE DA CONCEIÇÃO ALMEIDA
INGRID DAVILA DE OLIVEIRA COELHO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DO PECÍOLO DO INAJÁ
(*Maximiliana Maripa*) NA MICROREGIÃO DE SANTARÉM- PA**

Monografia apresentada ao Programa de Ciência e Tecnologia do Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Augusto de Sousa Moreira. .

Coorientador: Wayka Preston Leite Batista da Costa.

**Santarém - PA
2019**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/ UFOPA

A447c Almeida, Fabiane da Conceição
Caracterização física e mecânica do pecíolo de Inajá (Maximiliana Maripa) na microrregião de Santarém - PA./ Fabiane da Conceição Almeida e Ingrid DAvila de Oliveira Coelho – Santarém, 2019.
45 p.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Thiago Augusto de Sousa Moreira
Coorientador: Wayka Preston Leite Batista da Costa
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia.

1. Inajá. 2. Recurso natural. 3. Amazônia. I. Coelho, Ingrid DAvila de Oliveira, II. Moreira, Thiago Augusto de Sousa, *orient.* III. Costa, Wayka Preston Leite Batista da, *coorient.* IV. Título.

CDD: 23 ed. 584.5098115

TERMO DE APROVAÇÃO

Monografia submetida ao corpo docente do curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DO PECÍOLO DO INAJÁ (*Maximiliana Maripa*) NA MICROREGIÃO DE SANTARÉM- PA

Acadêmicos: **Fabiane da Conceição Almeida
Coelho**

Ingrid DAvila de Oliveira

Examinada por:

Prof. Thiago Augusto de Sousa Moreira. (Orientador) Instituto de
Engenharia e Geociências - UFOPA

Prof. (Carlos Célio Sousa Cruz)
Instituto de Engenharia e Geociências - UFOPA

Prof. (Victor Hugo Pereira Moutinho)
Instituto de Biodiversidade e Floresta- UFOPA

DEDICATÓRIA

*Dedicamos este trabalho a toda nossa família,
em especial aos nossos pais, aos nossos amigos e a todos
aqueles que o usarão como fonte de pesquisa para a
aquisição de novos conhecimentos.*

AGREDECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus por sempre está ao nosso lado, nos fortalecendo nos momentos de dificuldade.

As nossas famílias pelo apoio e suporte para que obtivéssemos êxito na realização deste trabalho, em especial ao nossos pais.

Ao nosso orientador Prof. Thiago Augusto de Sousa Moreira pela oportunidade de elaborar este trabalho.

A nossa coorientadora Wayka Preston Leite Batista da Costa por todo o apoio dado na elaboração deste trabalho.

Aos colaboradores do Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM).

Aos nossos amigos que estiveram ao nosso lado em todos os momentos.

Por fim, agradecemos a todos que colaboraram de forma direta e indireta com a elaboração deste trabalho.

Ele sabe qual é o plano...

Jeremias 29;11

RESUMO

O pecíolo do Inajá (*Maximiliana maripa*) é oriundo de uma palmeira nativa do Brasil, que pode ser encontrada em toda Amazônia tanto brasileira como dos países vizinhos, tendo sua maior incidência no Estado do Pará e no estuário do Rio Amazonas, chegando até o Maranhão. O inajazeiro é utilizado em sua grande maioria por ribeirinhos da região como alimento, fonte de biocombustível e como matéria-prima para a indústria de cosméticos e medicamentos. Dada a abundância e o potencial desse recurso natural, atualmente, pouco se tem estudado sobre os pecíolos das palmeiras, em especial o pecíolo do Inajá. A literatura existente referente ao uso da palmeira na área de exploração tecnológica é insuficiente, havendo escassa referência bibliográfica que indiquem procedimentos de uso, métodos e técnicas para aplicação diversas em engenharia. Nesse sentido, com intuito de viabilizar o seu uso em aplicações tecnológicas de cunho sustentável e, conseqüentemente, potencializar um recurso natural e abundante na Amazônia, o presente trabalho objetivou a caracterização físico-mecânica do pecíolo Inajá. Os pecíolos utilizados nos ensaios mecânicos foram desdobrados, seccionados e ensaiados de acordo com o método secundário da norma americana ASTM D143-09. Para obtenção da densidade dos pecíolos, utilizou-se da relação massa e volume dos corpos de prova a 12% de umidade. O Inajá apresentou densidade aparente de 0,191 g/cm³. As correlações mostraram que independente do esforço aplicado, as propriedades de resistência e rigidez estarão relacionadas diretamente com a sua densidade.

Palavras-Chave: Inajá, Recurso Natural, Amazônia.

ABSTRACT

The Inajá (*Maximiliana maripa*) petiole comes from a native palm tree from Brazil, which can be found throughout the Brazilian Amazon and neighboring countries, with its highest incidence in the state of Pará and the Amazon River estuary, reaching Maranhão. The inajazeiro is mostly used by local residents as food, biofuel source and as raw material for the cosmetics and medicine industry. Given the abundance and potential of this natural resource, little has been studied about palm petioles, especially the Inajá petiole. The existing literature on the use of palm in the area of technological exploration is insufficient, and there is little bibliographic reference indicating procedures of use, methods and techniques for various application in engineering. In this sense, in order to enable its use in sustainable technological applications and, consequently, potentiate a natural and abundant resource in the Amazon, the present work aimed at the physical-mechanical characterization of the Inajá petiole. The petioles used in the mechanical tests were unfolded, sectioned and tested according to the American Standard Method ASTM D143-09. To obtain the density of the petioles, the mass and volume ratio of the specimens at 12% humidity was used. Inajá presented apparent density of 0.191 g / cm³. The correlations showed that regardless of the applied effort, the strength and stiffness properties will be directly related to its density.

Keywords: Inajá, Natural Resource, Amazon.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1:Palmeira de Inajá (Maximiliana Maripa). | 14 |
| Figura 2:Corpo de prova para ensaio de compressão paralela | 18 |
| Figura 3: Diagrama tensão versus deformação específica para compressão paralela. | 19 |
| Figura 4:Esquema do ensaio para a determinação da resistência à comp. perpendicular. | 21 |
| Figura 5:Diagrama tensão versus deformação específica para compressão perpendicular ... | 21 |
| Figura 6:Dimensões do corpo de prova de flexão estática. | 23 |
| Figura 7:Diagrama força aplicada versus flecha na flexão. | 23 |
| Figura 8:Corpos de prova e suas dimensões em milímetros. | 27 |
| Figura 9:Máquina de corte | 28 |
| Figura 10:Paquímetro | 28 |
| Figura 11:medidor de umidade elétrico | 29 |
| Figura 12:Balança analítica | 29 |
| Figura 13:Corpo de prova ajustado na máquina no (ensaio de compressão paralela). | 32 |
| Figura 14:Corpo de prova ajustado na máquina (ensaio de compressão perpendicular). | 32 |
| Figura 15:Corpo de prova ajustado na máquina no ensaio (Flexão estática). | 33 |
| Figura 16:Gráfico da relação entre densidade aparente e a resistência à comp. paralela. | 36 |
| Figura 17:Gráfico da relação entre densidade aparente e resistência à comp. perpendicular | 37 |
| Figura 18:Gráficos da relação entre a densidade aparente e a resistência à flexão estática | 37 |
| Figura 19:Gráficos da relação entre densidade aparente e a rigidez à compressão paralela. ... | 38 |
| Figura 20:Gráficos da relação entre densidade aparente e a rigidez à comp. perpendicular.... | 38 |
| Figura 21: Gráficos da comparação entre compressões paralela e perpendicular com a rigidez | 39 |
| Figura 22: Gráficos da comparação entre compressões paralela e perpendicular..... | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1:Parâmetros para execução do ensaio de compressão paralela às fibras. | 20 |
| Tabela 2:Dimensão dos corpos de prova. | 26 |
| Tabela 3:Quantidade de corpos de prova ensaiados. | 31 |
| Tabela 4:Valores médios das densidades aparentes dos corpos de prova por ensaio realizado | 35 |
| Tabela 5:Similaridade com o Poliestireno Expandido EPS..... | 42 |

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

| | | |
|---------------|---|--|
| NBR | - | Norma Brasileira Regulamentadora |
| ABNT | - | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ASTM | - | American Society for Testing and Materials |
| LTM | - | Laboratório de Tecnologia da Madeira |
| UFOPA | - | Universidade Federal do Oeste do Pará |
| EPS | - | Poliestireno Expandido |
| $\rho_{12\%}$ | - | Densidade Aparente é 12% de umidade |

ρ_{ap} - Densidade Aparente f_{c0} - Resistência  Compressão Paralela E_{c0} - Módulo de Elasticidade na Compressão Paralela f_{c90} - Resistência  Compressão Perpendicular E_{c90} - Módulo de Elasticidade na Compressão Perpendicular f_M - Módulo de Ruptura na Flexão Esttica

E_M - Módulo de Elasticidade na Flexão Esttica

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO | 14 |
| 1 OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.1 Objetivo geral | 15 |
| 1.2 Objetivos específicos | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 2.1 Inajá | 16 |
| 2.2 Propriedade Física de Densidade Aparente | 18 |
| 2.3 Ensaio mecânicos | 19 |
| 2.3.1 Compressão Paralela..... | 20 |
| 2.3.2 Compressão Perpendicular | 22 |
| 2.3.3 Flexão Estática..... | 24 |
| 2.4 Estatística Descritiva | 26 |
| 2.4.1 Testes Paramétricos e Não-Paramétricos | 26 |
| 2.4.2 Testes de Normalidade e Homogeneidade de Variâncias | 26 |
| 2.4.3 Valor-p..... | 27 |
| 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO | 28 |
| 3.1 Descrição dos Materiais | 28 |
| 3.2 Equipamentos de Preparação de Amostras e Ensaio | 29 |
| 3.4 Ensaio Mecânicos..... | 32 |
| 3.4.1 Compressão Paralela às fibras | 33 |
| 3.4.3 Ensaio de Flexão Estática | 34 |
| 3.5 Análise de Dados | 35 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 37 |
| 4.1 Propriedades Físicas e Mecânicas..... | 37 |
| 4.2 Similaridade com o Poliestireno Expandido (EPS) | 42 |
| 5 CONCLUSÃO | 44 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país muito rico em diversidade de palmeiras nativas, sendo que muitas delas são consideradas de importância econômica, social e ambiental. Só na Amazônia são representadas por aproximadamente 180 espécies, distribuídas em 39 gêneros nativos. As palmeiras podem ser plantadas ou manejadas e seu ciclo é relativamente mais curto que o das árvores, tornando-se adulta mais precocemente. Desta forma, podem constituir uma fonte renovável de matéria prima para diversos propósitos, entre os quais a produção de papel e celulose (MIRANDA E RABELO, 2008).

O pecíolo apresenta potencial para construções de paredes, forros de telhados, portas e mesas. A epiderme do pecíolo (casca) pode ser utilizada na fabricação de cestos, chapéus e leques, já as fibras internas (buchas) são comumente usadas na fabricação de tampas de garrafas, brinquedos e artesanatos de forma geral. Neste contexto, Maximiliana maripa apresenta um grande potencial de utilização, devido ao seu porte, a frequência com que ocorre na Amazônia e distribuição ampla (SOUSA, 2016).

Desse modo, para o aproveitamento do potencial econômico das palmeiras regionais e a sua incorporação na lista de cultivos comerciais, torna-se necessária a ampliação de estudos básicos e aplicados para um melhor conhecimento sobre a sua diversidade, ocupação no ecossistema, evolução, adaptação, e desenvolvimento de métodos adequados para o manejo e utilização de seu potencial (LUZ, 2011).

Mesmo sendo uma palmeira largamente distribuída no Brasil, ainda não se tem registro na literatura de referências que reportem a caracterização físico-mecânica do pecíolo da palmeira. Dessa forma, frente às preocupações ambientais e econômicas voltadas para o aproveitamento e utilização de materiais renováveis, o manejo de palmeiras nativas, pode se tornar promissor, já que o processo de obtenção da matéria-prima para o seu fabrico pode ser controlado pelo seu simples ciclo de extração. O objetivo deste trabalho foi caracterizar física e mecanicamente o pecíolo do Inajá, oferecendo uma fonte de pesquisa com informações técnicas sobre estes materiais.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Caracterizar física e mecanicamente o pecíolo do Inajá (*Maximiliana Maripa*)

1.2 Objetivos específicos

- Determinar a densidade aparente dos pecíolos;
- Avaliar as propriedades mecânicas de resistência e rigidez na compressão (nas direções paralela e perpendicular às fibras) e na flexão estática;
- Correlacionar a densidade aparente com as propriedades mecânicas de resistência e rigidez,
- Comparar o pecíolo com material sintético.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Inajá

O inajá é uma palmeira monocaule com até 25m de altura e estipe liso na parte inferior e com presença de bainhas senescentes na parte superior, medindo no máximo 40 cm de diâmetro (Fig. 1a). Folhas do tipo pinadas, bainha aberta, pecíolo alongado com margens afiadas (Fig. 1b), tamanho da folha até 10m de comprimento, pinas agrupadas irregularmente dispostas em diferentes planos. Inflorescência interfoliar monóica ou predominantemente estaminada (que contém pólen) ou pistilada (que contém órgãos femininos) ou todas juntas na mesma planta; frutos oblongos elipsóides; epicarpo (casca) liso fibroso; mesocarpo (polpa) oleoso; endocarpo (tegumento) espesso-lenhoso. Medindo 5,5 x 3,0 cm de diâmetro com coloração marrom na maturidade. Tegumento das sementes composto de 1 a 3 amêndoas, endosperma homogêneo. Plântula com uma folha inteira em fora de lança (MIRANDA E RABELO, 2008).

Figura 1:Palmeira de Inajá (*Maximiliana Maripa*).



Fonte: CARVALHO, 2007.

Legenda: (a)Palmeira de Inajá; (b)Pecíolo das Folhas de Inajá.

Maximiliana Maripa é uma palmeira da família Arecaceae, nativa do Brasil pode ser encontrada da Amazônia ao Centro-Oeste brasileiro e em regiões adjacentes na Bolívia, no Peru, no Equador, na Colômbia e na Venezuela, tendo sua maior incidência no estado do Pará, mais precisamente no estuário amazônico, onde parece ter a sua origem, chegando até o

Maranhão. Ocorre em áreas de florestas primárias e secundárias, campos naturais e cerrados e, principalmente, em áreas alteradas pelo homem, especialmente as áreas de pastagens.

No Pará, esta espécie forma grandes populações em áreas de pastagens e áreas de roçado em pousio, formando muitas vezes agrupamentos conhecidos por inajazais, lembrando muito as grandes áreas dominadas por babaçu no estado do Maranhão. Em áreas de florestas primárias, a ocorrência de perturbação na floresta favorece a distribuição do inajá, devido à sua elevada necessidade de luz para seu estabelecimento (SALM, 2005)

Esta palmeira pode ser totalmente utilizada; sendo o palmito utilizado para alimentação, principalmente de animais (SHANLEY et al., 2010); as amêndoas como a polpa do fruto podem servir como matéria-prima para indústria de cosméticos, saboarias (“sabão vegetal”) e alimentícias, sendo seu potencial industrial encontrado no óleo comestível obtido da amêndoa do fruto, podendo alcançar até 60% (MIRANDA et al., 2001).

A polpa dos frutos pode ainda ser consumida in natura ou cozida, e também pode ser a base de uma bebida denominada “vinho”. O óleo do fruto de inajá apresenta em sua composição, ácidos graxos essenciais que se destacam por sua relevância de caráter nutricional (MIRANDA et al., 2001; BEZERRA, 2011). O estudo realizado por MIRANDA et al. (2001), destaca o potencial industrial do inajá está no óleo comestível obtido da amêndoa do fruto, podendo alcançar até 60%. Tanto a amêndoa como a polpa do fruto podem servir como matéria-prima para indústria de cosméticos, saboarias (“sabão vegetal”) e alimentícias.

Atualmente, pouco se tem estudado sobre os pecíolos das palmeiras, em especial o pecíolo do Inajá, a literatura existente é insuficiente na área de exploração tecnológica, havendo escassa referência bibliográfica que indiquem procedimentos de uso, métodos e técnicas para aplicação diversas em engenharia. Dentre os trabalhos disponíveis na literatura, podemos destacar o trabalho realizado por (VIANA,2014), que estudou o uso do Inajá como matéria prima para produção de papel a partir de seu pecíolo (método de exploração sustentável) pode constituir uma fonte de renda adicional a pequenos produtores e ribeirinhos já que, em regiões onde o desmatamento é intenso, o inajá invade as áreas já ocupadas pelo homem, tornando-se até obstáculo para as pastagens não manejadas.

Apesar da importância regional dessa palmeira na Amazônia, pouco se sabe sobre esta espécie, pôde-se observar que são poucos os trabalhos realizados com o pecíolo de Inajá. Não

foi encontrado nenhum trabalho que reportasse alguma pesquisa referente ao pecíolo da palmeira no âmbito da caracterização físico-mecânica.

2.2 Propriedade Física de Densidade Aparente

De acordo com Moreschi (2005), a densidade aparente constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Porém, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade.

Batista, Klitzke e Santos (2010) mencionam que dentre as diversas propriedades da madeira, a densidade é a mais utilizada, pela facilidade da determinação e por correlacionar-se diretamente com as propriedades físicas e mecânicas da madeira e com a composição celular. Conforme Costa (2006), a densidade da madeira está intimamente ligada a sua umidade, devido às variações de massa e de volume.

Conseqüentemente, desconsiderando-se o teor de extrativos e de materiais estranhos à madeira, a densidade é um reflexo fiel da quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou, de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira, Moreschi (2005).

O interesse em determinar a densidade de uma forma prática e precisa está necessitando cada vez mais de pesquisas de aprimoramento técnico e investimentos de recursos financeiros em laboratórios. A densidade aparente determinada na umidade de equilíbrio expressa de maneira real a característica da madeira, e principalmente por evidenciar a forma de utilização em construções civis, confecções de móveis, etc. (REZENDE, 1997).

Em conformidade com a condição de umidade da amostra, a densidade pode ser descrita de várias formas. As duas formas mais frequentes de determinação são a densidade básica e a densidade aparente. A primeira relaciona a massa da madeira completamente seca em estufa com o seu respectivo volume saturado. A segunda, que do ponto de vista prático, é maior o interesse na sua determinação, é feita com determinação de massa e volume a um mesmo valor de teor de umidade (OLIVEIRA, 1997).

Segundo Moreschi (2005), para determinar a densidade aparente foram estabelecidos como referências os teores de umidade fixos de 0%, 12% e 15% de umidade, correspondendo o primeiro ao teor de umidade aproximado da madeira seca em estufa, o segundo ao teor de umidade de equilíbrio da madeira seca em condições climáticas padronizadas, a 20 °C e 65% de umidade relativa do ar, e o terceiro ao teor de umidade de equilíbrio.

Assim sendo, o teor de umidade nas condições de 1 ATM a 20 °C de temperatura e umidade relativa do ar de 65%, a umidade de equilíbrio para a madeira 12% definido como condição-padrão de referência especificado pelas normas NBR 7190, da ABNT (1997) e ASTM D143 (2009) para a caracterização das propriedades de resistência e rigidez da madeira, conforme a eq. (1):

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (1)$$

Onde:

m_{12} é a massa da madeira a 12% de umidade, em quilogramas;

V_{12} é o volume da madeira a 12% de umidade, em metros cúbicos.

2.3 Ensaios mecânicos

No Brasil, a caracterização mecânica da madeira deve seguir os modelos de ensaios especificados no Anexo B da ABNT NBR 7190:1997- “Determinação das propriedades da madeira para projetos estruturais”. Este anexo assume que, no caso da determinação de elasticidade na compressão paralela às fibras, é necessária a realização de deformações em pelo menos duas faces contrárias do corpo de prova, para que seja obtida uma média representativa da deformação da madeira.

A norma não abrange a orientação transversal do corpo de prova durante a realização do ensaio, dessa forma, não leva em consideração a anisotropia e a heterogeneidade. Portanto, os módulos de elasticidade alcançados podem não representar a real condição da madeira, uma

vez que as faces escolhidas podem não abranger totalmente a variabilidade natural da madeira presente em todo o volume do corpo de prova (FERRO et al. 2013).

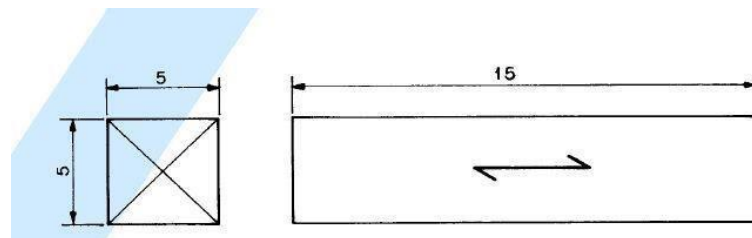
No entanto, atualmente, este documento não abrange ensaios em peças de madeira com dimensões reais. A rigidez e a resistência são definidas através de testes em corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos, os valores das propriedades nesse caso, devem ser corrigidos para a condição padrão de umidade ($U=12\%$), (SANTOS, 2016).

2.3.1 Compressão Paralela

A compressão paralela às fibras é importante parâmetro na concepção de elementos estruturais. A madeira, quando submetida a esses esforços, comporta-se de maneira dúctil, não possui ruptura catastrófica e também é resistente em níveis de solicitação entre os mais elevados que o material consegue desempenhar (FERRO et al. 2013).

A resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova, com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 de comprimento, como exemplificado na figura 2.

Figura 2: Corpo de prova para ensaio de compressão paralela



NBR 7190 (1997).

Fonte:

Expressada pela eq. 2

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,m\acute{a}x.}}{A} \quad (2)$$

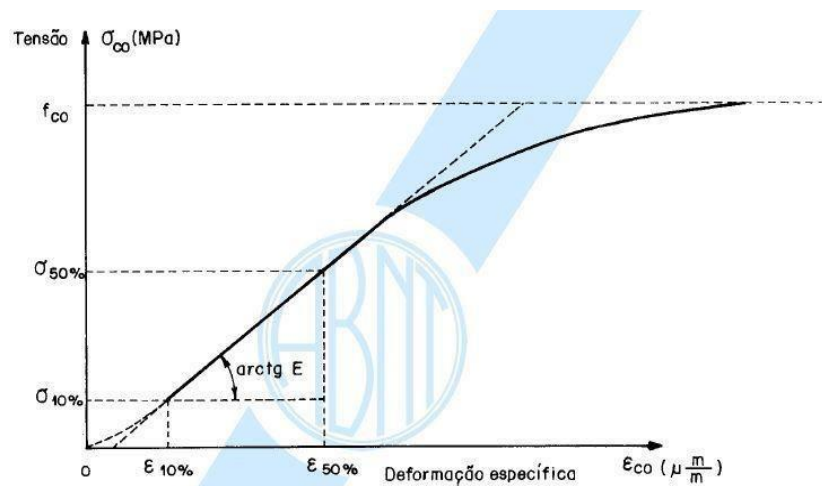
Onde:

F_{c0} , máx. é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em Newtons;

A é a área inicial da secção transversal tracionada comprimida, em metros quadrados; f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras em megapascals.

De acordo com a norma da ABNT a rigidez da madeira deve ser obtida por seu módulo de elasticidade, determinada através do trecho linear do diagrama tensão \times deformação específica, de acordo com a figura 3.

Figura 3: Diagrama tensão versus deformação específica para compressão paralela.



NBR 7190 (1997).

Fonte:

Através do diagrama tensão é possível ainda extrair o valor do módulo de elasticidade E_{c0} , utilizando os critérios especificados na equação.

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (3)$$


Onde: $\sigma_{50\%}$ - tensão de compressão correspondente a 50% da resistência a compressão paralela às fibras;

$\sigma_{10\%}$ - tensão de compressão correspondente a 10% da resistência a compressão paralela às fibras;

$\epsilon_{50\%}$ - deformação específica medida no corpo de prova, correspondente à tensão de $\sigma_{50\%}$;

$\epsilon_{10\%}$ - deformação específica medida no corpo de prova, correspondente à tensão de $\sigma_{10\%}$;

Tabela 1: Parâmetros para execução do ensaio de compressão paralela às fibras.

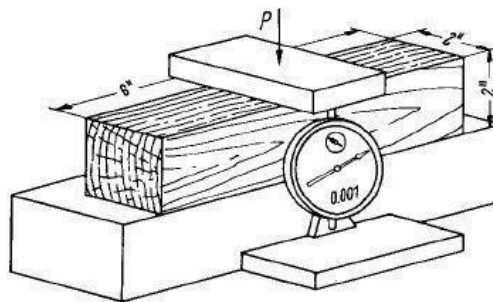
| Parâmetros | NBR 7190:1997 |
|--|--|
| Dimensão do corpo de prova | 5cm x 5cm x 15cm |
| Determinação da resistência á compressão | $F_{c0, \text{máx.}}$ $f_{c0} =$ |
| Tamanho da amostra | A 13 corpos de prova |
| Carregamento monótono crescente, com uma taxa em | Taxa de carregamento torna de 10 Mpa/min |
| Corpos de prova |  |
| Fonte: | Os autores. |

2.3.2 Compressão Perpendicular

O ensaio a compressão perpendicular às fibras tem como objetivo avaliar a resistência da madeira para fins específicos, em alguns casos como dormentes, tacos e assoalhos, pallets, ou na construção civil e carpintaria, situações onde o esforço aplicado sobre a peça de madeira é similar a destes exemplos, ou seja, de esforço estático onde a madeira corre o risco de sofrer "esmagamento" com a ocorrência de deformação plástica (Moreschi 2005).

A figura, apresentada a seguir, dá uma ideia real do tipo de esforço exercido sobre a madeira: Nas condições de ensaio aplica-se pressão sobre a peça metálica (aço), a qual comprime no sentido perpendicular às fibras, a madeira que repousa sobre a plataforma da máquina de ensaios, com resistência muito superior à da madeira sendo ensaiada. Desta forma a madeira tende a amassar, o que efetivamente ocorre quando se ultrapassa o seu limite de elasticidade.

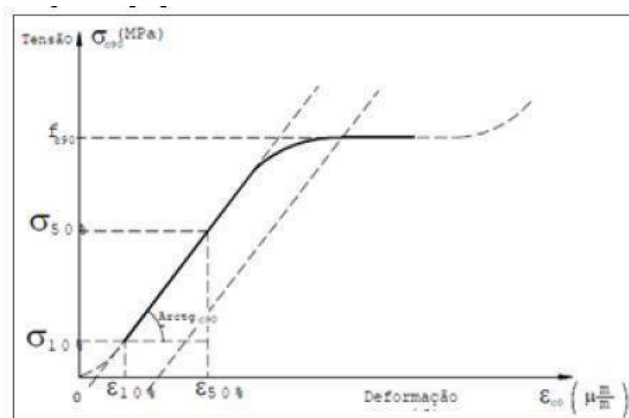
Figura 4: Esquema do ensaio para a determinação da resistência à compressão perpendicular às fibras.



Fonte: (Moreschi 2005).

A rigidez da madeira na direção normal às fibras deve ser determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama tensão versus deformação específica, descrita abaixo.

Figura 5: Diagrama tensão versus deformação específica para compressão perpendicular às fibras.



Fonte: NBR 7190 (1997).

Para esta finalidade o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão versus deformação específica, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}$; $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$; $\epsilon_{50\%}$) correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência à compressão perpendicular às fibras (f_{c90}), dado ela eq. (4):

$$E_{c90} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (4)$$

Onde:

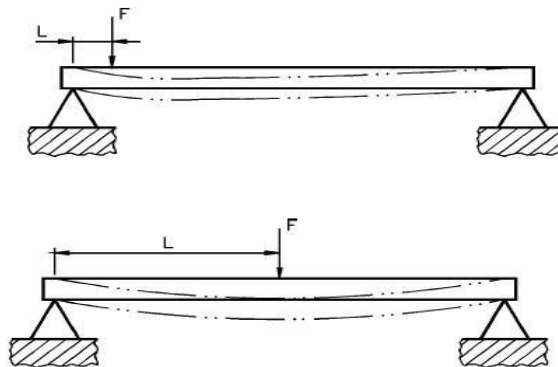
$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões de compressão perpendicular correspondentes a 10% e 50% da resistência convencional f_{c90} ; $\epsilon_{10\%}$ e $\epsilon_{50\%}$ são as deformações específicas medidas na direção paralela às fibras correspondentes às tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$, respectivamente.

2.3.5 Flexão Estática

A resistência à flexão é seguramente uma das características mais importantes a avaliar e também uma das melhores características da madeira. Muitas são as aplicações da madeira sujeitas a esforços de flexão, como as vigas de cobertura ou de pavimento, ou mesmo as pontes, entre outros. Quando se submete uma peça estrutural de madeira a esforços de flexão, esta é na realidade submetida a esforços de tração, de compressão e de corte em diferentes direções. Para a análise estrutural, uma das propriedades mais importantes é o módulo de elasticidade, que é retirado do ensaio à flexão estática (CRUZ,2015).

Basicamente, o ensaio para a determinação da resistência à flexão estática da madeira consiste na aplicação de uma carga a um corpo-de-prova que deve estar vinculado a dois apoios articulados móveis, com vão livre entre apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis até sua ruptura (Moreschi 2005).

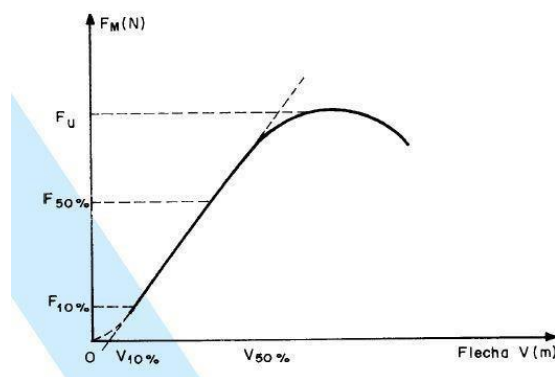
Figura 6: Dimensões do corpo de prova de flexão estática.



Fonte: (Moreschi 2005).

A rigidez da madeira à flexão é caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama carga x deslocamento, indicado na figura abaixo.

Figura 7: Diagrama força aplicada versus flecha na flexão.



Fonte: NBR 7190 (1997).

Para esta finalidade, o módulo de elasticidade (EM) em MPa deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva força aplicada versus flecha na flexão destacado na figura acima, definida pelos pontos ($F_{10\%}$; $V_{10\%}$) e ($F_{50\%}$; $V_{50\%}$), correspondentes,

respectivamente, a 10% e 50% da carga máxima, determinada no ensaio, sendo dada pela equação abaixo.

$$E_M = \frac{(F_{M, 50\%} - F_{M, 10\%}) L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) 4 bh^3} \quad (5)$$

Onde:

$F_{M,10\%}$ e $F_{M,50\%}$ são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova, em newtons.

2.4 Estatística Descritiva

2.4.1 Testes Paramétricos e Não-Paramétricos

Os testes de hipóteses se dividem em paramétricos e não paramétricos. Os paramétricos são aqueles que utilizam os parâmetros da distribuição, ou uma estimativa destes, para o cálculo de sua estatística. Normalmente, estes testes são mais rigorosos e possuem mais pressuposições para sua validação. Já os não paramétricos utilizam, para o cálculo de sua estatística, postos atribuídos aos dados ordenados e são livres da distribuição de probabilidades dos dados estudados. A validação dos resultados dos testes paramétricos depende da verificação de suas pressuposições, como por exemplo a normalidade dos dados, pressuposição básica para aplicação da maioria dos testes paramétricos. Desse modo, é interessante verificar até que ponto os resultados dos testes paramétricos serão prejudicados quando a pressuposição de normalidade não venha a ser satisfeita (Reis e Ribeiro,2007).

2.4.2 Testes de Normalidade e Homogeneidade de Variâncias

Para verificar se as pressuposições (aditividade, homogeneidade das variâncias, independência e normalidade dos erros) estão sendo satisfeitas, pode-se usar, por exemplo, o

teste de Shapiro-Wilk, utilizado para o teste de aderência à Normalidade, o teste de não aditividade de Tukey, teste de Lilliefors para normalidade da distribuição dos erros, teste de Bartlett para verificação da homogeneidade e DurbinWatson para independência dos erros, dentre outros (VIEIRA et al., 2018).

A verificação destas pressuposições em softwares estatísticos agiliza o processo e o torna mais dinâmico. Em 1995, inicia-se um projeto de criação do programa de código aberto “R” e o mesmo é um dos mais utilizados atualmente, principalmente em decorrência da sua gratuidade e qualidade dos resultados. É adotado em todo o mundo (CARVALHO et al., 2010). O programa R se tornou muito dinâmico por possibilitar a implementação das ferramentas que o usuário deseja ao contrário dos demais programas que se limitam neste sentido (PETERNELLI & MELLO, 2007).

2.4.3 Valor-p

O valor-p é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado. Convencionalmente, utiliza-se um valor fixo (normalmente 0,05), também conhecido como nível de significância do teste de hipóteses proposto. Este nível de significância, baseia-se na probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira. Em testes estatísticos, assume-se que há significância estatística ou que o resultado é estatisticamente significativo quando o p-valor observado é menor que o nível de significância definido para o estudo (FERREIRA e PATINO, 2015).

O nível de significância é geralmente determinado pelo pesquisador antes da coleta dos dados e tradicionalmente fixado em 0,05 ou menos, dependendo da área de estudo. Em muitas áreas de estudo, resultados com nível de significância de 0,05 (probabilidade de erro de 5%) são considerados estatisticamente relevantes. O *p*-valor (nível descritivo ou probabilidade de significância) é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que a estatística observada a partir de uma amostra de uma população quando a hipótese nula é verdadeira. Em outras palavras, o *p*valor é o menor nível de significância para o qual se rejeita a hipótese nula. Por exemplo, a hipótese nula é rejeitada a 5% quando o *p*-valor é menor que 5% (OLIVEIRA,2014).

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 Descrição dos Materiais

O material utilizado nesse trabalho é procedente da Fazenda Experimental da UFOPA, localizada no quilômetro 37 da Rodovia Santarém Curuá-Una na cidade de Santarém-PA. Os pecíolos já sem casca foram encaminhados à uma marcenaria, para desdobramento das peças em ripas de 25x25x900 mm. Em seguida, identificados e acondicionados em ambiente sob temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa do ar para obtenção do teor de umidade de equilíbrio e caracterização das propriedades mecânicas de resistência e rigidez, previsto na norma ASTM D143 (2009).

Para a confecção dos corpos de prova seccionou-se as ripas com as dimensões descritas na Tabela 2.

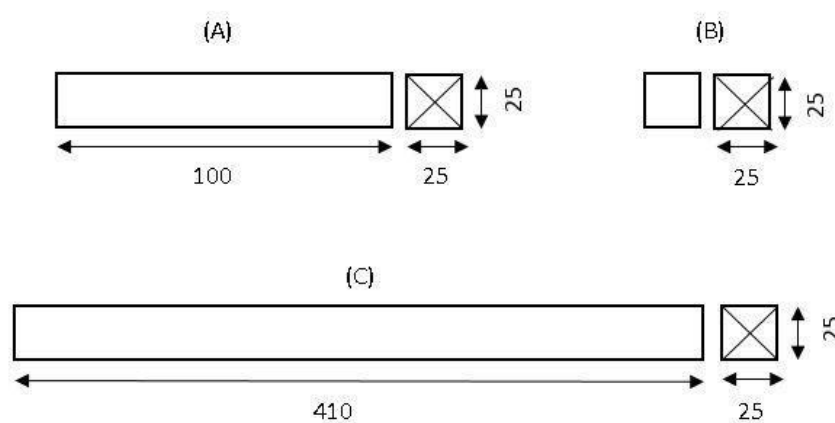
Tabela 2: Dimensão dos corpos de prova.

| Ensaio Mecânico | Dimensão do CP (mm) |
|--------------------------|----------------------------|
| Compressão Paralela | 25x25x100 |
| Compressão Perpendicular | 25x25x25 |
| Flexão Estática | 25x25x410 |

Fonte: Os autores, 2019.

Na Figura 8, são apresentados os corpos de prova e suas dimensões de acordo com o tipo de ensaio mecânico.

Figura 8: Corpos de prova e suas dimensões em milímetros.



Fonte: Os autores, 2019. Legenda: (A) compressão paralela, (B) compressão perpendicular e (C) flexão estática.

3.2 Equipamentos de Preparação de Amostras e Ensaio

Os equipamentos para a preparação dos ensaios e sua realização consistiram essencialmente em máquinas de corte (Fig. 9) com ferramentas muito bem preparadas e afinadas, para obter corpos de prova de dimensões desejadas, nos sistemas de avaliação dimensional e nos sistemas de aplicação de cargas. Usualmente a primeira aproximação às medidas pretendidas foi feita numa serra de fita, com dimensões acrescidas de cerca de 255 mm.

Figura 9: Máquina de corte .



Fonte: Os autores, 2019.

Para as dimensões dos corpos de provas, usaram-se paquímetros mecânicos com uma precisão de 0,01 mm, calibrados pelos utilizadores, sujeitos a inspeção quanto ao seu bom estado de conservação e qualidade de fabrico, passando por uma verificação comparativamente a outros instrumentos de medida e em relação a peças de precisão de dimensão conhecida, conforme mostra a (Fig. 10).

Figura 10: Paquímetro



Fonte: Os autores, 2019.

Sabendo-se da influência que o teor em água da madeira tem sobre as propriedades mecânicas, todas as amostras foram estudadas em valores de teor em água correspondentes ao equilíbrio em condições de 20 °C e 65 % de humidade relativa do ar, o que significa, em média, valores entre $12 \pm 2\%$. Para este fim, foi utilizado um medidor de umidade elétrica, modelo MH-5035, conforme mostra a (Fig. 11).

Figura 11: medidor de umidade elétrica



Fonte: Os autores, 2019.

Para determinar as massas, foi utilizada uma balança analítica (Fig. 12). Foram empregados também equipamentos de medições simples, escalímetro, régua, dentre outros.

Figura 12: Balança analítica



Fonte: Os autores, 2019.

3.3 Densidade Aparente

Para o cálculo da densidade aparente, utilizou-se a relação entre massa e volume dos corpos de provas com teor de 12%, sendo dada por:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (6)$$

Onde: m_{12} é a massa da madeira a 12% de umidade, em quilogramas;

V_{12} é o volume da madeira a 12% de umidade, em metros cúbicos.

Utilizando a relação massa e volume dados pela eq. (6), determinou-se a densidade aparente dos corpos de prova de todos os ensaios.

3.4 Ensaios Mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) que dispunha do material necessário para caracterização das propriedades físico-mecânicas do pecíolo de Inajá. Para aplicação de forças elevadas, como as necessárias para os ensaios de flexão estática, e compressão paralela e perpendicular às fibras, utilizou-se uma máquina universal EMIC DL30 KN com célula de carga de 5 KN. A quantidade de corpos de prova ensaiados está descrita na Tabela 3.

Em razão dos materiais lignocelulósicos oriundos do pecíolo de Inajá apresentar um fator limitante na sua secção transversal e pela inexistência de normativa específica para ensaio mecânico deste, adotou-se o método secundário da norma americana de ensaios de madeira ASTM - American Society for Testing and Materials D143 (2009), que prevê a redução dimensional dos corpos de prova. Entretanto, os corpos de prova dos ensaios de compressão perpendicular, foram confeccionados com dimensões reduzidas em relação à norma citada.

Dessa forma, as normas da madeira estão sendo utilizadas devido o material (Inajá) ser análogo a madeira sendo lignocelulósico. De acordo com (NETO et al., 2015), as matérias-primas lignocelulósicas são as fontes renováveis mais abundantemente encontradas na natureza, sendo compreendidas, majoritariamente, pelos materiais agroindustriais, pelos resíduos urbanos e pelas madeiras de angiospermas e gimnospermas. A lignocelulose é um complexo rígido composto de diferentes moléculas, que constitui quase a totalidade da parcela estrutural das plantas, ou seja, a maior porcentagem da biomassa dos vegetais.

3.4.1 Compressão Paralela às fibras

O ensaio foi realizado de modo que a carga aplicada sobre o corpo de prova se elevasse progressivamente à razão de 10 MPa/min a uma velocidade constante de 1,2 mm/min. estabeleceu-se a deformação limite de 10%, conforme especifica a ASTM D143 (2009).

A Figura 13 demonstra a maneira que os corpos de prova foram ajustados na máquina para a realização dos ensaios

Figura 13: Corpo de prova ajustado na máquina no (ensaio de compressão paralela).



Fonte: Os autores, 2019.

3.4.2 Compressão Perpendicular às fibras

O ensaio foi realizado de modo que a carga aplicada sobre o corpo de prova se elevasse progressivamente à razão de 10 MPa/min a uma velocidade constante de 0,3 mm/min. Determinou-se a deformação limite de 10%, conforme especifica a ASTM D143(2009). A Figura 14 apresenta a disposição do corpo de prova ajustado na máquina.

Figura 14: Corpo de prova ajustado na máquina (ensaio de compressão perpendicular).



Fonte: Os autores, 2019.

3.4.3 Ensaio de Flexão Estática

O ensaio foi realizado de forma que a carga aplicada se concentrasse na metade do comprimento do CP, apoiado sobre dois apoios articulados móveis, com vão livre entre os mesmos de 360 mm. O carregamento ocorreu de modo progressivo à 10 MPa/min, por meio de um cutelo acoplado à célula de carga, a uma velocidade constante de 1,3 mm/min. A Figura 15 ilustra a maneira que os corpos de prova foram ajustados na máquina para a realização dos ensaios.

Figura 15: Corpo de prova ajustado na máquina no ensaio (Flexão estática).



Fonte: Os autores, 2019.

3.5 Análise de Dados

As estatísticas descritivas, os testes e as análises gráficas foram realizados com o auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Para a análise estatística foi utilizado o teste de Kruskal wallis para os dados que não apresentaram distribuição normal e homogeneidade nas variâncias, comprovada através dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As correlações foram realizadas pelo método não paramétrico de Spearman.

3.5.1 Interpretação do Coeficiente de Correlação

Para a interpretação do coeficiente de correlação deste trabalho, adotou-se o método proposto por Callegari-Jacques (2003), onde o autor descreve que o coeficiente pode ser avaliado da seguinte maneira:

- $0,00 < |\alpha| < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- $0,30 \leq |\alpha| < 0,60$, existe moderada correlação linear;

- $0,60 \leq |\alpha| < 0,90$, existe forte correlação linear;
- $0,90 \leq |\alpha| < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

A interpretação do coeficiente quando $|\alpha| = 1$ é de que existe correlação linear perfeita entre as variáveis X e Y . A correlação é linear perfeita positiva quando $|\alpha| = 1$ e linear perfeita negativa quando $|\alpha| = -1$. Quando se tem $|\alpha| = 0$, não existe correlação linear entre as variáveis X e Y .

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades Físicas e Mecânicas

De acordo com Moreschi (2005), a densidade constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. Para obtenção da densidade, utilizou-se da relação massa e volume dos corpos de prova a 12% de umidade. Sendo este, o teor de umidade de equilíbrio definido como condição padrão de referência especificado pelas normas NBR 7190, da ABNT (1997) e ASTM D143 (2009) para a caracterização das propriedades de resistência e rigidez da madeira.

O Inajá apresentou densidade aparente de 0,1914 g/cm³, que representa a média das densidades aparentes de todos os ensaios, apresentados na tabela 4. Através de análise estatística, foram determinadas as correlações entre a densidade aparente e as propriedades de resistência.

As médias das densidades dos corpos de prova correspondentes a cada ensaio, não apresentaram diferenças estatísticas significativas segundo o teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5 % de significância.

Tabela 4: Valores médios das densidades aparentes dos corpos de prova por ensaio realizado.

| Ensaio Mecânico | $\rho_{12\%}$ (g/cm³) |
|--------------------------|--|
| Compressão Paralela | 0,179 |
| Compressão Perpendicular | 0,197 |
| Flexão Estática | 0,198 |

Fonte: Os autores, 2019.

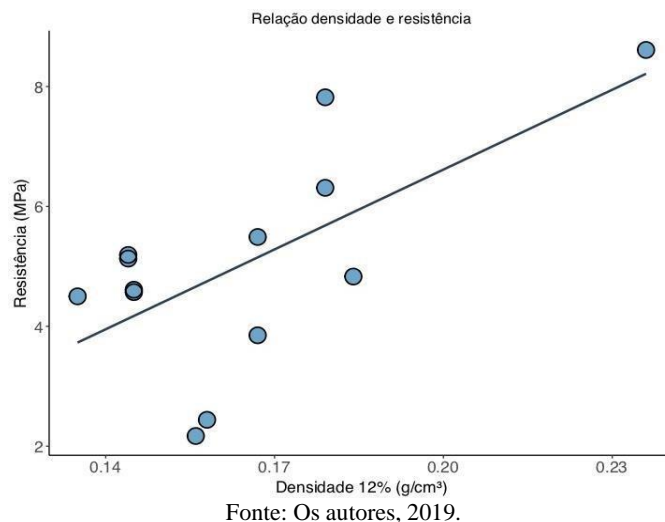
Ao submeter os corpos de prova aos esforços de compressão perpendicular, verificaram-se os valores médios de resistência 2.387 e MOE 19.62 MPa. Segundo Moreschi (2005), o ensaio de compressão perpendicular às fibras tem a finalidade de avaliar a resistência da madeira para usos específicos, em alguns casos como, tacos e assoalhos, onde o esforço efetuado sobre a peça de madeira seja similar a estes exemplos, ou seja, de esforço estático onde a madeira corre o risco de sofrer esmagamento quando ocorre deformação plástica. A

resistência média á compressão paralela às fibras foi de 5.041 MPa, com modulo de elasticidade (MOE) 685.2 MPa. A flexão estática, representada pelo módulo de ruptura (MDR) médio, foi de 13.60 MPa, e o módulo de elasticidade de 1938 MPa.

4.1.1 Relação da Densidade Aparente com as Propriedades Mecânicas de Resistência

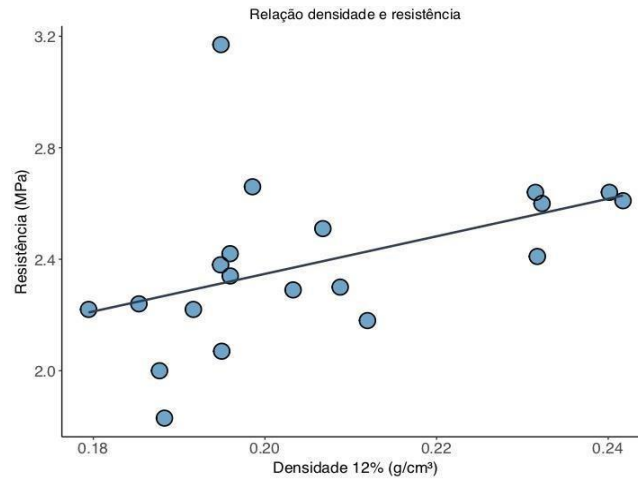
A (Fig. 16) mostra que na relação da densidade aparente com a resistência à compressão paralela, o Inajá apresentou coeficiente de correlação de Spearman fortes (0.6519507) e significativo (valor-p = 0.01575), indicando a existência de forte correlação linear entre as variáveis.

Figura 15: Gráfico da relação entre densidade aparente e a resistência à compressão paralela.



Na relação da densidade aparente com a resistência à compressão perpendicular, apresentou coeficiente de Spearman correlação moderado (0.4454095) e significativo (valor-p = 0.04906) indicando a existência de correlação linear positiva entre as variáveis como mostra a (Fig. 17).

Figura 17: Gráficos da relação entre a densidade aparente e a resistência à compressão perpendicular

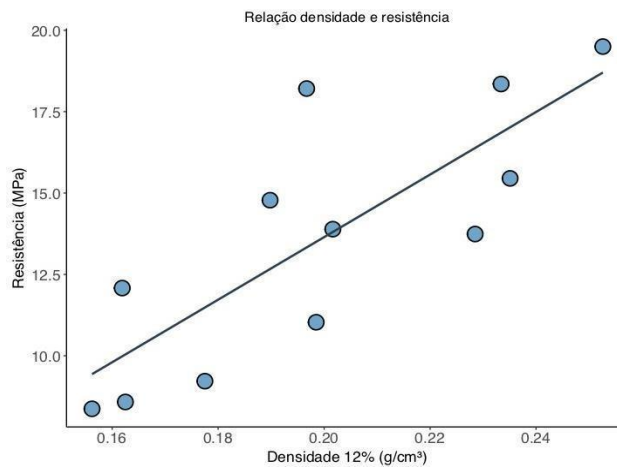


Fonte: Os autores, 2019.

Legenda: Relação da densidade aparente com a resistência à compressão perpendicular.

Na relação da densidade aparente com a resistência à flexão estática (Fig. 18), houve coeficientes de correlação de Spearman fortes (0.7983902) e (valor-p = 0.001849) extremamente significante, indicando desta forma, a existência de correlação linear entre as variáveis, mostrando que quanto maior a densidade corresponde, maior é a resistência a deformação por flexão.

Figura 18: Gráficos da relação entre a densidade aparente e a resistência à flexão estática

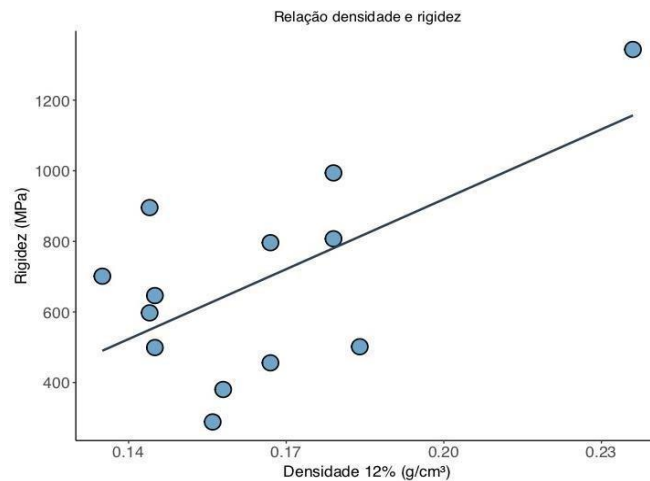


Fonte: Os autores, 2019.

4.1.2 Relação da Densidade Aparente com as Propriedades Mecânicas de Rigidez

Na relação da densidade aparente com a rigidez à compressão paralela (Fig. 19), apresentou coeficiente de correlação de Spearman forte (0.61491) e significativo (valor-p = 0.02531) denotando a existência de correlação linear entre as variáveis analisadas.

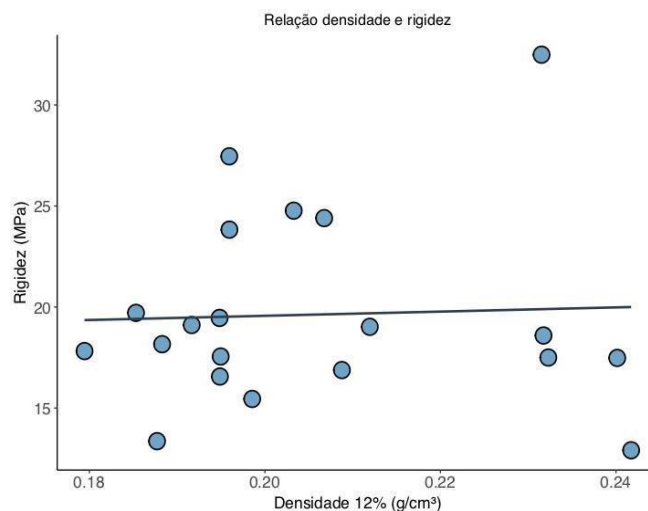
Figura 19: Gráficos da relação entre densidade aparente e a rigidez à compressão paralela.



Fonte: Os autores, 2019.

Na relação da densidade aparente com a rigidez à compressão perpendicular o Inajá apresentou coeficiente de correlação de Spearman fraca (0,0421) e não significativo (valor-p = 0.8599), indicando a inexistência de correlação linear entre as variáveis (Fig. 20).

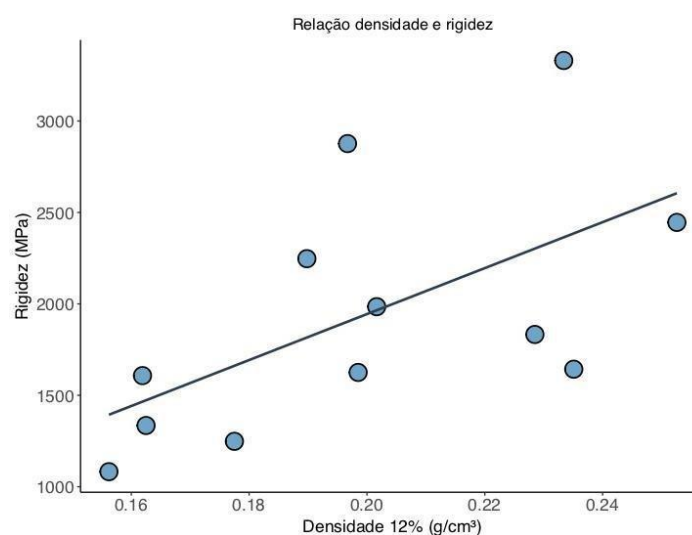
Figura 20: Gráficos da relação entre densidade aparente e a rigidez à compressão perpendicular.



Fonte: Os autores, 2019.

Na (Fig. 21) observa-se que na relação da densidade aparente com a rigidez à flexão estática, as variáveis apresentaram coeficientes de correlação de Spearman moderado (0,5950047) e significativos ($\text{valor } p=0,04126$), que indicam a existência de correlação linear entre as variáveis.

Figura 21: Gráficos da relação entre densidade aparente e a rigidez à flexão estática.



Fonte: Os autores, 2019.

Segundo a literatura, as madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves, mas, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade. O Inajá pode ser considerado um material leve, devido ter apresentado densidade baixa de $0,191 \text{ g/cm}^3$, o que facilita a trabalhabilidade com esse material. Em contrapartida, as correlações entre densidade e as propriedades mecânicas de resistência, evidenciam positivamente que com a elevação da densidade desse material, maior será a sua resistência.

De maneira geral, as correlações mostraram que independente do esforço aplicado, as propriedades de resistência e rigidez estarão relacionadas diretamente com a sua densidade. Sendo restrita apenas a relação entre a densidade aparente com a rigidez à compressão perpendicular. Diante disso, é possível prever o comportamento do material quando submetido a determinado tipo de esforço, característica importante, do ponto de vista estrutural.

4.2 Similaridade com o Poliestireno Expandido (EPS)

De acordo com Avesani Neto e Bueno (2008), o comportamento do EPS é largamente influenciado pela densidade do material. Em termos de comercialização, a NBR 11752 (2007), descreve as especificações mínimas para a produção e regulação do EPS comercializado no Brasil (Tabela 5). A norma é baseada no comportamento característico do EPS, ou seja, com base na relação existente entre resistência mecânica e a densidade do material.

Na Tabela 5 é possível observar em Classe P – III, os valores mínimos das resistências mecânicas que o EPS de maior densidade deve possuir, juntamente com os dados do pecíolo Inajá, e dos pecíolos Miriti e do Jupati estudados por Azevedo e Moreira (2018).

Tabela 5: Características normativas do EPS e valores obtidos do Inajá, Miriti e Jupati.

| Propriedades | Unidade | Classe P | | | Inajá | Miriti | Jupati |
|--|-------------------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | | I | II | III | | | |
| Massa Específica | g/cm ³ | 0,013 – | 0,016 – | 0,020 – | 0.1914 | 0,1003 | 0,0643 |
| | | 0,016 | 0,020 | 0,025 | | | |
| Resistência à Compressão com 10% de deformação | MPa | ≥ 0,06 | ≥ 0,07 | ≥ 0,1 | 2,39 | 0,28 | 0,20 |
| Resistência à Flexão | MPa | ≥ 0,15 | ≥ 0,19 | ≥ 0,24 | 13,60 | 6,09 | 3,55 |

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 11752, (2007).

Comparando com o Miriti, Jupati e o Inajá (ambos com densidades aproximadas ao do EPS), e usando esses valores como referência, é possível observar que o Miriti e o Jupati apresentaram resistências superiores aos estipulados pela normativa, tanto na compressão (0,20 e 0,28 MPa, respectivamente) quanto na flexão (3,55 e 6,09 MPa, respectivamente) e o Inajá apresentou resistência muito superior ao EPS, Miriti e Jupati, tanto na compressão (2,39MPa) quanto na flexão (13,60 MPa).

Dada a similaridade dos materiais estudados com o EPS que, segundo Moraes e Brasil (2015) é um produto industrial largamente utilizado na construção civil para produção de painéis de vedação e divisórias, tendo em vista, as propriedades de isolamento térmico, baixa

densidade e resistências mecânicas que o material oferece. Mas que, em compensação, apresenta implicações ambientais, no que diz respeito a sua difícil degradação.

Dessa forma, tanto o Inajá quanto o Miriti e o Jupati tornam-se uma possível alternativa em substituição ao EPS, uma vez que, os mesmos apresentam comportamento mecânico semelhante, com densidades aproximadas e resistências superiores ao EPS. Além de serem materiais renováveis, biodegradáveis e de baixo impacto ambiental.

5 CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- O Inajá apesar de ser considerado um material leve, devido ter apresentado densidade baixa de $0,191 \text{ g/cm}^3$. Porém esta característica facilitará sua trabalhabilidade e aplicação, permitindo uma redução substancial do peso das construções quando utilizado como sistema construtivo;
- Nos testes de correlação da densidade aparente com as propriedades mecânicas de resistência e rigidez, o Inajá obteve coeficientes de correlação que denotam a associação entre as variáveis envolvidas. Apesar de muito leve, o Inajá tem uma resistência mecânica elevada, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária;
- O Inajá é uma possível alternativa de substituição do EPS por apresentar resistências superiores a este material. Além de serem um material renovável, biodegradável e de baixo impacto ambiental.

6 TRABALHOS FUTUROS

Baseado nessas perspectivas, este trabalho gerou uma fonte de dados com informações das propriedades físicas e mecânicas que podem ser utilizadas para correlacionar novos estudos que envolvam a produção de novos materiais baseados em pecíolos de Inajá.

Deste modo, recomenda-se para trabalhos futuros:

- o estudo dos pecíolos para produção de painéis de vedação e divisórias (em substituição ao EPS na construção civil);
- o estudo das propriedades térmicas para atestar a viabilidade de utilização dos pecíolos como isolantes térmicos em câmaras frias, ambientes confinados, embarcações, dentre outros;
- o estudo da viabilização do uso dos pecíolos como materiais de núcleo para estruturas e painéis sanduiche;
- o estudo das propriedades acústicas dos pecíolos para possível aplicação em projetos de isolamento acústico de paredes; e
- a avaliação do ciclo de vida de cada pecíolo, para se ter um estudo completo dos impactos gerados em todo o ciclo de vida desses materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190 - Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11752 - Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil**. Rio de Janeiro, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **D 143** - Standard methods of testing small clear specimens of timber. **Standards. Estados Unidos**, 2009

AZEVEDO, A. S; MOREIRA M. A. A. **Caracterização físico-mecânica do pecíolo de Buriti (*Mauritia flexuosa*) e Jupati (*Raphia taedigera*)**. Universidade Federal do Oeste do Pará, 2018.

AVESANI NETO, J. O.; BUENO, B. S. **Caracterização do comportamento geotécnico de amostras de EPS por meio de ensaios de laboratório**. Geotécnica. Lisboa, 2009.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. **Basic density and retractibility of wood clones of three Eucalyptus species**. Ciênc. Florest., Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BEZERRA, V.S. (2011). **O Inajá (*Maximiliana maripa* (Aubl.) Drude) como fonte alimentar oleaginosa**. Comunicado Técnico 129. 6p.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003

CARVALHO, Anelena Lima; LINHARES, Evandro José Ferreira; NASCIMENTO, Janice Ferreira. Aspectos da biometria dos cachos, frutos e sementes da palmeira najá (*Maximiliana maripa* (Aublet) Drude) na região leste do estado do Acre. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S1, p. 228-230, 2007.

CARVALHO, R. C.; ALVES, S. D. F.; ALVES, L.; SILVEIRA, A. C. P. **Análise das Pressuposições do Modelo Matemático para Análise de Variância em Experimentos Agrícolas**. Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS 10 a 12 de novembro de 2010. Disponível em: <http://www.prp2.ueg.br/sic2010/apresentacao/trabalhos/pdf/agricolas/seminario/analise_das_pressuposicoes.pdf> acessado em 15/06/2019;

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de Eucalyptus grandis x E.urophylla**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006

David Miguel Reis Cruz. FCT. **Reforço de elementos estruturais de madeira com materiais compósitos de matriz polimérica**- 2015.

FERRO, S.F.; ICIMOTO, F.H.; ALMEIDA, D.H.; CHRISTOFORO, A.L.; ROCCO LAHR F.A. **Influência das posições dos relógios comparadores para determinação da rigidez na compressão paralela às fibras da madeira**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA (CBCM) E DO SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DO RJ- SIMADERJ, 3, 2013, Petrópolis, Rio de Janeiro. **Anais...** Petrópolis: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013

G. M. Reis. J. I. Ribeiro Jr. **Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais**. III SAEPRO – 2007 – UFV

L. M. Souza, A. R. Ghidini, J. S. Rocha. **UTILIZAÇÃO DE PECIOLOS DA PALMEIRA BURITI (Mauritia flexuosa L.f Arecaceae) PARA A CONFECÇÃO DE PAINÉIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Engenharia Ambiental, Centro Universitário do Norte – UNINORTE 2016.

LUZ, N. C. **SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A PARTIR DO USO DE ALTERNATIVAS LOCAIS: O CASO DA EXPLORAÇÃO DO TUCUMÃ**. Universidade Federal do Pará (UFPA), 2011.

MIRANDA, I. P. de A. & RABELO, A. Guia de identificação das palmeiras de **Porto Trombetas – PA. Manaus**, Editora da Universidade Federal do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 365 p. 2008

MIRANDA, I. P. de A.; RABELO, A.; BUENO, C. R.; BARBOSA, E. M.; RIBEIRO, M. N. **S. Frutos de palmeiras da Amazônia. Manaus: INPA**, 2001. 118 p.

MORAES, C. B.; BRASIL, P. de C. **Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental.** 4º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis. 1º Fórum desempenho das Edificações. Eficiência Energética do Ambiente Construído. Passo Fundo, RS, 2015.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**, 4ª edição, Curitiba, 2005

Neto, J. M. S., A. U. Antunes Jr, F. S. Lima, D. A. Anjos. Potencial de Fibras Lignocelulósicas para a Produção de Etanol de Segunda Geração-ERQ (2015).

R. D. Vieira, J. P. E. Bianchini, W. D. Vieira, P. M. Silva, R. S. Vasconcelos, W. B. R. Santos, J. C. Ribeiro. **Pressuposições e a análise de variância de experimentos agropecuários em software livre-2018-Universidade Estadual de Goiás**

OLIVEIRA.M.C. **Definição do nível de significância em função do tamanho amostral. 2014.** Tese (Mestrado) -Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PETERNELLI, L.A.; MELLO, M.P. **Conhecendo o R: uma visão estatística.** Viçosa: Ed UFV, 2007. 118 p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para o uso de aplicativos.** Piracicaba: FEALQ, 2007;

REZENDE, M. A. Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama. **1997. 138f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997**

SANTOS, Caio Victor Fernandes dos. 2016. **Métodos de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento em elementos estruturais de madeira de Pinus spp.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Área de concentração Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais). – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

SALM, R. A. **A importância das palmeiras arborescentes de grande porte na dinâmica das florestas amazônicas sazonalmente secas.** 2005. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2005

SHANLEY, P.; SERRA M.; MEDINA, G. (Ed.) **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica.** Belém, PA: CIFOR: Embrapa

VIANA, Álefe Lopes et al. **PECÍOLO DE INAJÁ (MAXIMILIANA MARIPA (AUBL.) DRUD) COMO FONTE DE MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE PAPEL NA AMAZÔNIA.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 4, p. 1512-1520, 2014.

