



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**VANESSA RODRIGUES GOMES ROCHA**

**PROPRIEDADES FÍSICAS E ENSAIOS DE USINAGEM DA MADEIRA  
DE PAU-BRASIL (*Paubrasilia echinata*)**

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO – 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**VANESSA RODRIGUES GOMES ROCHA**

**PROPRIEDADES FÍSICAS E ENSAIOS DE USINAGEM DA MADEIRA  
DE PAU-BRASIL (*Paubrasilia echinata*)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO – 2023

**PROPRIEDADES FÍSICAS E ENSAIOS DE USINAGEM DA MADEIRA  
DE PAU-BRASIL (*Paubrasilia echinata*)**

**VANESSA RODRIGUES GOMES ROCHA**

APROVADA EM: 21/07/2023

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO – UFRRJ  
Orientador

---

Prof. Dr. JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA – UFRRJ  
Membro

---

Prof. Dr. EDVÁ OLIVEIRA BRITO – UFRRJ  
Membro

Ao meu filho, minha razão de viver; e à  
minha família, por todo o incentivo.

## RESUMO

Este trabalho investigou as propriedades físicas e o desempenho da madeira do pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) em testes de usinagem. Foram avaliadas a densidade básica e aparente da madeira, sua retratibilidade e coeficiente de anisotropia. Além disso, foram realizados testes de aplainamento, lixamento, furação e encaixe de espiga para avaliar a usinabilidade da madeira. Os resultados mostraram que a madeira do pau-brasil possui uma densidade alta, o que indica resistência e durabilidade favoráveis. A retratibilidade e o coeficiente de anisotropia foram considerados dentro da faixa normal para a espécie. Nos testes de usinagem, a madeira do pau-brasil apresentou um bom desempenho no aplainamento e lixamento, proporcionando superfícies adequadas. No entanto, foram observados desafios no processo de furação e fendilhamento por pregos, exigindo cuidados adicionais. O teste de encaixe de espiga demonstrou um bom desempenho da madeira nesse processo. Em resumo, os resultados indicam que a madeira do pau-brasil pode ser usinada com sucesso em alguns processos, mas pode exigir precauções adicionais em outros. Mais estudos e testes são necessários para uma avaliação completa do potencial da madeira do pau-brasil em termos de usinagem e aplicações industriais. Essas descobertas contribuem para o conhecimento sobre as propriedades e o processamento da madeira do pau-brasil, fornecendo informações relevantes para a indústria madeireira e promovendo o uso sustentável dessa espécie nativa do Brasil.

**Palavras-chave:** setor florestal, árvores do Brasil, trabalhabilidade da madeira, propriedades tecnológicas da madeira.

## ABSTRACT

This study investigated the physical properties and performance of pau-brasil wood (*Paubrasilia echinata*) in machining tests. The basic and apparent density, shrinkage, and anisotropy coefficient of the wood were evaluated. Additionally, planing, sanding, drilling, and peg fitting tests were conducted to assess the machinability of the wood. The results demonstrated that pau-brasil wood has high density, indicating favorable strength and durability. The shrinkage and anisotropy coefficient were within the normal range for the species. In the machining tests, the wood performed well in planing and sanding, providing suitable surfaces. However, challenges were observed in drilling and nail splitting, requiring additional care. The peg fitting test showed good performance of the wood in that process. In summary, the results indicate that pau-brasil wood can be successfully machined in some processes but may require additional precautions in others. Further studies and tests are necessary for a comprehensive assessment of the potential of pau-brasil wood in terms of machining and industrial applications. These findings contribute to the understanding of the properties and processing of pau-brasil wood, providing relevant information for the timber industry and promoting the sustainable use of this native Brazilian species.

**Keywords:** forestry sector, trees of Brazil, wood workability, wood technological properties.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.2. Densidade da madeira .....	4
2.3. Retratibilidade e coeficiente de anisotropia .....	5
2.4. Trabalhabilidade e usinagem da madeira .....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	7
3.1. Localização e caracterização do material de coleta .....	7
3.2. Propriedades Físicas .....	9
3.2.1. Determinação da Densidade Básica .....	9
3.2.2. Determinação da Densidade aparente .....	9
3.2.3. Retratibilidade .....	10
3.2.4. Coeficiente de Anisotropia .....	10
3.3. Testes de Usinagem .....	11
3.3.1. Teste de Plaina .....	11
3.3.2. Teste de Lixamento .....	12
3.3.3. Teste de Furação para Cavilha e Dobradiça .....	13
3.3.4. Teste de Rasgo Lateral .....	13
3.3.5. Teste de Fendilhamento por Pregos .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4.1. Propriedades Físicas .....	15
4.1.1. Densidade .....	15
4.1.2. Retratatibilidade e Anisotropia .....	16
4.1.3. Correlação entre as propriedades físicas do pau-brasil .....	17
4.2. Usinagem da madeira .....	19
4.2.1. Aplainamento .....	19
4.2.2. Lixamento .....	20
4.2.3. Furação Cavilha e Dobradiça .....	21

4.2.4.	Encaixa de Espiga (Rasgo Lateral).....	22
4.2.5.	Fendilhamento .....	22
5.	CONCLUSÃO .....	23
6.	REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação dos defeitos de acordo com as notas atribuídas.....	11
<b>Tabela 2.</b> Densidade básica ( $D_b$ ) e Densidade Aparente ( $D_{ap}$ ) das amostras da madeira de Pau-Brasil .....	15
<b>Tabela 3.</b> Valores médios das propriedades físicas: retratibilidade e coeficiente de anisotropia .....	16
<b>Tabela 4.</b> Avaliação do teste de aplainamento .....	20
<b>Tabela 5.</b> Avaliação do teste de lixamento .....	20
<b>Tabela 6.</b> Avaliação do teste de furação para cavilha.....	21
<b>Tabela 7.</b> Avaliação do teste de furação para dobradiça .....	21
<b>Tabela 8.</b> Avaliação do teste de rasgo lateral .....	22
<b>Tabela 9.</b> Avaliação de teste de fendilhamento por pregos .....	22

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Exemplar de <i>Paubrasilia echinata</i> . (A) Inflorescência. (B) Floração da espécie. (C) Floresta de pau-brasil na Reserva Biológica Saltinho – PE. (D) Tronco de pau-brasil fotografado mostrando cerne vermelho escuro. ....	4
<b>Figura 2.</b> Tábuas de madeira utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova. ....	8
<b>Figura 3.</b> Amostras para propriedades físicas e para usinagem.....	8
<b>Figura 4.</b> Esquema dos cortes de desempenho em oposição e concordância. ....	12
<b>Figura 5.</b> Lixadeira. ....	12
<b>Figura 7.</b> Furadeira horizontal e a superfície do rasgo. ....	14
<b>Figura 8.</b> Teste de fendilhamento realizado com pregos.....	15
<b>Figura 10.</b> Correlação entre densidade aparente e variação volumétrica das amostras do pau-brasil. ....	18
<b>Figura 9.</b> Correlação entre densidade básica e variação volumétrica das amostras do pau-brasil. ....	18
<b>Figura 12.</b> Correlação entre coeficiente de anisotropia e densidade aparente das amostras do pau-brasil. ....	19
<b>Figura 11.</b> Correlação entre coeficiente de anisotropia e densidade básica das amostras do pau-brasil. ....	19

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas arbóreas nativas do território brasileiro estão intimamente ligadas à história e ao desenvolvimento econômico e social de nosso país. A mais antiga e importante relação é com o próprio nome da nação “Brasil”, que foi emprestado da árvore conhecida popularmente como “pau-brasil” e denominada cientificamente de *Caesalpinia echinata Lam.* (LORENZI, 1998). O nome da espécie, recentemente, foi modificado para *Paubrasilia echinata*, já que após estudos científicos, percebeu-se que a espécie é única, e com isso, foi criada uma nova nomenclatura de espécie apenas para o pau-brasil, a *Paubrasilia*. (FORMIGA, 2019).

De acordo com Carvalho (2010), a madeira foi um dos primeiros materiais usados pelo homem na construção de sua habitação e de seus primeiros equipamentos de transporte.

O pau-brasil continuou a ser explorado de forma predatória, contribuindo para a devastação do bioma Mata Atlântica. Por outro lado, a destruição desse bioma através do desmatamento e das queimadas reduziu ainda mais as populações naturais do pau-brasil. (SUÇUARANA, 2020).

Em 2004 essa espécie entrou oficialmente na lista de árvores ameaçadas de extinção. Hoje, o pau-brasil encontra-se protegido por lei e não pode ser cortado para fins de florestas comerciais. (IBF, 2020). Tendo seu uso limitado a confecção de arcos para violino de qualidade superior. (FORMIGA, 2019).

Segundo Klock (2000), o aprimoramento do uso de novas tecnologias na transformação e aproveitamento sustentável da madeira requer conhecimento das suas características e comportamento como matéria-prima. As propriedades físicas, como densidade e retratibilidade, são amplamente estudadas devido à rapidez dos resultados e sua relação com outras propriedades tecnológicas. Esse conhecimento é fundamental para gerar novos produtos de forma eficiente.

A densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore. (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971; CARVALHO 2010). É uma das propriedades mais importantes da madeira para os mais diversos fins, visto que sua variação afeta a resistência mecânica e, muitas vezes, a variação dimensional da madeira. (MARQUES, 2012).

Conforme Carvalho (2010), a madeira é considerada um material heterogêneo e anisotrópico, ou seja, suas propriedades físicas e mecânicas variam nos planos radial, tangencial e longitudinal. Essa característica implica em diversos fatores a serem levados em

conta durante os processos de usinagem e beneficiamento, também conhecidos como "aparelhamento".

As variações dimensionais provocadas pela contração e pelo inchamento da madeira constituem, conjuntamente com a anisotropia, características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades ou, ainda, exigindo técnicas específicas de utilização (DURLO & MARCHIORI, 1992; SILVA & OLIVEIRA, 2003).

O entendimento sobre o correto modo de se usinar a madeira de uma determinada espécie é importante, pois influencia economicamente a produção, reduzindo perdas com a necessidade da adição de mais uma etapa de usinagem e melhorando o acabamento superficial da madeira, aumentando, assim, seu valor agregado. (CARVALHO, 2010).

Este trabalho foi realizado com o objetivo principal de avaliar o processo de usinagem da madeira do pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), além de caracterizar as propriedades físicas por meio de ensaios de densidade e contração volumétrica.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Espécie *Paubrasilia echinata* (pau-brasil)**

O pau-brasil é uma espécie nativa do Brasil, considerada árvore símbolo nacional. Possui grande importância econômica e cultural, com histórico de mais de 500 anos de exploração. Seu nome científico era *Caesalpinia echinata*, foi recentemente renomeada, passando a ser descrita como *Paubrasilia echinata*, pertence à família Fabaceae (leguminosas) (SUÇUARANA, 2020). Sua ocorrência natural vai desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro, na floresta pluvial Atlântica (LAMARCA et al., 2009).

No período inicial da colonização, o pau-brasil era amplamente encontrado ao longo da costa Atlântica do Brasil. No entanto, devido ao intenso interesse comercial na extração da braselina, um corante presente em seu cerne, e mais recentemente, na fabricação de arcos de instrumentos de corda de renomada qualidade internacional, essa espécie chegou perigosamente próxima da extinção. Essa exploração ao longo de séculos levou a uma redução drástica de sua população (SCHIMLECK et al., 2009; CUZZUOL, 2016).

O pau-brasil é uma espécie arbórea do domínio brasileiro da Floresta Atlântica em perigo de extinção (Portaria IBAMA n.37-N, de 3 de abril de 1992). É uma das espécies nativas tropicais de grande interesse para o florestamento em território brasileiro. De seu cerne são confeccionados instrumentos musicais de corda de elevada qualidade certificada pela ressonância e durabilidade de sua madeira (ANGYALOSSY; AMANO; ALVES, 2005). É

perenifólia a semidecídua, considerada uma espécie do tipo clímax. Suas folhas são compostas e alternas, formando uma folhagem densa de cor verde-escuro. (SUÇUARANA, 2020). Carvalho (2003) diz que as folhas podem variar em tamanho, dependendo das três variantes morfológicas: folha-miúda, folha-de-café e folha-de-laranja.

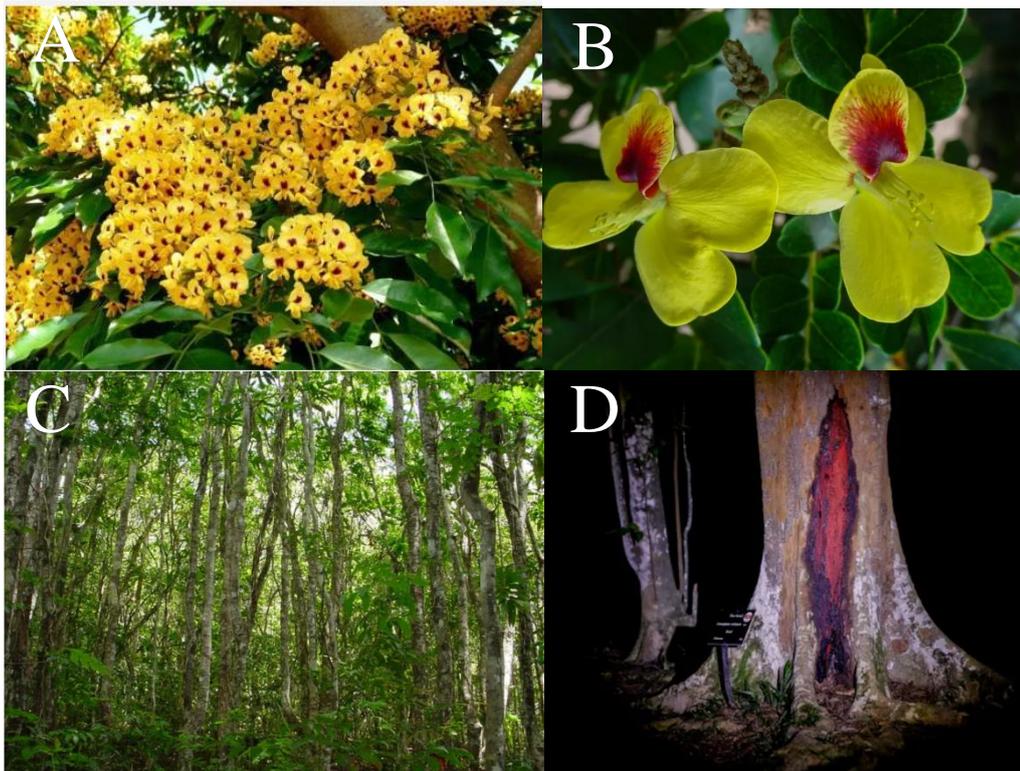
As árvores de pau-brasil atingem até 15 metros de altura, mas relatos na literatura afirmam que no passado algumas árvores chegavam aos 30 metros. É longeva, alcançando cerca de 300 anos de idade ou mais.

Na fase adulta, o pau-brasil exibe características morfológicas fenotípicas distintivas. Suas folhas são compostas bipinadas, com 5-6 pares de pinas, e cada pina contém de 6 a 10 pares de folíolos. (LORENZI, 2000).

O fruto é uma vagem recoberta por numerosos acúleos e carrega de 1 a 3 sementes. A coloração é verde quando são imaturos e castanha quando estão maduros. As sementes são elípticas, lisas e chatas com contorno irregular. A madeira do pau-brasil apresenta alta densidade, é pesada, compacta e resistente ao ataque de fungos e cupins. (SUÇUARANA, 2020). Elas medem aproximadamente 17 mm de comprimento por 15 mm de largura e possuem uma coloração castanha, com pontos de diferentes tonalidades. (CARVALHO, 2010).

O período de floração geralmente ocorre entre os meses de setembro e novembro, tanto em áreas naturais (in situ) quanto em cultivo (ex situ). No entanto, em algumas regiões específicas, esse período de floração pode se estender até janeiro, conforme observado por Cunha e Lima (1992).

O pau-brasil também é reconhecido como uma excelente árvore paisagística, sendo muito utilizada em parques, praças, jardins e na arborização urbana. (SUÇUARANA, 2020).



**Figura 1.** Exemplar de *Paubrasilia echinata*. (A) Inflorescência. (B) Floração da espécie. (C) Floresta de pau-brasil na Reserva Biológica Saltinho – PE. (D) Tronco de pau-brasil fotografado mostrando cerne vermelho escuro.  
Fonte: National Geographic Brasil (2022).

## 2.2. Densidade da madeira

A densidade é uma das características mais utilizadas para avaliar a qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e em virtude de se correlacionar com diversas propriedades físicas e mecânicas, estrutura anatômica e espessura de parede de fibras da madeira. A densidade é definida fisicamente como a relação entre a massa da amostra por unidade de volume (BATISTA et al., 2010; MATTOS et al., 2011).

Latorraca & Albuquerque (2000) e Cruz et al. (2003) afirmaram que a densidade é a característica mais frequentemente empregada em estudos relacionados à qualidade da madeira. Essa propriedade é considerada a mais importante e apresenta a melhor correlação com outras características da madeira. De acordo com Lobão et al. (2004), a densidade da madeira exerce uma influência direta sobre a resistência mecânica do material.

Conforme apontado por Shimoyama (1990), a densidade da madeira está intimamente relacionada a diversas propriedades e características tecnológicas essenciais para a produção

e utilização de produtos florestais. Trata-se de um dos parâmetros mais significativos dentre as propriedades físicas da madeira, uma vez que está relacionado com outras propriedades.

De acordo com Araújo (2007), a massa específica, também conhecida como densidade, é definida como a relação entre a massa e o volume de um material. Por outro lado, a instabilidade dimensional refere-se às variações nas dimensões, tanto lineares quanto volumétricas, em relação ao teor de umidade.

Conforme Lopes e Garcia (2002), a densidade básica da madeira é determinada pela relação entre o peso absoluto da madeira quando completamente seca e o seu volume quando saturada (com umidade acima do Ponto de Saturação das Fibras - PSF). Essa medida é expressa em g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Carvalho (2010) a densidade aparente da madeira pode ser calculada comparando o volume e a massa da madeira com um teor de umidade de 12%. Por outro lado, a densidade básica da madeira é determinada após a secagem da madeira em uma estufa.

A densidade aparente da madeira representa a quantidade de matéria lenhosa contida em um determinado volume, levando em consideração também os espaços vazios presentes, como destacado por Kollmann e Côté (1968); Vale et al. (1992) e Marques et al. (2012). De acordo com Gonçalves et al. (2009), essa propriedade é considerada crucial para diversos fins relacionados à madeira, uma vez que sua variação pode impactar tanto a resistência mecânica quanto a possível variação dimensional do material.

### **2.3. Retratibilidade e coeficiente de anisotropia**

Conforme descrito por Oliveira (1998), a retratibilidade é uma forma de variação dimensional da madeira que ocorre quando há mudanças no teor de umidade. Isso resulta em movimentos de expansão (inchamento) e contração da madeira devido à perda de água abaixo do ponto de saturação das fibras.

O comportamento da retratibilidade varia entre as espécies, sendo dependente da forma como é conduzido o processo de secagem e pelo comportamento da madeira ao longo desse processo, podendo haver alterações dimensionais e até mesmo formação de fendas e empenos (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

O fator de anisotropia é o resultado da razão entre as contrações tangencial e radial, que representam o comportamento da madeira em relação à secagem, indicando maior ou menor propensão das peças em empenar ou rachar. Verifica-se que a retratibilidade tangencial

é maior que a radial, enquanto a retratibilidade longitudinal é praticamente desprezível (OLIVEIRA, 1998).

As variações dimensionais provocadas pela contração e pelo inchamento da madeira constituem, conjuntamente com a anisotropia, características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades ou, ainda, exigindo técnicas específicas de utilização (DURLO & MARCHIORI, 1992; SILVA & OLIVEIRA, 2003).

As variáveis “coeficiente de anisotropia” e “variação volumétrica” são responsáveis por indicar o comportamento da madeira a partir do ganho ou perda de água, tanto quando a umidade do ar se eleva ou diminui, ou quando a madeira entra em contato direto com a água.

Tais variáveis também podem compreender as características relacionadas à estabilidade da madeira, evitando-se que madeiras de menor estabilidade dimensional sejam utilizadas de maneira inadequada (CARVALHO et al., 2018).

A proporção entre a contração tangencial e a contração radial, comumente conhecida como relação T/R, é frequentemente chamada de fator ou coeficiente de anisotropia. Essa relação geralmente varia de 1,5 a 2,5 e desempenha um papel crucial nos estudos sobre a contração da madeira. Quanto maior for essa relação, maior será a propensão da madeira a rachar e deformar. Quando se busca estabilidade dimensional da madeira, é aconselhável selecionar aquela que apresenta a menor taxa T/R, de acordo com as observações de Oliveira e Silva (2003).

#### **2.4. Trabalhabilidade e usinagem da madeira**

A usinagem da madeira consiste em produzir peças em forma desejada quanto às dimensões e à qualidade da superfície, essa qualidade é referente principalmente às falhas geradas em função da estrutura anatômica da madeira, ou seja, pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações, as quais se expressam na forma de defeitos como orifícios, trincas e rachaduras (SILVA et al., 1999; BONDUELLE et al., 2002).

No processamento secundário, as peças advindas do processamento primário são retrabalhadas através das operações de usinagem tais como o aplainamento, fresamento, furação, molduramento, lixamento e torneamento e ganham um melhor aspecto em suas superfícies (PALERMO, 2015).

De acordo com as observações de Silva (2005), o propósito da usinagem não se limita apenas a cortar a madeira, mas visa também a criação de uma forma desejada com precisão

nas dimensões e qualidade de superfície, de maneira eficiente e econômica. Em adição, Silva (2002) destacou a importância de compreender a estrutura da madeira e os parâmetros de usinagem, a fim de estabelecer uma relação efetiva entre eles. Essa compreensão é fundamental para alcançar resultados satisfatórios em termos de qualidade e rendimento na usinagem da madeira.

De acordo com Bonduelle (2001), a qualidade do processo de usinagem pode ser influenciada pela variabilidade da madeira, condições das máquinas, ferramentas de corte e treinamento do operador. É essencial que todo o processo seja avaliado de forma contínua, a fim de garantir resultados consistentes e de alta qualidade.

O interesse daqueles que usinam a madeira é obter uma superfície de boa aparência e realizar, com qualidade, operações de acabamento com produtos de recobrimento, como tintas e vernizes (PALERMO,2015).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização e caracterização do material de coleta**

As amostras de madeira desta pesquisa foram obtidas de um indivíduo da espécie *Paubrasilia echinata* que teve sua mortalidade no ano de 2022, após a sua queda no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica - RJ. Assim, foi aproveitado para realização de pesquisas científicas na universidade.

Foi feito o desdobro da madeira em serra de fita horizontal e confeccionados pranchas diametraais, armazenadas em ambiente coberto.

Para os ensaios de usinagem foram preparadas 12 amostras de 12 cm x 30 cm x 3 cm e 12 amostras de 2 cm x 3 cm x 5 cm para os ensaios de propriedades físicas, de acordo a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), a partir de 3 tábuas processadas (Figura 1).

Todo o processo foi realizado no Laboratório de Processamento de Madeira (LPM), no Instituto de Florestais - IF da UFRRJ.



**Figura 2.** Tábuas de madeira utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova.  
Fonte: Arquivo pessoal.



**Figura 3.** Amostras para propriedades físicas e para usinagem.  
Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2. Propriedades Físicas

Para realizar a avaliação das propriedades físicas da madeira, foram utilizados os cálculos de densidade básica, densidade aparente, estabilidade dimensional e determinados os coeficientes de anisotropia dos 12 corpos-de-prova de 2 cm x 3 cm x 5 cm.

Os mesmos foram pesados e medidos em umidade ambiente, com o auxílio de uma balança e um paquímetro digitais, obtendo os dados na condição úmida.

#### 3.2.1. Determinação da Densidade Básica

Para a determinação da densidade básica, os corpos-de-prova foram submetidos a dois ciclos de vácuo de 20 minutos. Em seguida, ficaram submersos em água sob pressão constante de 2,5 kgf/cm<sup>2</sup> sendo pesados diariamente até obter peso constante (saturação).

Posterior a saturação, foram pesados e medidos novamente obtendo os dados com as amostras saturadas. Logo a seguir, os mesmos foram levados à estufa para obtenção dos dados da massa seca, com temperatura de 103±2°C por 24 horas.

A densidade básica foi calculada conforme a Equação 1:

$$\rho_{bas} = \frac{m_{seca}}{v_{sat}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{bas}$  = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);

$m_{seca}$  = massa seca do corpo de prova (g);

$v_{sat}$  = volume do corpo de prova saturado (cm<sup>3</sup>).

#### 3.2.2. Determinação da Densidade aparente

A fim de determinar a densidade aparente, foram registradas as dimensões e os pesos dos corpos-de-prova em umidade de equilíbrio (12%). As amostras foram medidas nas direções tangencial, radial e longitudinal, conforme os anéis de crescimento, para calcular o volume, e em seguida pesados em uma balança digital.

A densidade aparente foi calculada conforme a Equação 2:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{UE}}{v_{UE}} \left( \frac{g}{cm^3} \right) \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

$m_{UE}$  = massa do corpo de prova em umidade de equilíbrio (g);

$v_{UE}$  = volume do corpo de prova em umidade de equilíbrio (cm<sup>3</sup>).

### 3.2.3. Retratibilidade

Para determinação da retratibilidade das amostras, foram utilizadas as Equações 3 e 4.

Retração (equação 3):

$$(L_{Sat} - L_{seca} / L_{sat}) * 100 \quad (3)$$

Inchamento (Equação 4):

$$(L_{Sat} - L_{seca} / L_{seca}) * 100 \quad (4)$$

Onde:

$L_{sat}$  = dimensão nas direções radial, tangencial ou longitudinal na condição saturada;

$L_{seca}$  = dimensão nas direções radial, tangencial ou longitudinal na condição seca.

### 3.2.4. Coeficiente de Anisotropia

O cálculo para obtenção do coeficiente de anisotropia foi realizado através da Equação 5:

$$Tg/Rd = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_r}$$

5

Onde:

Tg/Rd = Coeficiente de anisotropia;

$\varepsilon_t$  = Deformação específica de retração tangencial;

$\varepsilon_r$  = Deformação específica de retração radial.

### 3.3. Testes de Usinagem

Para avaliar a qualidade e a adequação da madeira em relação aos processos de aplainamento, lixamento, furação, rasgo e aplicação de pregos, foram utilizados 12 corpos-de-prova no tamanho 12 cm x 30 cm x 3 cm.

Com base na Tabela 1, cada amostra recebeu uma nota de 1 a 5, de acordo com a presença e intensidade dos defeitos observados após os testes mencionados.

**Tabela 1:** Classificação dos defeitos de acordo com as notas atribuídas:

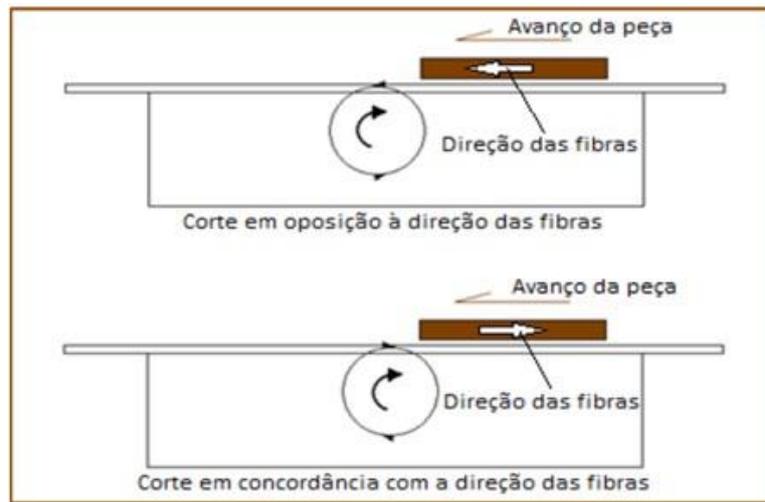
Nota	Classificação	Frequência dos Defeitos
1	Excelente	Sem defeitos
2	Bom	Defeito pouco significativo
3	Regular	Defeito em 50% da peça
4	Ruim	Defeito significativo
5	Muito Ruim	Defeitos em sua totalidade

Essas notas servem para indicar a qualidade das amostras de madeira após o processamento de usinagem. Com base nesse sistema de avaliação é possível classificar as amostras de acordo com a presença e a gravidade dos defeitos observados.

#### 3.3.1. Teste de Plaina

Foram executados dois procedimentos de aplainamento nas amostras de madeira, um seguindo o sentido das fibras ou formação da grã (concordância) e o outro em sentido oposto (discordância), considerando a direção longitudinal da peça. Durante ambos os procedimentos, o movimento do eixo e da faca foi idêntico, sendo a única diferença o sentido

da amostra utilizada. Cada método foi aplicado em metade da amostra, permitindo a comparação dos resultados obtidos.



**Figura 4.** Esquema dos cortes de desempenho em oposição e concordância.  
Fonte: CARVALHO, 2017.

### 3.3.2. Teste de Lixamento

Os testes de lixamento foram conduzidos utilizando uma lixadeira de esteira equipada com lixa de grão 100. Os corpos de prova passaram por um processo de lixamento de 20 segundos na face oposta àquela utilizada no teste de plaina. Assim, objetivou-se avaliar o riscamento e grã felpuda.



**Figura 5.** Lixadeira.  
Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.3. Teste de Furação para Cavilha e Dobradiça

Para os ensaios de furação ou perfuração, empregou-se uma furadeira vertical de coluna com um mecanismo de avanço manual. Foram executados dois tipos distintos de furação: uma destinada à colocação de cavilhas, que são pinos de madeira torneados, e outra para acomodar dobradiças.

No caso da furação para cavilhas, utilizou-se a furadeira equipada com brocas helicoidais de aço, com larguras de 6 mm, 8 mm e 12 mm. Por amostra, foram realizados seis furos passantes, sendo dois furos para cada uma das brocas utilizadas.

Quanto à furação para dobradiças, utilizou-se uma broca chata de 25 mm. Consequentemente, foram criados dois orifícios por amostra, sendo um deles passantes e o outro não passante.

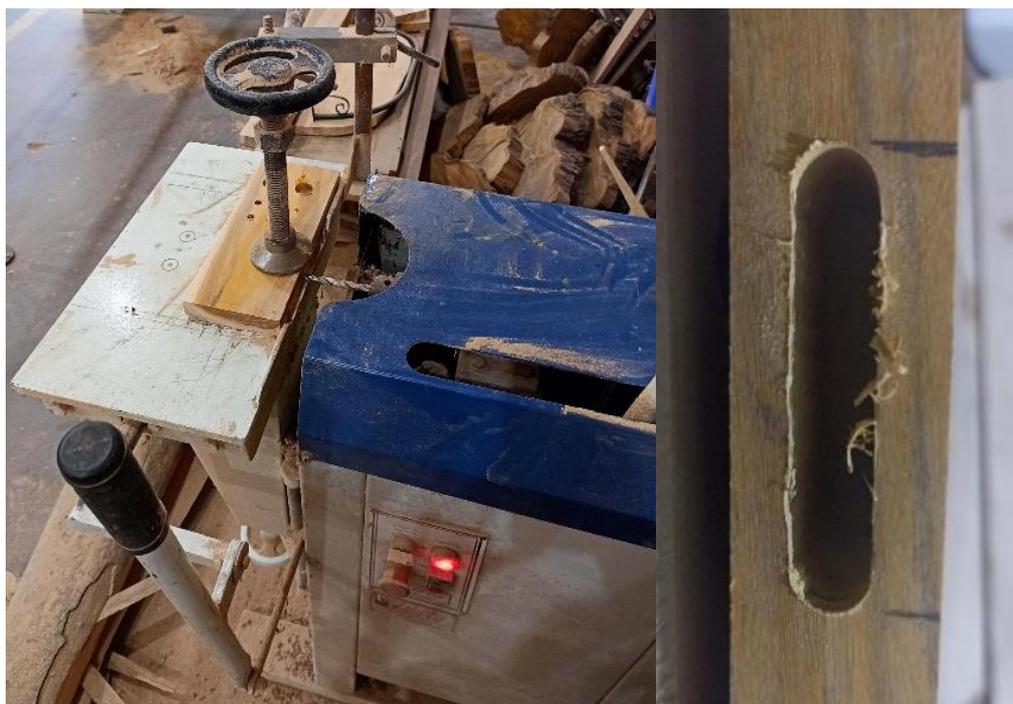


**Figura 6.** Furadeira vertical utilizada para realizar os furos de cavilha e dobradiça.

Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.4. Teste de Rasgo Lateral

O teste foi conduzido na parte lateral dos corpos de prova. Nessa região, foi realizado o ensaio utilizando uma furadeira horizontal equipada com uma broca helicoidal de 10 mm.



**Figura 7.** Furadeira horizontal e a superfície do rasgo.

Fonte: Arquivo pessoal.

### **3.3.5. Teste de Fendilhamento por Pregos**

As avaliações foram conduzidas com base na detecção de rachaduras ou trincas visíveis na superfície de penetração. A análise dos testes levou em consideração a qualidade de cada corpo de prova, abrangendo todos os testes realizados. No teste de fendilhamento, adotou-se a inserção de cinco pregos por corpo de prova.

De acordo com os critérios estabelecidos, as peças que não apresentaram rachaduras em nenhuma das cinco inserções foram consideradas sem defeito, com uma taxa de defeito de 0%. Para as peças que exibiram rachaduras em uma a quatro inserções, foi adicionado um valor proporcional com base no número de pregos afetados. Por fim, as peças que manifestaram rachaduras em todas as inserções foram classificadas com defeito de 100%.



**Figura 8.** Teste de fendilhamento realizado com pregos.

Fonte: Arquivo pessoal.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Propriedades Físicas

#### 4.1.1. Densidade

As amostras de pau-brasil apresentaram densidade básica média de 0,787 g/cm<sup>3</sup> e densidade aparente média, na umidade de equilíbrio, de 0,940 g/cm<sup>3</sup> conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Densidade básica ( $D_b$ ) e Densidade Aparente ( $D_{ap}$ ) das amostras da madeira de pau-Brasil:

Amostra	$D_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,751	0,903
2	0,745	0,898
3	0,758	0,904
4	0,745	0,898
5	0,821	0,993
6	0,817	0,990
7	0,812	0,981
8	0,818	0,994
9	0,810	0,943
10	0,799	0,931
11	0,771	0,923
12	0,799	0,927
<b>MÉDIA</b>	<b>0,787</b>	<b>0,940</b>
<b>DESV. PAD.</b>	<b>0,029</b>	<b>0,037</b>
<b>CV (%)</b>	<b>3,74</b>	<b>3,97</b>

CV = coeficiente de variação; DESV. PAD. = Desvio Padrão.

Segundo o IBAMA (2011) a densidade básica é considerada baixa, ao apresentar valores abaixo de 0,500 g/cm<sup>3</sup>; média, com valores entre 0,500 e 0,720 g/cm<sup>3</sup> e alta, com valores acima de 0,720 g/cm<sup>3</sup>. Considerando esta classificação, na presente pesquisa, a madeira de pau-brasil pode ser considerada de densidade alta.

Esse resultado foi semelhante aos valores apresentados por Marques (2012), em seu trabalho sobre a madeira do pau brasil em diferentes idades, sendo a de 25 anos o valor mais aproximado com 0,760 g/cm<sup>3</sup>. Além deste, no estudo feito por Silva (2019), no qual avaliou-se as propriedades físicas do pau brasil diferenciando o cerne e alburno, os resultados também foram semelhantes, obtendo densidade básica de 0,740 g/cm<sup>3</sup> na porção cerne. Assim como na densidade básica, na densidade aparente, a média que mais se aproximou foi a porção cerne (0,820 g/cm<sup>3</sup>).

Em ambos os ensaios, os valores de desvio padrão e de coeficiente de variação foram baixos, indicando uma tendência próxima a média.

#### 4.1.2. Retratibilidade e Anisotropia

Os valores médios de retratibilidade e coeficiente de anisotropia estão apresentados na Tabela 3. Os valores médios das amostras obtidos de retração radial e tangencial e volumétrica foram respectivamente, 3,70%, 7,24% e 11,97%. Comparando-os com os resultados encontrados na literatura, foram considerados próximos aos valores observados por Marques (2012), de 4,68%, 8,46% e 14,19% para retração radial, tangencial e volumétrica, de madeira da mesma espécie.

**Tabela 3.** Valores médios das propriedades físicas: retratibilidade e coeficiente de anisotropia:

Amostra	Retração (%)		Inchamento (%)		$\Delta V$ (%)	Tg/Rd
	$\epsilon_{r, tg}$	$\epsilon_{r, rd}$	$\epsilon_{i, tg}$	$\epsilon_{i, rd}$		
1	7,83	3,61	8,50	3,75	12,24	2,17
2	7,38	3,46	7,96	3,59	12,02	2,13
3	6,29	3,60	6,71	3,73	10,58	1,75
4	8,14	3,87	8,86	4,02	13,76	2,10
5	8,29	4,78	9,04	5,02	14,54	1,74
6	8,83	4,50	9,68	4,71	14,80	1,96
7	7,84	3,88	8,51	4,04	12,93	2,02
8	8,37	4,46	9,14	4,66	14,41	1,88
9	4,53	3,27	4,74	3,38	8,32	1,38
10	6,17	3,07	6,58	3,17	9,92	2,01
11	7,22	3,00	7,79	3,09	10,94	2,41
12	5,99	2,88	6,37	2,96	9,23	2,08
<b>MEDIA</b>	<b>7,24</b>	<b>3,70</b>	<b>7,82</b>	<b>3,84</b>	<b>11,97</b>	<b>1,97</b>
<b>DESV. PAD.</b>	<b>1,257</b>	<b>0,622</b>	<b>1,447</b>	<b>0,672</b>	<b>2,190</b>	<b>0,260</b>
<b>CV (%)</b>	<b>17,36</b>	<b>16,82</b>	<b>18,50</b>	<b>17,49</b>	<b>18,29</b>	<b>13,23</b>

CV = Coeficiente de variação; DESVIO P. = Desvio Padrão;  $\Delta V$  = variação volumétrica; Tg/Rd = Coeficiente de anisotropia;  $\epsilon_{r, tg}$  = índice de retração tangencial;  $\epsilon_{r, rd}$  = índice de retração radial;  $\epsilon_{i, tg}$  = índice de inchamento tangencial;  $\epsilon_{i, rd}$  = índice de inchamento radial.

No que diz respeito ao coeficiente de anisotropia, a madeira analisada neste estudo apresentou um valor médio de 1,97, classificando-a como uma madeira de qualidade normal, de acordo com a literatura. Valores entre 1,00 e 1,50 são considerados excelentes, indicando madeiras procuradas para usos que exigem menor propensão a empenamentos e torções. Já valores entre 1,60 e 1,90 são classificados como normais, enquanto valores acima de 2,00 são considerados de baixa qualidade e inadequados para várias aplicações, embora algumas ainda possam ter interesse comercial devido a outras propriedades desejáveis (SILVA, 2001; MORESCHI, 2009). Segundo Oliveira e Silva (2003), quanto mais próximo de 1,00 for o valor do fator anisotrópico, melhor será a trabalhabilidade da madeira.

Madeiras com coeficientes de anisotropia próximos ou superiores a 2,00 são conhecidas por apresentarem maior propensão a defeitos e por serem mais desafiadoras de serem secadas, o que está em linha com os resultados encontrados no presente estudo, que demonstraram uma maior propensão a defeitos. Segundo um estudo conduzido por Balloni (2009), a madeira com coeficiente de anisotropia de 1,33 foi classificada como de boa qualidade para usos que permitem pequenas variações dimensionais, como chapas de compensado, molduras e móveis. De acordo com Nock et al. (1975), citado por Balloni (2009), as madeiras com coeficiente de anisotropia entre 1,20 e 1,50 são consideradas excelentes para uso em móveis finos, esquadrias, barcos, instrumentos musicais, equipamentos esportivos, entre outros. Já as madeiras com coeficiente de anisotropia entre 1,50 e 2,00 são classificadas como normais para uso em estantes, pisos, armários, permitindo pequenos empenamentos.

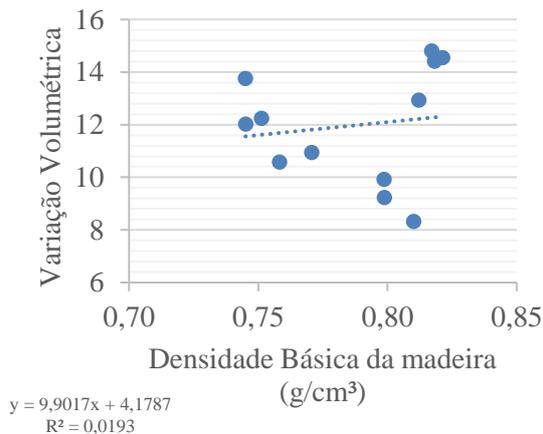
Por outro lado, madeiras com coeficiente de anisotropia acima de 2,00 são consideradas inadequadas para a indústria moveleira, mas podem ser utilizadas na construção civil (considerando as características mecânicas), produção de carvão e lenha.

Durante o processo de secagem da madeira abaixo do ponto de saturação das fibras, ocorre a perda de água de adesão e a contração do material, sendo esse processo reversível.

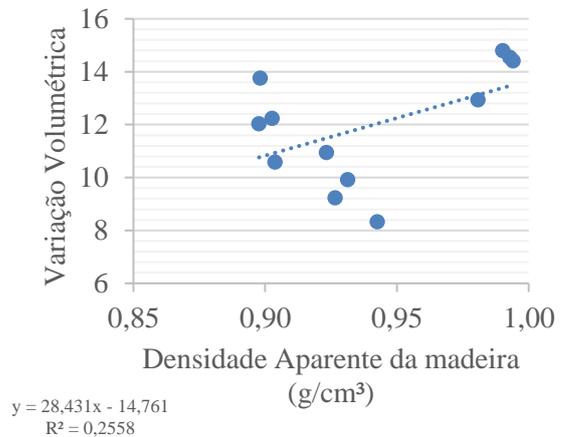
Conforme mencionado por Boywer (2013), a magnitude da retração está diretamente relacionada à quantidade de água removida das paredes celulares. Geralmente, a contração tangencial é maior do que a contração radial.

#### **4.1.3. Correlação entre as propriedades físicas do pau-brasil**

Foram correlacionados os valores de densidade básica e aparente em função da estabilidade dimensional das amostras.



**Figura 9.** Correlação entre densidade básica e a variação volumétrica das amostras do pau-brasil.



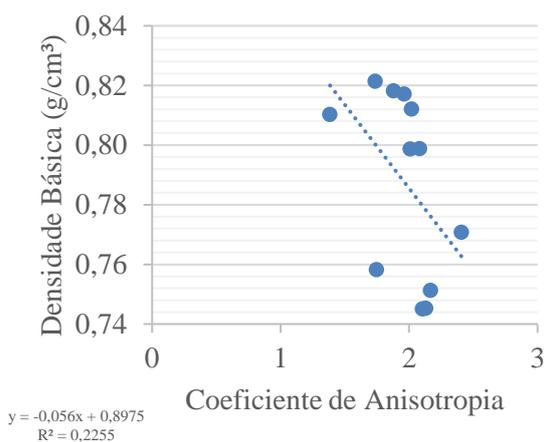
**Figura 10.** Correlação entre densidade aparente e variação volumétrica das amostras do pau-brasil.

Os valores foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, obtendo índice de correlação de 0,14 (Figura 9) e 0,51 (Figura 10).

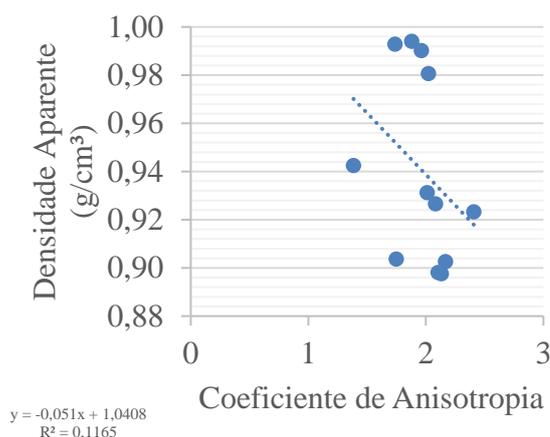
De acordo com Pearson, o coeficiente de correlação mede o grau de associação linear entre duas variáveis. Ele varia de -1 a 1, onde -1 indica uma correlação perfeitamente negativa (quando uma variável aumenta, a outra diminui), 1 indica uma correlação perfeitamente positiva (quando uma variável aumenta, a outra também aumenta) e 0 indica ausência de correlação linear.

Assim, pode-se afirmar que na Figura 9, há uma correlação mais próxima do 0, indicando baixa correlação entre as variáveis. Já na Figura 10, percebe-se uma correlação maior, um pouco mais próxima do 1, indicando que a medida que a densidade aparente aumenta, a variação volumétrica, também aumenta (correlação positiva).

Também, foi realizado o teste de correlação sobre os valores do coeficiente de anisotropia e as densidades (básica e aparente).



**Figura 11.** Correlação entre coeficiente de anisotropia e densidade básica das amostras do pau-brasil.



**Figura 12.** Correlação entre coeficiente de anisotropia e densidade aparente das amostras do pau-brasil.

Os resultados do teste de Pearson para a correlação entre anisotropia e densidade básica (Figura 11); anisotropia e densidade aparente (Figura 12), foi de -0,47 e -,034, respectivamente.

Nos dois casos, a correlação foi negativa baixa, indicando que quando uma variável aumenta, a outra diminui. Assim, fazendo uma comparação entre os dois testes, a densidade básica poderá influenciar mais na anisotropia da madeira do que a densidade aparente.

Contudo, nos testes feitos neste trabalho, a correlação em nenhum dos casos, pode ser considerada alta.

## 4.2. Usinagem da madeira

Abaixo, serão fornecidas as avaliações levando em consideração as falhas encontradas em cada tipo de teste e as pontuações atribuídas com base nas falhas observadas nas peças.

### 4.2.1. Aplainamento

Na tabela 2 são apresentadas as porcentagens conforme avaliação dos efeitos do nivelamento na madeira, no sentido concordante e no sentido discordante as fibras.

**Tabela 4.** Avaliação do teste de aplainamento:

<b>Aplainamento</b>				
<b>Notas</b>	<b>Grã Felpuda</b>		<b>Grã arrancada</b>	
	<b>Concordante</b>	<b>Discordante</b>	<b>Concordante</b>	<b>Discordante</b>
<b>1</b>	<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>17%</b>	<b>8%</b>
<b>2</b>	<b>25%</b>	<b>42%</b>	<b>42%</b>	<b>17%</b>
<b>3</b>	<b>0%</b>	<b>8%</b>	<b>33%</b>	<b>33%</b>
<b>4</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>8%</b>	<b>33%</b>
<b>5</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>8%</b>

Onde: Nota 1 (excelente) – peça sem defeitos; Nota 2 (bom) – defeito pouco significativo; Nota 3 (regular) – defeitos na metade da peça; Nota 4 (ruim) – defeito significativo; Nota 5 (muito ruim) – defeitos na totalidade da peça.

Nos resultados da grã felpuda podemos observar resultados positivos tanto no sentido concordante quanto no discordante, tendo avaliação Excelente e Bom.

Na grã arrancada, os resultados foram mais diversificados. Porém, em média, no sentido concordante, a avaliação foi entre Bom e Regular. Já no sentido discordante, tiveram defeitos na metade da peça (Regular) e defeitos significativos (Ruim). Resumidamente, as melhores notas foram no sentido concordante das fibras.

#### 4.2.2. Lixamento

Na Tabela 5 são apresentados os resultados do comportamento da madeira ao ser submetida ao lixamento.

**Tabela 5.** Avaliação do teste de lixamento:

<b>Lixamento</b>		
<b>Notas</b>	<b>Riscamento</b>	<b>Grã Felpuda</b>
1	33%	92%
2	42%	8%
3	25%	0%
4	0%	0%
5	0%	0%

Onde: Nota 1 (excelente) – peça sem defeitos; Nota 2 (bom) – defeito pouco significativo; Nota 3 (regular) – defeitos na metade da peça; Nota 4 (ruim) – defeito significativo; Nota 5 (muito ruim) – defeitos na totalidade da peça.

No teste de grã Felpuda, quase 100% das amostras, apresentaram resultados Excelente. No teste de Riscamento, os resultados também foram positivos, com a maior parte das amostras obtendo conceito Excelente e Bom. Esses resultados demonstram que a espécie possui compatibilidade com esse equipamento, pois a madeira se comporta de maneira eficaz durante o processo de lixamento, garantindo um desempenho satisfatório.

### 4.2.3. Furação para cavilha e para dobradiça

Abaixo, são demonstrados os resultados obtidos nos testes de furação para cavilha (Tabela 4) e nos testes de furação para dobradiça (tabela 6).

**Tabela 6.** Avaliação do teste de furação para cavilha:

<b>Furação – Cavilha</b>						
<b>Notas</b>	<b>6 mm</b>		<b>8mm</b>		<b>10mm</b>	
	<b>Grã Arrancada</b>	<b>Grã arrepiada</b>	<b>Grã Arrancada</b>	<b>Grã arrepiada</b>	<b>Grã Arrancada</b>	<b>Grã arrepiada</b>
1	92%	0%	92%	0%	83%	8%
2	8%	8%	8%	8%	17%	33%
3	0%	17%	0%	58%	0%	42%
4	0%	25%	0%	33%	0%	17%
5	0%	50%	0%	0%	0%	0%

Onde: Nota 1 (excelente) – peça sem defeitos; Nota 2 (bom) – defeito pouco significativo; Nota 3 (regular) – defeitos na metade da peça; Nota 4 (ruim) – defeito significativo; Nota 5 (muito ruim) – defeitos na totalidade da peça.

**Tabela 7.** Avaliação do teste de furação para dobradiça:

<b>Furação - Dobradiça</b>				
<b>Notas</b>	<b>Furo Passante</b>		<b>Furo Não Passante</b>	
	<b>Grã Arrancada</b>	<b>Grã arrepiada</b>	<b>Grã Arrancada</b>	<b>Grã arrepiada</b>
1	83%	0%	100%	0%
2	17%	42%	0%	25%
3	0%	42%	0%	50%
4	0%	17%	0%	25%
5	0%	0%	0%	0%

Onde: Nota 1 (excelente) – peça sem defeitos; Nota 2 (bom) – defeito pouco significativo; Nota 3 (regular) – defeitos na metade da peça; Nota 4 (ruim) – defeito significativo; Nota 5 (muito ruim) – defeitos na totalidade da peça.

De fato, em ambos os testes as amostras avaliaram-se bons resultados na grã arrancada, obtendo notas 1 e 2. Porém, quando observamos no âmbito grã arrepiada, as notas foram mais diversificadas entre 1 a 5.

No teste de furação para cavilha (Tabela 6), na furação de 6mm, a maior parte das amostras tiveram resultados nível 5, demonstrando pouca resistência a esse diâmetro. Contudo, quando olhamos para os furos de 8mm e 10mm, os resultados são melhores, em relação ao anterior, com a maior parte das peças avaliadas no conceito Regular.

No teste de furação para dobradiça (Tabela 7), podemos observar que, em ambos os furos, a maior parte das peças obtiveram conceito Regular.

#### 4.2.4. Encaixa de Espiga (Rasgo Lateral)

A pontuação das amostras no teste de rasgo lateral foi avaliada com base nos defeitos apresentados, conforme indicado na Tabela 8.

**Tabela 8.** Avaliação do Teste de Rasgo Lateral na madeira de pau-brasil:

<b>Encaixe de Espiga</b>		
<b>Notas</b>	<b>Grã arranca</b>	<b>Grã arrepiada</b>
1	100%	0%
2	0%	67%
3	0%	33%
4	0%	0%
5	0%	0%

Onde: Nota 1 (excelente) – peça sem defeitos; Nota 2 (bom) – defeito pouco significativo; Nota 3 (regular) – defeitos na metade da peça; Nota 4 (ruim) – defeito significativo; Nota 5 (muito ruim) – defeitos na totalidade da peça.

As 12 amostras analisadas não apresentaram defeitos de grã arrancada, resultando em uma média de pontuação Excelente. No âmbito de grã arrepiada, as amostras, em sua maioria, demonstraram um desempenho Bom. Isso indica, de forma conceitual, que a madeira de Pau-Brasil possui um bom desempenho no processo de rasgo lateral.

#### 4.2.5. Fendilhamento por pregos

No teste de resistência ao fendilhamento causado por pregos, as amostras são classificadas conforme a porcentagem de rachaduras. Os resultados obtidos para os 12 corpos-de-prova estão registrados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Avaliação de teste de fendilhamento por pregos:

<b>Fendilhamento por Pregos</b>	
<b>Avaliação</b>	<b>Quantidade de amostras</b>
0% de Rachas	0
Menos de 50%	1
Mais de 50%	10
100% de Rachas	1

Os resultados do teste de fendilhamento por pregos revelaram uma baixa aceitação, pois em 100% das amostras apresentaram rachas. Além disto, de 12 amostras, 11 apresentaram

rachaduras em mais de 50% das inserções, indicando que o material não tolera o uso dos pregos utilizados nos testes.

## **5. CONCLUSÕES**

O estudo das propriedades físicas e do desempenho da madeira do pau-brasil em testes de usinagem proporcionou uma visão abrangente sobre essa valiosa espécie. Os resultados indicaram que a madeira do pau-brasil possui uma densidade alta, retratibilidade moderada e coeficiente de anisotropia dentro da faixa considerada normal. Essas características são promissoras para seu uso em diversas aplicações industriais.

Nos testes de usinagem, observou-se um bom desempenho da madeira do pau-brasil no aplainamento e lixamento, evidenciando sua capacidade de ser processada de forma eficiente e com resultados de qualidade. No entanto, alguns desafios foram identificados no processo de furação e fendilhamento por pregos, exigindo precauções adicionais durante o manuseio. O teste de encaixe de espiga demonstrou um bom desempenho da madeira nesse tipo de aplicação.

Além de fornecer informações relevantes para a indústria madeireira, esse estudo contribui para o uso sustentável do pau-brasil, uma espécie nativa do Brasil que requer cuidados de conservação devido à sua importância histórica, cultural e ecológica. Ao entender suas propriedades e usinabilidade, é possível otimizar seu aproveitamento, promovendo uma exploração consciente e preservando seu valor para as gerações futuras.

## 6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. S. et al. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 819-834, 2005.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. *Floresta*, v. 37, n. 3, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de Estruturas de Madeira. NBR-7190:1997. Rio de Janeiro: ABNT, 107p. 1997.

BALLONI, C. J. V. Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii*. Trabalho de conclusão de curso de engenharia industrial madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva. UNESP, Itapeva, 2009.

BONDUELLE, A. Usinagem, material de corte e desgaste do gume. *Revista da Madeira*, Curitiba, v. 1, n. 64, p. 80-86, 2002.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. *Revista da Madeira*, v.11, n.61, p.82-86, 2001.

BRAND, M. A. Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem. 2007. 23 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 2007.

CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; REIS, C. A.; SILVA, C. E. S.; CARVALHO, P. C. L.; MACIEL, N. S. R.; PACE, J. H. C.; CASTRO, J. P.; SANTOS, G. C. V.; SOUZA, J.; SIQUEIRA, G. S.; FERREIRA, M. E. S.; SAKAI, E. S. Avaliações de qualidade da madeira em espécies nativas de plantios florestais. In: Samir G. Rolim; Daniel Piotto. (Org.). *Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica*. 01 ed. v 01. Belo Horizonte: Editora Rona, 2018. 135-137p.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). *Cerne*, v. 16, 106-114p, 2010.

CUNHA, M.W. & Lima, H.C. 1992. Viagem à terra do pau-brasil. Agência Brasileira de Cultura, Rio de Janeiro.

CUZZUOL, G. R. F. Relações do N, P e K com a fluorescência da clorofila, teores de nutrientes foliares e carboidratos solúveis do caule de *Caesalpinia echinata* Lam. 151-158, 4 tab. 1 fig., 2016.

DURLO, M.A; MARCHIORI, J.N.C. Tecnologia da madeira: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p.

FORMIGA, H. M. S. Desafios do Agronegócio Brasileiro no Século XXI. Boletim legislativo, Núcleo de Estudo e Pesquisa da Consultoria Legislativa, 2019.

GONÇALVES, F. G. et al. Densidade e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v.33, n.2, p.277-288, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Identificação macroscópica de madeiras: Chave de identificação de madeiras comerciais. Educação Continuada IPT. 28 p. Set. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. Boletim Técnico. Associação Brasileira de Preservadores de Madeira: São Paulo. n. 36, 189p, 1985.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2007, v. 1, p. 271-366.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. More. 2000. 291f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. Principles of wood science and technology. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v1. 592p

LAMARCA E.V., LEDUC S.N.M. & BARBEDO C.J. (2009) Viabilidade e vigor de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil – Leguminosae) pelo teste de tetrazólio. Revista Brasileira de Botânica, 32:793-803.

LATORRACA, J.V.; ALBUQUERQUE, C.E.C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

LOBÃO, M.S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Revista Árvore, Viçosa, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivos de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2 ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998. p.145.

MARQUES, S. S. et al. Estudo Comparativo da Massa Específica Aparente e Retratibilidade da Madeira de Pau-Brasil (*Caesalpinia Echinata* Lam.) Nativa e de Reflorestamento. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.36, n.2, p.373-380, 2012.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, n.1, p. 121-126, 2011.

OLIVEIRA, J. T. S. Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill.). 1988. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora. p. 129 – 163, 2017.

OLIVEIRA, J.T.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.381-385. 2003.

OLIVEIRA, J.T.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.381-385. 2003.

PALERMO, P. M. P. et al. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden tratada termicamente. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 145-152. 2015.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. A retratibilidade da madeira. *Revista da madeira*. ed. 59. 2001.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. A retratibilidade da madeira. *Revista da madeira*. ed. 59. 2001.

ROCHA, Y.T. & Barbedo, A.S.C. 2008. Pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae) na arborização urbana de São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Recife (PE). *Revista SBAU* 3:58-77.

SHIMOYAMA, V. R. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp. 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. R. M. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Árvore*, v.29, n.3, p.479-487, 2005.

SILVA, J. R. M. Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. maiden. 2002. 204f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, R. C. C. **Propriedades Tecnológicas Da Madeira De Cerne E Alburno De Pau-Brasil (*Paubrasilia echinata* (Lam.) E. Gagnon, H. C. Lima & G. P. Lewis)**. 2019. 35 f. Dissertação (Monografia em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SUÇUARANA, M. D. S. Pau brasil. Infoescola, 2020. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/plantas/pau-brasil/>>. Acesso em: 13 de julho de 2023.

SZÜCS, C. A. et al. Estruturas de madeira. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006. 186p.

\* \* \*