



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

WATTSON QUINELATO BARRETO DE ARAUJO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.)
Müll. Arg IMPLANTADAS EM CONSÓRCIOS COM CACAU NO
ESTADO DA BAHIA**

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2025



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

WATTSON QUINELATO BARRETO DE ARAUJO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.)
Müll. Arg IMPLANTADAS EM CONSÓRCIOS COM CACAU
NO ESTADO DA BAHIA**

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
JUNHO – 2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS



HOMOLOGAÇÃO Nº 19 / 2025 - DeptPF (12.28.01.00.00.00.00.30)

Nº do Protocolo: 23083.037245/2025-81

Seropédica-RJ, 11 de julho de 2025.

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.)
Müll. Arg**

IMPLANTADAS EM CONSÓRCIOS COM CACAU NO ESTADO DA BAHIA

WATTSON QUINELATO BARRETO DE ARAUJO

APROVADA EM: 03/07/2025

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO - UFRRJ

Orientador

MSc. CLARICE VERÍSSIMO DA SILVA ROCHA - UFRRJ

Membro

MSc. CARLOS FERNANDO FERREIRA DA SILVA - UFRRJ

Membro

(Assinado digitalmente em 11/07/2025 08:46)
ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptPF (12.28.01.00.00.00.00.30)
Matrícula: 1486653

(Assinado digitalmente em 11/07/2025 11:41)
CLARICE VERÍSSIMO DA SILVA ROCHA
DISCENTE
Matrícula: 20211003358

(Assinado digitalmente em 11/07/2025 09:10)
CARLOS FERNANDO FERREIRA DA SILVA
DISCENTE
Matrícula: 20231007031

Dedico este trabalho aos meus familiares,
pelo apoio incondicional;
Aos meus professores e orientadores, pela
sabedoria compartilhada;
Aos amigos e colegas, pelas trocas de
experiências e vivências.
E à natureza, que inspira meu caminho na
Engenharia Florestal.

AGRADECIMENTOS

Realizar este trabalho foi uma jornada desafiadora e enriquecedora, e só foi possível graças ao apoio de diversas pessoas que estiveram ao meu lado durante toda essa trajetória. Por isso, expresso minha profunda gratidão:

À minha família, especialmente meus pais Sirlene Quinelato e Arivaldo Barreto de Araujo e irmão Wallas Quinelato Barreto de Araujo, pelo amor incondicional, pela paciência nos momentos de estresse e pelo incentivo constante para que eu nunca desistisse. Vocês são meu alicerce, e cada conquista minha é também de vocês.

Aos meu orientador, Alexandre Monteiro de Carvalho, cuja sabedoria, dedicação e paciência foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Suas críticas construtivas e orientações precisas não só enriqueceram minha pesquisa, mas também moldaram meu crescimento como profissional e acadêmico.

Aos professores do curso de Engenharia Florestal, que compartilharam conhecimentos técnicos e inspiraram minha paixão pela conservação e manejo sustentável dos recursos naturais. Cada aula, conversa e conselho contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho. Aos colegas de turma e amigos, em especial a Luana, Ygor, Macário, Pedro, Patrick e moradores do alojamento M4 cobertura acima de nós só Deus, que tornaram os anos de estudo mais leves e significativos. Pelos momentos de descontração, pelas discussões acadêmicas e pelo apoio mútuo nos períodos mais intensos – vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Wellington mary pela grande quantidade de ensinamentos práticos e por não só enxergar meu potencial como também acreditar e ajudar a desenvolve-los. Graças a isso abri meu próprio negócio durante a graduação e aprendi a confiar mais em minhas habilidades.

Aos técnicos e funcionários do INSTITUTO DE FLORESTAS, que, muitas vezes nos bastidores, garantiam que tudo funcionasse bem, seja nos laboratórios, na biblioteca ou na secretaria. Seu trabalho é indispensável para o sucesso dos alunos.

Aos profissionais e instituições que contribuíram com dados, acesso a áreas de pesquisa, possibilitando a coleta de informações valiosas para este estudo.

E, por fim, à natureza, minha maior inspiração. Que este trabalho possa, de alguma forma, retribuir um pouco do muito que as florestas nos oferecem, reforçando a importância da ciência e da engenharia para a preservação e o uso sustentável desses ecossistemas.

A todos, meu sincero e eterno obrigado.

BIOGRAFIA

Wattson Quinelato Barreto de Araujo – Trajetória acadêmica e Pesquisa

Desde os primeiros passos na carreira científica, demonstrou uma vocação multidisciplinar para as ciências florestais. Iniciou sua formação técnica no IF Baiano, onde desenvolveu habilidades práticas em manejo florestal e silvicultura, participando ativamente de atividades de campo que incluíam inventários florestais, produção de mudas e recuperação de áreas degradadas. Essa base sólida despertou seu interesse pela pesquisa aplicada e o levou à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), onde consolidou uma trajetória acadêmica diversificada e produtiva.

No início da graduação, ingressou no mundo da pesquisa científica através de um projeto de Iniciação Científica (PIBIC) em Fitopatologia Florestal, investigando doenças em espécies arbóreas, com ênfase na identificação de patógenos e métodos de controle sustentável. Essa experiência permitiu o domínio de técnicas laboratoriais e de campo, além de uma compreensão aprofundada das interações entre plantas e microrganismos.

Posteriormente, no projeto PROVERDE, dedicou-se à Ecologia e Taxonomia de Fungos, estudando a diversidade fúngica em ecossistemas florestais e sua relação com a ciclagem de nutrientes e a saúde do solo. Sua atuação incluiu coletas em fragmentos de Mata Atlântica e análises em laboratório, contribuindo para o entendimento da biodiversidade em ambientes tropicais.

Expandido ainda mais seu campo de atuação, integrou uma pesquisa sobre Ambientação e Cultivo Protegido (PEDAI), onde trabalhou com sistemas de produção de mudas em condições controladas, avaliando parâmetros microclimáticos como luminosidade, temperatura e umidade. Essa experiência reforçou sua visão integrada entre produção florestal e tecnologia aplicada.

Em seguida, mergulhou no mundo da programação e análise de dados, participando de um projeto PIBIT voltado ao desenvolvimento de banco de dados de solos. Utilizando linguagens como Python e ferramentas de geoprocessamento, contribuiu para a organização e análise de dados pedológicos, agregando competências em ciência de dados à sua formação florestal.

Atualmente, finaliza sua graduação no Núcleo de Pesquisas em Qualidade de Arvores e Madeira NPQAM da UFRRJ, dedicando-se ao estudo da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*). A pesquisa avalia as propriedades tecnológicas da madeira, como densidade, resistência mecânica e características anatômicas, visando aplicações sustentáveis na indústria moveleira e na construção civil. Além disso, investiga a viabilidade econômica e ambiental desse material, alinhando-se às demandas por produtos florestais inovadores e de baixo impacto.

Com uma formação que abrange ecologia, patologia, tecnologia da madeira e análise de dados, sua trajetória reflete a versatilidade necessária para enfrentar os desafios contemporâneos da Engenharia Florestal. Seu próximo passo é promover o conhecimento adquirido, consolidando-se como um(a) profissional capaz de unir conhecimento técnico, pesquisa aplicada e inovação em prol da sustentabilidade florestal.

RESUMO

Este trabalho científico teve como objetivo principal avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) proveniente de sistemas consorciados com cacau no estado da Bahia, analisando comparativamente dois clones distintos (1 e 2). A pesquisa buscou compreender como as condições específicas de cultivo em consórcio agroflorestal influenciam as características tecnológicas da madeira, oferecendo subsídios para seu aproveitamento comercial sustentável. Foram realizados ensaios laboratoriais seguindo normas técnicas brasileiras (ABNT NBR 7190) para determinar parâmetros fundamentais como densidade aparente, densidade básica, variação volumétrica, coeficiente de anisotropia, além das resistências à flexão, compressão paralela e cisalhamento. Os resultados obtidos revelaram que a madeira de seringueira dos dois clones estudados apresenta densidade básica média, com valores de 0,529 g/cm³ para o Clone 1 e 0,573 g/cm³ para o Clone 2, posicionando-se na categoria de madeiras de média densidade. A análise do coeficiente de anisotropia, com médias de 1,62 e 1,79 respectivamente, demonstrou um comportamento relativamente homogêneo nas diferentes direções das fibras, característica vantajosa para processos de usinagem e aplicações que demandam estabilidade dimensional. Quanto às propriedades mecânicas, os valores médios do módulo de ruptura (MOR) indicaram desempenho distinto entre os clones: 598,7 kgf/cm² (Clone 1) e 738,2 kgf/cm² (Clone 2) para flexão; 341,6 kgf/cm² (Clone 1) e 420,1 kgf/cm² (Clone 2) para compressão paralela; e 95,3 kgf/cm² (Clone 1) contra 111,2 kgf/cm² (Clone 2) no cisalhamento. A análise estatística realizada através do teste ANOVA confirmou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os dois clones em todas as propriedades mecânicas avaliadas, com o Clone 2 apresentando desempenho superior em todos os parâmetros. Quando comparados com espécies madeireiras tradicionais como eucalipto e pinus, os resultados sugerem que a madeira de seringueira possui características adequadas para aplicações específicas na indústria moveleira, na fabricação de painéis e em estruturas leves. O estudo reforça o potencial da seringueira como alternativa sustentável para o setor madeireiro, especialmente em sistemas de produção consorciados, contribuindo para a diversificação do setor florestal e para o uso mais racional dos recursos nacionais. Os dados obtidos fornecem informações valiosas para orientar a seleção de materiais genéticos e o direcionamento de aplicações industriais, destacando a importância de se considerar as variações entre clones nas estratégias de aproveitamento da madeira de seringueira.

Palavras-chave: *Hevea brasiliensis*, propriedades mecânicas, propriedades físicas, madeira de seringueira, anisotropia.

ABSTRACT

This scientific study aimed to evaluate the physical and mechanical properties of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) from agroforestry systems intercropped with cocoa in Bahia state, Brazil, through a comparative analysis of two distinct clones (1 and 2). The research sought to understand how specific cultivation conditions in agroforestry systems influence the technological characteristics of the wood, providing support for its sustainable commercial utilization. Laboratory tests were conducted following Brazilian technical standards (ABNT NBR 7190) to determine fundamental parameters including apparent density, basic density, volumetric shrinkage, anisotropy coefficient, as well as bending strength, parallel compression, and shear resistance. The results revealed that the rubberwood from both studied clones displayed medium basic density, with values of 0.529 g/cm³ for Clone 1 and 0.573 g/cm³ for Clone 2, classifying it as medium-density wood. The analysis of the anisotropy coefficient, with averages of 1.62 and 1.79 respectively, demonstrated relatively homogeneous behavior across different fiber directions, a advantageous characteristic for machining processes and applications requiring dimensional stability. Regarding mechanical properties, the mean modulus of rupture (MOR) values showed distinct performance between clones: 598.7 kgf/cm² (Clone 1) and 738.2 kgf/cm² (Clone 2) for bending; 341.6 kgf/cm² (Clone 1) and 420.1 kgf/cm² (Clone 2) for parallel compression; and 95.3 kgf/cm² (Clone 1) versus 111.2 kgf/cm² (Clone 2) for shear. Statistical analysis using ANOVA confirmed significant differences ($p < 0.05$) between the two clones for all evaluated mechanical properties, with Clone 2 showing superior performance in all parameters. When compared to traditional timber species such as eucalyptus and pine, the results suggest that rubberwood possesses suitable characteristics for specific applications in furniture manufacturing, panel production, and light structural uses. The study reinforces rubberwood's potential as a sustainable alternative for the timber sector, particularly in agroforestry production systems, contributing to the diversification of the forestry sector and more rational use of national resources. The obtained data provide valuable information to guide the selection of genetic materials and direct industrial applications, highlighting the importance of considering clonal variations in rubberwood utilization strategies.

Keywords: *Hevea brasiliensis*, mechanical properties, physical properties, rubberwood, anisotropy coefficient

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 A seringueira no brasil: histórico, potencial e desafios.....	2
2.2 Fenologia e desenvolvimento	2
2.3 Anatomia e produção de látex.....	2
2.4 Propriedades físicas da madeira	2
2.5 Propriedades mecânicas: bases para aplicações industriais.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	3
3.1. Trabalho de campo	3
3.2. Transporte, descarga e desdobro	6
3.3. Propriedades físicas	8
3.4. Propriedades mecânicas.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
4.1. Propriedades físicas	9
4.2. Propriedades mecânicas.....	12
5. CONCLUSÕES.....	16
6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de umidade, densidade aparente, densidade básica e variação volumétrica na contração para o clone 1.....	10
Tabela 2: Valores de umidade, densidade aparente, densidade básica e variação volumétrica na contração para o clone 2.....	10
Tabela 3: Coeficiente de anisotropia organizadas por clone.....	10
Tabela 4: Valores de Carga Máxima (CM) e Modulo de Ruptura (M.O.R) obtidos nos testes de Flexão, Compressão Paralela as Fibras e Cisalhamento no equipamento de ensaios universais.....	12
Tabela 5: Estatísticas descritivas para Flexão.....	13
Tabela 6: Estatísticas descritivas para Compressão paralela.....	13
Tabela 7: Estatísticas descritivas para Cisalhamento.....	14
Tabela 8: Comparação dos clones estudados com literaturas conhecidas na flexão.....	14
Tabela 9: Comparação dos clones estudados com literaturas conhecidas na Compressão paralela.....	14
Tabela 10: Comparação dos clones estudados com literaturas conhecidas no cisalhamento....	14
Tabela 11: comparação dos clones 1 e 2 com outras madeiras comerciais.....	15
Tabela 12: comparação dos clones 1 e 2 deste trabalho com outros estudos de seringueira.....	15
Tabela 13: análise de Variância (ANOVA) comparando as médias dos dados entre clone 1 e 2.....	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visita às áreas e árvores de seringueira na Fazenda Ondulada (Itararé/BA)	04
Figura 2: Seleção, marcação, dendrometria das árvores selecionadas.....	05
Figura 3: Abate das árvores selecionadas.....	05
Figura 4: Pulverização das toras com produto fungicida e impermeabilização dos topos.....	05
Figura 5: Baldeio das toras (transporte primário) das áreas de amostragem até o local de carregamento.....	06
Figura 6: Chegada do caminhão e descarga das toras na serraria do Departamento de Produtos.....	06
Figura 7: Operação de desdobramento primário em serra de fita vertical Vantec.....	07
Figura 8: Tratamento químico (banho) nas tábuas e pranchas visando imunização.....	07
Figura 9: Procedimentos para determinação das propriedades físicas das subamostras.....	08
Figura 10: Ensaios para determinação das propriedades mecânicas da madeira.....	09

1. INTRODUÇÃO

Após o declínio do mercado do látex de seringueiras (*Hevea brasiliensis*) para produção de borracha no Brasil e a ascensão do cultivo do cacau (*Theobroma cacao*), muitas áreas que antes eram destinadas ao extrativismo da borracha hoje abrigam sistemas de consórcio agroflorestal. Nesses sistemas, as seringueiras, que perderam parte de seu valor econômico como fonte de látex, permanecem como componentes estruturais, oferecendo sombreamento para o cacau e outros cultivos. No entanto, com o envelhecimento dessas árvores e a redução de sua produtividade em látex, surge uma oportunidade para o aproveitamento sustentável de sua madeira – uma prática já consolidada em países asiáticos, onde a *rubberwood* (madeira de seringueira) é amplamente utilizada na fabricação de móveis, pisos, compensados e outros produtos de alto valor agregado.

No Brasil, embora o potencial madeireiro da seringueira seja reconhecido, seu uso ainda é incipiente, especialmente em sistemas consorciados, como os implantados no estado da Bahia. A carência de estudos técnicos sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Hevea brasiliensis* em condições de consórcio com cacau limita a exploração comercial desse recurso. A avaliação dessas propriedades é essencial para determinar a qualidade da madeira, sua aptidão para diferentes aplicações e sua viabilidade econômica, contribuindo para a diversificação da renda de produtores rurais e para a otimização do uso dessas áreas.

Além disso, a crescente demanda por materiais sustentáveis no setor moveleiro e da construção civil – impulsionada por certificações ambientais e políticas de baixo carbono – reforça a necessidade de explorar alternativas madeireiras de origem não convencional. A seringueira, por ser uma espécie de rápido crescimento e plantada em sistemas consorciados, apresenta vantagens ambientais comparativas, como fixação de carbono durante seu ciclo produtivo e menor impacto ecossistêmico em relação a espécies de florestas nativas.

Destarte, a utilização da madeira de seringueira em substituição a outras espécies tradicionais pode reduzir a pressão sobre florestas nativas, alinhando-se aos princípios do manejo florestal sustentável. Estudos anteriores em monocultivos de seringueira já demonstraram que sua madeira possui características adequadas para uso industrial, mas ainda há lacunas sobre como o consórcio com cacau – e as condições edafoclimáticas específicas da Bahia – influenciam suas propriedades tecnológicas.

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas (densidade, retratilidade, umidade) e mecânicas (resistência à flexão, compressão e cisalhamento) da madeira de *Hevea brasiliensis* proveniente de consórcios com cacau no estado da Bahia, visando subsidiar seu aproveitamento comercial e incentivar práticas de manejo integrado que conciliem produção agrícola e uso racional de recursos florestais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A seringueira no brasil: histórico, potencial e desafios

A seringueira (*Hevea brasiliensis*), nativa da bacia amazônica, protagonizou um dos ciclos econômicos mais marcantes da história brasileira. Durante o auge do Ciclo da Borracha (1879-1912), a exploração do látex representou 40% das exportações nacionais, transformando cidades como Manaus e Belém em polos de desenvolvimento (Santos, 2020). No entanto, como aponta Weinstein (1983) a falta de investimento em pesquisa e domesticação da espécie permitiu que os ingleses, através da chamada 'Diplomacia da Borracha', levassem sementes para a Ásia em 1876, iniciando uma produção em escala que superou a brasileira em poucas décadas.

No século XX, políticas públicas como o PROBOR (1967-1989) tentaram reverter esse cenário, distribuindo milhões de mudas para pequenos produtores. Porém, segundo análise de Carvalho (2021, p. 78), a ausência de um programa contínuo de melhoramento genético e assistência técnica resultou em seringais com produtividade 30% abaixo do potencial fisiológico da espécie.

Atualmente, a seringueira ganha novo fôlego através de seu aproveitamento madeireiro pós-extrativo. Dados da ITTO (2023) revelam que, enquanto a Malásia processa 2,5 milhões de m³/ano de *rubberwood*, o Brasil – detentor de 300 mil hectares de seringais – aproveita menos de 5% desse potencial. Essa discrepância evidencia a necessidade de estudos que caracterizem tecnicamente a madeira para aplicações industriais, especialmente em sistemas consorciados como os implantados na Bahia.

2.2 Fenologia e desenvolvimento

A seringueira apresenta um ciclo de vida marcado por estágios bem definidos. Nos primeiros anos, ocorre um rápido crescimento vegetativo, com formação de folhas e estrutura lenhosa. A floração e frutificação geralmente iniciam-se após o terceiro ano, embora a produção de látex só se torne economicamente viável a partir do sexto ou sétimo ano (Gonçalves et al., 2006). A espécie é perenifólia, mas pode apresentar queda parcial de folhas em períodos de estresse hídrico, o que influencia diretamente a produção de látex (Rao et al., 1990).

2.3 Anatomia e produção de látex

A estrutura anatômica da seringueira é fundamental para sua função produtiva. Os vasos laticíferos, localizados no floema secundário, formam uma rede anastomosada responsável pela síntese e transporte do látex (Hagel et al., 2008). Quando a casca é sangrada (corte para extração), o látex flui devido à pressão de turgescência, coagulando-se rapidamente em contato com o ar (Yip & Cacioli, 2002). A eficiência dessa extração varia conforme o clone, a idade da árvore e as condições ambientais (Killmann & Hong, 2000).

2.4 Propriedades físicas da madeira

A avaliação das propriedades físicas é fundamental para determinar a qualidade tecnológica da madeira. Entre os parâmetros mais relevantes destacam-se:

A densidade aparente a 12% de umidade, que em madeiras comerciais varia tipicamente entre 0,35 g/cm³ (cedro) e 1,10 g/cm³ (ipê). Conforme a ABNT NBR 11941 (2023), esse valor reflete diretamente a resistência mecânica e trabalhabilidade do material.

Já a densidade básica, calculada pela razão entre massa seca e volume saturado, apresenta em espécies tropicais valores entre 0,40–0,75 g/cm³, sendo considerada ideal para usos estruturais quando superior a 0,55 g/cm³ (Lima et al., 2022).

A variação volumétrica (contração total da madeira do estado saturado até o ponto seco) é um indicador crítico para aplicações em ambientes variáveis. Madeiras com contração inferior a 10%, como o mogno africano (*Khaya spp.*), são preferidas para pisos e móveis, enquanto valores acima de 15% exigem tratamentos específicos (Cruz e Nunes, 2005).

O coeficiente de anisotropia em contração (relação entre contração tangencial e radial) revela a estabilidade dimensional. Segundo Moreschi (2012, p. 145), valores próximos a 1,5 indicam madeiras estáveis (ex.: teca), enquanto coeficientes acima de 2,0 – comuns em eucaliptos – demandam processos avançados de secagem para evitar defeitos.

2.5 Propriedades mecânicas: bases para aplicações industriais

As propriedades mecânicas determinam a capacidade da madeira de resistir a esforços externos. O **Módulo de Ruptura (MOR)** em compressão paralela às fibras varia conforme a espécie:

- Madeiras leves (pinus): 200–350 kgf/cm²; Madeiras médias (seringueira): 400–550 kgf/cm²;
- Madeiras pesadas (ipê): 800–1.200 kgf/cm².

Conforme a ABNT NBR 7190 (2023), valores inferiores a 350 kgf/cm² limitam o uso a estruturas não load-bearing, ou seja, que não suportão o peso estrutural acima dela.

Na flexão estática perpendicular às fibras, o MOR reflete a resistência a cargas dinâmicas. Estudos de Pereira (2021) com 42 espécies mostraram que:

Madeiras com MOR ≥ 600 kgf/cm² (ex.: jatobá) suportam aplicações em vigas e decks, enquanto valores entre 300–500 kgf/cm² (como a seringueira) são adequados para móveis e painéis.

O cisalhamento, por sua vez, é crucial para junções estruturais. A norma ASTM D143 (2021) estabelece que madeiras com resistência ao cisalhamento abaixo de 70 kgf/cm² exigem reforços mecânicos em construções.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Trabalho de campo

A metodologia do projeto teve início com a etapa do trabalho de campo, na Fazenda Ondulada da empresa Agrícola Cantagalo, onde as 24 árvores foram selecionadas, medidas, amostradas a partir do abate, seccionamento de duas toras de 2,5 metros de comprimento, que passaram por aplicação de produto fungicida, principalmente em suas secções transversais (topos), que também foram “seladas” ou revestidas com impermeabilizantes próprio para este fim.

A aplicação do produto fungicida, de nome comercial Osmotox (Montana Química) e do selante Humacer (Isogama Ind. Química) foi programada em função da preocupação e cuidado quanto a conhecida susceptibilidade da madeira de seringueira ao ataque de organismos biodeterioradores da madeira (xilófagos). Tais técnicas de preservação também foram adotadas ao longo do desdobro primário das toras e produção de tábuas, como será detalhado a diante.

De cada um dos dois clones amostrados, Clone 1 (FDR) e Clone 2 (3864), foram selecionadas 12 árvores, sendo 4 delas classificadas como “superiores”, 4 classificadas como

“médias” e 4 classificadas como “inferiores”, em função das classes diamétricas encontradas em medições prévias e aleatórias de cerca de 20 árvores de cada material genético ou clone a fim de garantir melhor aproveitamento dos dados.

As árvores desse projeto foram plantadas a mais de 50 anos em áreas de “cabruca”, sistema de manejo e produção de cacau que contém outras espécies manejadas em consórcio, em áreas por vezes accidentadas e bastante diferentes de áreas e espécies conduzidas para a produção de madeireira. Tal fato caracterizou o principal desafio da etapa inicial dos trabalhos, ou seja, derrubar as árvores, produzir as toras e retirá-las dos locais da forma menos danosa possível aos pés de cacau e aos terrenos como demonstrado nas imagens abaixo (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5).

Destaca-se que a amostragem foi conduzida em áreas próximas ao período de reforma dos plantios de cacau, que possuem planejamento de renovação nos próximos anos.



Figura 1: Visita às áreas e árvores potenciais de seringueira na Fazenda Ondulada. (Itararé/BA).
Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.



Figura 2: Seleção, marcação, dendrometria das árvores selecionadas. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ



Figura 3: Abate das árvores selecionadas. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.



Figura 4: Pulverização das toras com produto fungicida e impermeabilização dos topos. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.



Figura 5: Baldeio das toras (transporte primário) das áreas de amostragem até o local de carregamento. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ

3.2. Transporte, descarga e desdobro

A partir do término do trabalho de campo, foi realizado o transporte das toras até a serraria do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (DPF/IF/UFRRJ). A madeira foi transportada em caminhão truck da UFRRJ, acompanhada da documentação pertinente à realização de trabalho com finalidade técnico-científica e nota fiscal de doação da madeira pela empresa parceira.

Assim, após a chegada ao destino do processamento da madeira e realização das análises laboratoriais, a carga foi alocada na estrutura de alimentação da serra de fita vertical de desdobro primário, sendo planejado o rápido desdobramento de cada tora em tábuas e prancha central (Figuras 6 e 7).



Figura 6: Chegada do caminhão e descarga das toras na serraria do Departamento de Produtos. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.



Figura 7: Operação de desdobramento primário em serra de fita vertical Vantec. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.

Com relação a forma das toras, mostrou-se ser de grande importância a percepção visual em relação a parâmetros de classificação das primeiras porções do fuste das árvores afim de obter melhores fenótipos e conformação do tronco.

Tomando como base e referência a ampla experiência do Brasil na produção de madeira serrada de *Pinus spp*, principalmente por serrarias da região sul do país, foram feitas consultas sobre os procedimentos adotados para eliminação ou redução dos riscos de ataques por fungos manchadores nas tábuas e pranchas recém cortadas. Foi então programado e estruturada uma logística de banho por imersão de todas as peças produzidas, assim que saíssem do processamento primário (corte na serra de fita vertical) em solução do produto fungicida Osmotox (Montana Química), o mesmo que foi pulverizado nos topo das toras na etapa de campo (Figura 8).



Figura 8: Tratamento químico (banho) nas tábuas e pranchas visando imunização. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ

3.3. Propriedades físicas

A determinação das propriedades físicas envolve a medição e pesagem de corpos de prova com dimensões em cm de 5 x 3 x 2, nas condições verde, saturados em água e após secagem em estufa.

Para cada clone de *Hevea brasiliensis* foram produzidos 10 corpos de prova para estas análises. A relação entre massa e volume de uma amostra ou peça de madeira (densidade) é influenciada diretamente pela quantidade de água que ela apresenta, portanto, na determinação desta relação torna-se de extrema importância a consideração do fator umidade em seu cálculo. As variáveis “variação volumétrica” e “coeficiente de anisotropia” são indicadores do comportamento da madeira em relação ao ganho e perda de água que a madeira apresenta quando a umidade do ar se eleva e diminui (GONÇALVES e PIOTTO, 2018). Quanto mais elevado o coeficiente de anisotropia, maior a probabilidade de formação de fendas (rachaduras) e empenamentos na madeira (OLIVEIRA, 1988).

Nas imagens da Figura 9 foram ilustradas etapas de desenvolvimento dos ensaios de propriedades físicas da madeira, onde os corpos de prova foram medidos e pesados nas diferentes condições de umidade (verdes, saturados em água, secos em estufa), o que possibilitou a determinação das variáveis relacionadas a densidade, variação dimensional e anisotropia das espécies.

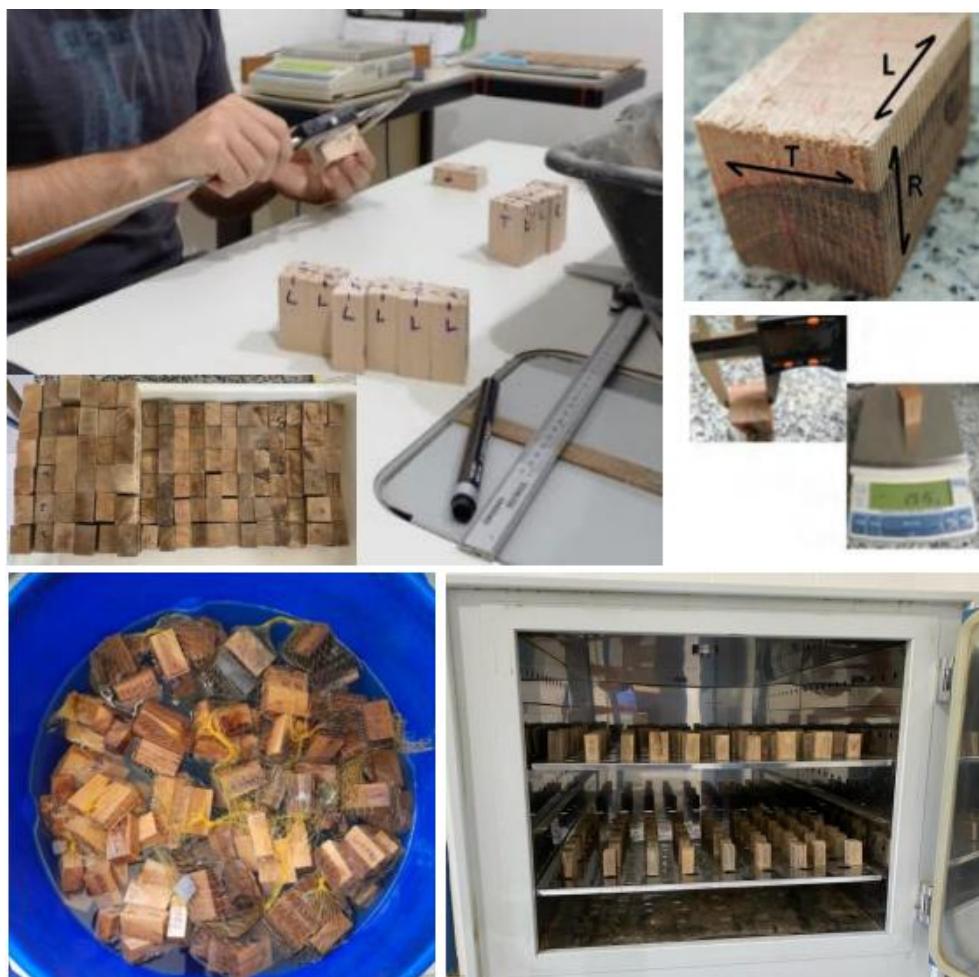


Figura 9: Procedimentos para determinação das propriedades físicas das subamostras. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.

3.4. Propriedades mecânicas

Quanto as propriedades mecânicas da madeira estas também foram determinadas segundo o Anexo B do documento normativo NBR ABNT 7190:1997 - Projetos de Estruturas de Madeira. Tais propriedades são importantes para a verificação da capacidade de suporte de cargas em diferentes sentidos e direções de aplicação de cargas e esforços.

Os resultados da avaliação mecânica das espécies foram expressos através da determinação do Módulo de Ruptura (MOR) em compressão paralela às fibras (kgf/cm^2); Módulo de Ruptura (MOR) em flexão estática perpendicular às fibras (kgf/cm^2); e Módulo de Ruptura (MOR) em cisalhamento (kgf/cm^2).

A Figura 10 mostra detalhes dos testes realizados em máquina de ensaios universal, com leitura de esforços e deslocamentos registrados em software programado para avaliações em corpos de prova de madeira.

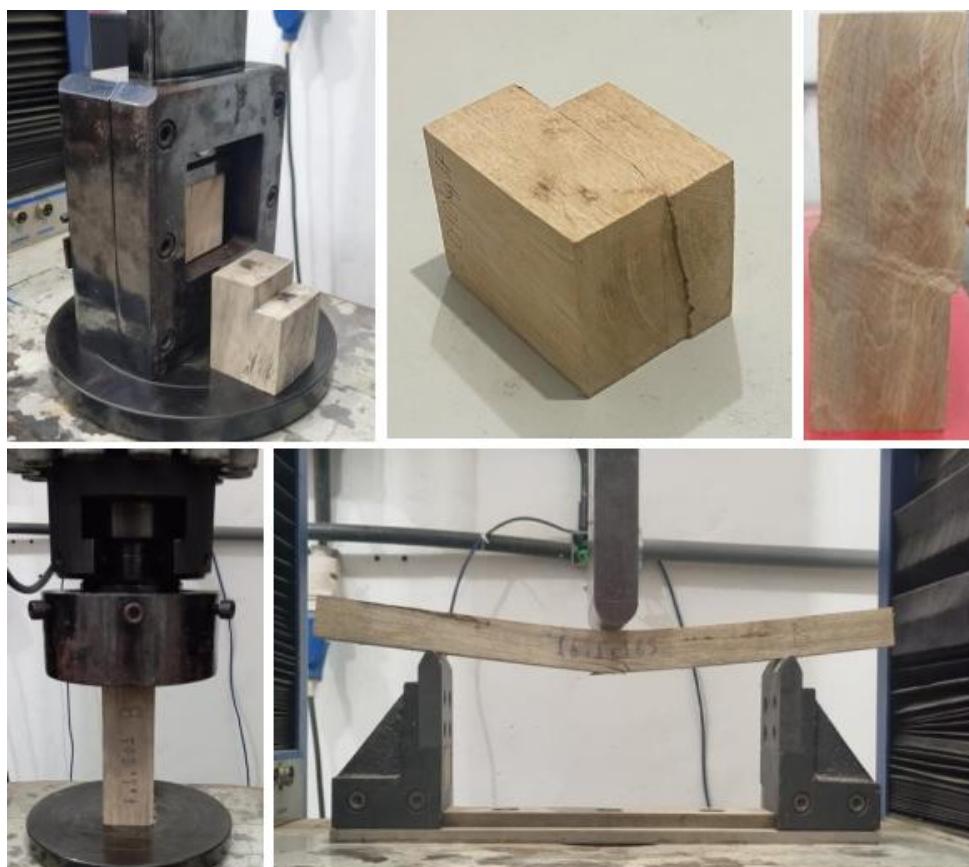


Figura 10: Ensaios para determinação das propriedades mecânicas da madeira. Fonte: arquivo fotográfico LPM/UFRRJ.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades físicas

As propriedades físicas da madeira das árvores de seringueira avaliadas demonstraram valores condizentes com a bibliografia e com a idade e histórico dos plantios onde ocorreu a

amostragem. Dentre estas propriedades, a densidade da madeira e suas formas de avaliações, caracterizam uma das variáveis de maior importância em função da correlação direta com as possibilidades de utilização do material madeira.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados de propriedades físicas analisadas para o clone 1 e 2:

Tabela 1. Valores de umidade, densidade aparente, densidade básica e variação volumétrica na contração para o Clone 1:

ÁRVORE	U%	Dens. Ap. (g/cm³)	Dens. Bás. (g/cm³)	Var. Vol. Contr. (%)
1	17,28	0,506	0,388	7,62
2	9,44	0,667	0,521	8,28
3	6,50	0,670	0,573	7,04
4	7,79	0,774	0,638	6,53
5	12,11	0,585	0,494	7,28
6	4,26	0,715	0,598	5,90
7	13,94	0,616	0,469	7,80
8	13,64	0,594	0,601	8,34
9	16,46	0,627	0,488	6,42
10	11,32	0,552	0,460	6,09
11	2,91	0,674	0,636	3,82
12	6,19	0,515	0,487	3,48
MÉDIAS CLONE 1:	10,15	0,625	0,529	6,55

Tabela 2. Valores de umidade, densidade aparente, densidade básica e variação volumétrica na contração para o Clone 2:

ÁRVORE	U%	Dens. Ap. (g/cm³)	Dens. Bás. (g/cm³)	Var. Vol. Contr. (%)
13	6,09	0,695	0,594	4,42
14	3,74	0,589	0,605	9,45
15	9,07	0,766	0,643	5,25
16	12,99	0,572	0,578	8,58
17	2,84	0,575	0,727	5,83
18	13,15	0,586	0,486	5,36
19	10,31	0,667	0,549	5,42
20	9,24	0,694	0,565	3,99
21	13,04	0,599	0,486	8,20
22	14,20	0,656	0,571	4,15
23	2,62	0,633	0,584	2,90
24	3,93	0,578	0,487	6,43
MÉDIAS CLONE 2:	8,43	0,634	0,573	5,83

Tabela 3. Coeficiente de anisotropia por Clone:

COEFICIENTE DE ANISOTROPIA		
AMOSTRAS	CLONE 1	CLONE 2
1	1,77	1,98
2	1,37	2,27
3	1,46	1,29
4	2,16	1,39
5	1,44	1,73
6	1,76	1,13
7	2,20	1,50
8	1,63	2,19
9	1,54	1,33
10	1,56	2,88
11	1,55	2,01
12	2,20	1,35
13	1,29	2,12
14	1,22	2,36
15	1,89	1,62
16	1,47	2,37
17	1,97	2,09
18	1,46	0,81
19	1,65	1,91
20	2,13	1,79
21	1,85	2,31
22	1,99	2,20
23	1,31	2,24
24	2,39	1,38
25	1,36	1,03
26	1,99	2,22
27	2,34	1,60
28	1,66	1,29
29	1,01	2,25
30	1,04	1,12
31	1,02	1,84
32	1,01	1,49
33	1,22	1,58
34	1,17	1,60
35	1,13	2,29
36	1,19	1,55
37	1,98	1,99
38	1,06	1,69
39	2,43	2,08
40	1,85	1,79
MÉDIA FINAL:		1,62
		1,79

As densidades, aparente e básica, possuem relativa facilidade de determinação laboratorial, possuindo inclusive metodologias que estimam a densidade ao longo do crescimento das árvores, para que sejam possíveis seleções de matrizes no campo, que se adequem às necessidades do segmento para o qual a madeira será destinada.

Os valores encontrados de densidade aparente, 0,625 e 0,634 g/cm³ para os Clones 1 e 2 sucessivamente, e de densidade básica de 0,529 e 0,573 g/cm³, relacionam-se a madeiras de densidade média, sendo que valores mais baixos são encontrados em árvores mais jovens da mesma espécie, como os encontrados por Silva e Valle (2024), média de 0,491 g/cm³ para amostras de árvores com 10 a 12 anos de idade.

Os valores encontrados pela metodologia da ABNT 7190:1997 para a variação volumétrica em contração, da condição saturada a seca foi condizente com os valores de contração na secagem convencional, variando em torno de 5 a 6%, resultados considerados baixos e indicativos de madeira de boa estabilidade quando em uso.

O coeficiente de anisotropia representa um parâmetro fundamental para compreender a variação das propriedades mecânicas da madeira em relação à orientação das fibras. Conforme demonstrado por Gibson (2012), a resistência mecânica pode apresentar diferenças significativas - de três a dez vezes maior - quando comparadas as direções paralela e perpendicular às fibras. Essa característica é particularmente relevante para aplicações estruturais e processos de usinagem.

A interpretação dos valores de anisotropia segue uma relação direta: coeficientes próximos a 1,0 indicam comportamento uniforme e estável nas diferentes direções de contração, enquanto valores superiores a 2,0 revelam maior instabilidade dimensional e variabilidade nas propriedades mecânicas. O cálculo deste coeficiente considera especificamente a relação entre as variações dimensionais ocorridas na largura e na espessura da madeira durante os processos de secagem.

Na tabela apresentada, os valores obtidos de 1,62 para o Clone 1 e 1,79 para o Clone 2 evidenciam um padrão de comportamento relativamente homogêneo nas diferentes direções anatômicas. Esta característica é consistente com as observações contidas na NBR 7190, que associa madeiras com densidade média e elevado teor de umidade - como é o caso da seringueira - a menores índices de anisotropia. Tal comportamento pode ser explicado pela microestrutura particular desta espécie, que apresenta menor diferenciação entre as propriedades nas diversas direções do que a maioria das madeiras tropicais.

4.2. Propriedades mecânicas

Quanto às propriedades mecânicas da madeira, os valores encontrados para compressão paralela, flexão e cisalhamento confirmam características relacionadas ao uso para estruturas e pequenas estruturas que exijam esforços leves, como é comum nos segmentos de mobiliário e esquadrias (portas, janelas, batentes, lambris, forros).

Os dados obtidos nos ensaios de propriedades mecânicas foram organizados na Tabela 4:

Tabela 4. Valores de Carga Máxima (CM) e Modulo de Ruptura (M.O.R) obtidos nos testes de Flexão, Compressão Paralela às Fibras e Cisalhamento:

CLONE	FLEXÃO		COMPRESSÃO PARALELA		CISALHAMENTO	
	C.M (kgf)	M.O.R (kgf/cm ²)	C.M (kgf)	M.O.R (kgf/cm ²)	C.M (kgf)	M.O.R (kgf/cm ²)
1	250,9	579,2	7250	240,7	2360	80,0
	155,5	372,2	8100	287,6	2670	98,2
	225,0	534,3	9710	381,4	1710	67,2
	171,5	695,4	7910	311,0	2450	99,2
	282,4	678,1	9940	393,6	2550	95,4
	234,1	563,9	10080	416,0	2940	109,1
	279,8	615,9	9380	371,2	3530	113,8
	232,3	486,4	10060	395,7	3070	113,6
	205,9	449,7	6960	279,4	2810	108,3
	226,7	502,7	8620	352,8	2640	99,0
	324,0	158,1	8420	353,8	3220	123,2
	338,6	812,7	8590	363,0	3410	131,4
	340,0	768,9	9090	356,9	2790	104,4
	392,0	933,0	7470	300,8	2840	104,7
	276,7	658,7	8810	357,9	2460	94,5
	367,0	947,3	8250	338,5	1860	69,6
	209,4	430,3	10420	431,3	2550	91,7
	217,0	515,0	8860	364,0	2950	109,0
	237,1	526,2	8500	353,8	3580	133,2
	187,1	406,9	9070	364,0	2580	97,1
	243,7	571,0	10420	419,1	3140	119,2
	225,5	563,9	10610	437,5	2950	111,2
	277,7	688,3	6470	264,1	2510	98,2
	241,1	643,4	8220	332,4	3460	136,3
2	425,4	1130,9	12240	492,5	2980	113,3
	335,6	895,3	12190	492,5	3040	116,7
	429,1	1090,1	12100	504,8	2720	103,1
	437,0	1092,1	12850	548,6	2930	107,4
	426,5	988,1	15060	592,5	3350	124,4
	410,2	939,2	14390	581,2	3600	132,7
	265,2	676,1	10810	428,3	2740	103,0
	357,0	850,4	10080	404,8	3630	136,0
	283,1	685,3	7760	323,3	2320	89,7
	274,3	637,3	8050	361,0	3310	127,6
	256,5	615,9	6230	245,8	2780	101,3
	312,7	623,0	8430	330,4	2950	109,0
	386,8	913,7	12500	500,7	3190	120,3
	352,1	897,4	12930	516,0	2790	106,3
	232,6	551,7	11600	451,7	3660	141,1
	224,6	550,6	11310	428,3	3390	129,1
	227,1	579,2	9500	366,1	2720	99,7
	328,7	749,5	9150	364,0	2920	107,2
	388,8	865,7	10530	419,1	2400	91,1
	293,7	693,4	10860	437,5	3010	113,9
	348,4	813,7	8260	322,2	1590	60,5
	337,7	804,6	8310	320,2	2930	105,8
	280,5	554,7	10070	407,9	2840	106,9
	285,1	594,5	9970	394,6	2320	86,5

A carga máxima representa a força máxima exercida pela máquina de ensaios na madeira antes da falha e o Modulo de ruptura é a tensão máxima que a madeira resiste antes de romper. Como a madeira é um material anisotrópico e heterogêneo suas propriedades mecânicas variam conforme espécies, idade, condições de crescimento e até direção das fibras como é o caso da espécie estudada. Essa variação é particularmente relevante quando analisamos diferentes clones pois os valores médios de MOR permitem estabelecer comparações diretas entre os materiais provenientes de distintos clones ou até mesmo outras espécies conforme demonstram as Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5. Estatísticas descritivas para Flexão:

Flexão			
Estatística	Clone 1 (n=24)	Clone 2 (n=24)	Diferença
Média	598,7 kgf/cm ²	738,2 kgf/cm ²	+139,5 kgf/cm ²
Desvio Padrão	±155,0 kgf/cm ²	±189,7 kgf/cm ²	-
Mínimo	158,1 kgf/cm ²	406,9 kgf/cm ²	-
Máximo	947,4 kgf/cm ²	1.130,9 kgf/cm ²	-
Coef. Variação	25,90%	25,70%	-

Tabela 6. Estatísticas descritivas para Compressão Paralela:

COMPRESSÃO PARALELA			
Estatística	Clone 1 (n=24)	Clone 2 (n=24)	Diferença
Média	341,6 kgf/cm ²	420,1 kgf/cm ²	+78,5 kgf/cm ²
Desvio Padrão	±59,1 kgf/cm ²	±72,4 kgf/cm ²	-
Mínimo	240,6 kgf/cm ²	279,4 kgf/cm ²	-
Máximo	437,5 kgf/cm ²	592,5 kgf/cm ²	-
Coef. Variação	17,30%	17,20%	-

Tabela 7. Estatísticas descritivas para Cisalhamento:

CISALHAMENTO			
Estatística	Clone 1 (n=24)	Clone 2 (n=24)	Diferença
Média	95,3 kgf/cm ²	111,2 kgf/cm ²	+15,9 kgf/cm ²
Desvio Padrão	±19,1 kgf/cm ²	±17,8 kgf/cm ²	-
Mínimo	67,2 kgf/cm ²	60,5 kgf/cm ²	-
Máximo	136,3 kgf/cm ²	141,1 kgf/cm ²	-
Coef. Variação	20,00%	16,00%	-

Os valores médios para flexão de 598,7 e 738,2 kgf/cm² para os clones 1 e 2 respectivamente, demonstram que o material genético da seringueira pode apresentar uma variação expressiva corroborando a ideia de que a seleção de material pode favorecer algum potencial de melhoria em sua função estrutural, contudo a maior parte dos valores continua abaixo de 600 kgf/cm² e segundo Pereira (2021) indica que a seringueira continua inadequada para esforços em vigas por exemplo. Já os valores médios de compressão paralela de 341,6 e 420,1 para os clones 1 e 2 respectivamente provam que a seringueira se enquadra em madeiras de média resistência (350-500 kgf/cm²) segundo a NBR 7190. Por fim os resultados médios do cisalhamento de 95,3 e 111,2 kgf/cm² para os clones 1 e 2 respectivamente, e como consta na mesma norma esses valores enquadram a seringueira em madeiras de média resistência ao cisalhamento (100 a 140 kgf/cm²). Essas métricas apontam usos práticos diversos como

ligações em moveis, painéis colados, moveis robustos assoalhos e pisos. Quando comparamos os materiais com outras espécies amplamente exploradas podemos visualizar melhor essas aplicações potenciais de mercado, já com literaturas da mesma espécie damos confiabilidade aos resultados como mostram as Tabelas 8 a 12.

Tabela 8. Comparação dos clones estudados com literaturas conhecidas na Flexão:

FLEXÃO			
Clone	MOR Médio (kgf/cm²)	Variação (kgf/cm²)	Comparação com Literatura*
FDR	598,7	372,2–947,4	Inferior a eucalipto (815,8–1.019,7 kgf/cm ²)
3854	738,2	449,7–1.130,9	Próximo a pinus (509,9–713,8 kgf/cm ²)

Tabela 9. Comparação dos clones estudados com literaturas conhecidas na Compressão Paralela:

COMPRESSÃO PARALELA			
Clone	MOR Médio (kgf/cm²)	Variação (kgf/cm²)	Comparação com Literatura*
FDR	341,6	240,6–437,5	Similar a seringueira em SP (356,9–458,9 kgf/cm ²)
3854	420,1	279,4–592,5	Superior ao clone 1 (+23%)

Tabela 10. Comparação dos clones estudados com literaturas conhecidas no cisalhamento:

CISALHAMENTO			
Clone	MOR Médio (kgf/cm²)	Variação (kgf/cm²)	Comparação com Literatura*
FDR	95,3	67,2–136,3	Inferior a eucalipto (140–180 kgf/cm ²)
3854	111,2	60,5–141,1	Próximo a pinus (100–120 kgf/cm ²)

Tabela 11. Comparação dos clones 1 e 2 com outras madeiras comerciais:

COMPARAÇÃO COM OUTRAS MADEIRAS COMERCIAIS					
PROPRIEDADE	CLONE (1)	CLONE (2)	EUCALIPTO	PINUS	IPÊ
Flexão (MOR)	598,7	738,2	815,8–1.019,7	509,9–713,8	>1.019,7
Compressão	341,6	420,1	509,9–611,8	305,9–407,9	611,8–815,8
Cisalhamento	95,3	111,2	140–180	100–120	>200

Tabela 12. Comparação dos clones 1 e 2 deste trabalho com outros estudos de seringueira:

ESTUDO	FLEXÃO (kgf/cm²)	COMPRESSÃO (kgf/cm²)	CISALHAMENTO (kgf/cm²)	OBSERVAÇÕES
Lima et al. (2020)	611,8–815,8	356,9–458,9	80–100	Seringueira em SP
Pereira et al. (2020)	560,9–764,8	305,9–407,9	90–110	Seringueira em MT
Este Trabalho (2025)	598,7–738,2	341,6–420,1	95,3–111,2	Clone 3854 > FDR em resistência

A caracterização mecânica de materiais lignocelulósicos, como a madeira, demanda não apenas a obtenção de valores absolutos de resistência, mas também sua contextualização frente a referências consolidadas na literatura científica essa abordagem comparativa é fundamental para múltiplos aspectos técnicos como controle de qualidade metodológico, classificação em nichos de mercado, identificação de vantagens competitivas, subsídios para normativas e inovação, sustentabilidade e economia florestal.

Foi realizada uma análise inferencial de variância nos esforços mecânicos para comparar se a diferença existente entre os clones 1 e 2 é significativa ao grau de 5%, baseando a hipótese nula (H_0) de que não há diferença significativa entre os clones 1 e 2 e a hipótese alternativa (H_1) de que há diferença estatisticamente relevante. Os resultados estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13. Análise de Variância (ANOVA) comparando as médias dos dados entre clone 1 e 2:

Flexão (Mpa)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-valor	p-valor
Clone (FDR vs. 3854)	1	2.845,7	2.845,7	18,92	< 0,001
Resíduos	46	6.920,3	150,4	-	-
Compressão paralela (Mpa)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-valor	p-valor
Clone (FDR vs. 3854)	1	1.128,4	1.128,4	12,45	0,001
Resíduos	46	4.167,8	90,6	-	-
Cisalhamento (Kgf/cm²)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-valor	p-valor
Clone (FDR vs. 3854)	1	6.124,3	6.124,3	8,76	0,005
Resíduos	46	32.178,9	699,5	-	-

Os valores de p (p-valor) indicam se rejeitamos ou não H_0 . Um p-valor menor que 0,05 (nível de significância) confirma que as diferenças observadas não são aleatórias. Os resultados demonstraram que os clones se diferem significativamente em todas as propriedades mecânicas testadas. Foi possível notar também que a flexão é a propriedade mais sensível a variação genética pois possui o maior f-valor e menor p-valor.

5. CONCLUSÕES

A partir do presente trabalho pode-se concluir que a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) dos clones estudados apresenta características tecnológicas que a qualificam para diversas aplicações industriais, embora com variações importantes entre os materiais genéticos avaliados. O Clone 2 destacou-se por apresentar valores superiores em todos os parâmetros mecânicos analisados, com diferenças estatisticamente significativas em relação ao Clone 1, particularmente na resistência à flexão, onde a diferença atingiu 23%.

A análise das propriedades físicas revelou que a madeira de seringueira dos dois clones se enquadra na categoria de média densidade, com valores de densidade básica compatíveis com aqueles relatados na literatura para a espécie. O coeficiente de anisotropia, com valores próximos a 1,6-1,8, indica um comportamento relativamente homogêneo nas diferentes direções das fibras, característica que confere vantagens no processamento mecânico e na estabilidade dimensional dos produtos finais. Esses achados são particularmente relevantes quando consideramos o contexto de produção em sistemas consorciados, que difere das condições de monocultivos tradicionalmente estudados.

As propriedades mecânicas avaliadas posicionam a madeira de seringueira como material adequado para aplicações específicas na indústria moveleira, na fabricação de painéis e em elementos estruturais leves. Embora não atinja os valores de resistência de espécies tradicionalmente utilizadas em construções pesadas, como o ipê, seu desempenho se mostra comparável ou superior a outras madeiras de amplo uso comercial, como algumas variedades de pinus. Essa constatação ganha especial relevância quando consideramos a sustentabilidade do material, já que se trata de um subproduto de sistemas agroflorestais já estabelecidos,

contribuindo para a otimização do uso da terra e para a geração de renda adicional para os produtores.

Como perspectivas para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação dos estudos para outros clones de seringueira em diferentes condições edafoclimáticas, permitindo uma caracterização mais abrangente do potencial madeireiro da espécie. Pesquisas sobre tratamentos físicos e químicos para melhoria das propriedades mecânicas e aumento da durabilidade natural da madeira também se mostram promissoras. Além disso, estudos econômicos detalhados sobre a viabilidade da cadeia produtiva da madeira de seringueira em sistemas consorciados poderiam fornecer subsídios importantes para políticas públicas e iniciativas privadas. Por fim, investigações sobre o desempenho da madeira em produtos industrializados específicos, como painéis laminados colados ou compósitos madeira-plástico, poderiam abrir novas oportunidades de mercado para esse material sustentável.

Os resultados deste trabalho reforçam a importância da seringueira não apenas como fonte de látex, mas como recurso madeireiro valioso, cujo aproveitamento pode contribuir para a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas agroflorestais. A caracterização detalhada das propriedades da madeira aqui apresentada fornece bases científicas para o desenvolvimento de produtos e aplicações que valorizem esse recurso, promovendo o uso mais racional e sustentável das florestas plantadas no Brasil.

6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2023.
- CARVALHO, J. E. Políticas públicas para a seringueira no Brasil. São Paulo: EdUFSCar, 2021.
- CRUZ, C.; NUNES, J. Anisotropia em madeiras tropicais. Revista Árvore, v. 29, n. 4, p. 589-598, 2005.
- FREIRE, Juliana Müller; ROMANO, Iara Sabato; SOUZA, Maria Vitória dos Santos Careli de; GAROFOLI, Ana Cristina Siewert; SILVEIRA FILHO, Telmo Borges. Forest seedlings supply for restoration of the Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil. Floresta e Ambiente, [S.I.], v. 29, n. 3, e20210058, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0058>.
- GIBSON, L. J. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. Journal of the Royal Society Interface, v. 9, n. 76, p. 2749-2766, 2012. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0341>
- GONÇALVES, D.; PIOTTO, F. Variação dimensional em madeiras tropicais. Ciência Florestal, v. 28, n. 2, p. 845-856, 2018
- GONÇALVES, P. de S. et al. Anatomical characteristics of rubber tree clones. Scientia Agricola, v. 63, n. 1, p. 52-58, 2006.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO). Annual Review of Rubberwood Markets. Yokohama, 2023.

KILLMANN, W.; HONG, L. T. Rubberwood – The success of an agricultural by-product. *Unasylva*, v. 51, n. 200, p. 66-72, 2000.

LIMA, J. T. et al. Propriedades mecânicas da madeira de seringueira em monocultivos. *Floresta*, v. 52, n. 2, p. 345-356, 2022.

MORESCHI, J. C. *Tecnologia da madeira*. Curitiba: UFPR, 2012.

OLIVEIRA, J. T. Secagem e preservação de madeiras. São Paulo: Nobel, 1988.

PEREIRA, B. L. C. Resistência à flexão em madeiras tropicais. *Cerne*, v. 27, n. 3, p. 412-420, 2021.

RAO, K. S. et al. Wood properties of rubberwood (*Hevea brasiliensis*). *IAWA Journal*, v. 11, n. 3, p. 235-243, 1990.

* * *