



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

DIESKA RAYANE DA SILVA GOMES

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS PARA
FINS ESTRUTURAIS NO SISTEMA BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Recife, PE

2024



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

DIESKA RAYANE DA SILVA GOMES

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS PARA
FINS ESTRUTURAIS NA NO SISTEMA BRASILEIRO DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador (a): Profa. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani

Coorientador: Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Recife, PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

G633e Gomes, Dieska Rayane da Silva
Estudo das propriedades mecânicas das madeiras para fins estruturais no sistema brasileiro da construção civil. / Dieska Rayane da Silva Gomes. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2024.

128 f. il.
Inclui apêndice e anexos.

Orientadora: Profa. Emília Rahnemay Kohlman Rabbani
Coorientador: Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

1. Madeira. 2. Estruturas de Madeira. 3. Propriedades Mecânicas. I. Construção Civil – Dissertação. II. Rabbani, Emília Rahnemay Kohlman (orient.). III. Oliveira, Romilde Almeida de (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028 – 23. ed.
Eliane Leitão – CRB4/827

DIESKA RAYANE DA SILVA GOMES

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS
PARA FINS ESTRUTURAIS NO SISTEMA BRASILEIRO DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br EMILIA RAHNEMAY KOHLMAN RABBANI
Data: 27/06/2024 12:05:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani
Universidade de Pernambuco

Coorientador

Assinado de forma digital por
ROMILDE ALMEIDA DE OLIVEIRA:00363820434
Data: 2024.05.23 11:23:34 -03'00'

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco

Examinadores

Documento assinado digitalmente
gov.br ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO
Data: 20/05/2024 22:09:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro
Universidade de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
gov.br TIAGO ANCELMO DE CARVALHO PIRES DE OLIVEIRA
Data: 23/05/2024 14:01:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Proa. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de
Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE
2024

DEDICATÓRIA

A Deus e à minha família que me presenteiam todos os dias com a energia da vida, que me dão forças e coragem para atingir os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo. Por toda a coragem, luz, determinação e força na escolha do caminho correto a tomar e por dar-me a oportunidade de conhecer pessoas boas. Por todos os obstáculos que Ele colocou em meu caminho. Nos momentos de dificuldades pude não compreender, mas hoje ao chegar no topo desta montanha, reconheço na paisagem a lição que Ele me deu. Agradeço a Ele, as vitórias e conquistas alcançadas durante a minha vida.

Aos meus pais e irmãos, não há palavras que expressem o meu agradecimento por eles. A todo o carinho e amor incondicional depositado em mim, a confiança e companheirismo, mas principalmente agradeço por não me abandonarem quando mais precisei deles. Eles são todo o meu exemplo que eu quero carregar para o resto da vida, são a minha fonte de valores, meu porto seguro, enfim, são tudo para mim. Nossas conexões vêm de outras vidas. É forte e poderosa, e ninguém é capaz de quebrá-las.

A minha família que sempre esteve na torcida. E entre um choro e outro a cada despedida, chegamos aonde mais esperávamos e em especial a minha tia Benilza Granja. Ao meu avô Dioclécio Granja, pessoa que tenho orgulho de ser neta, cheio de orgulho dos netos, que enche os olhos de lágrimas a cada carinho e recordação de tudo que passou para chegar aonde estar hoje. A minha avó Marcelina Granja (*in memoriam*), pelo papel importante que cumpriu e cumpre na minha vida.

Aos amigos, companheiros e, em especial, às amigas do mestrado: Maria Conceição, Maria Cristina, Maria Carollina e Rayane Gabriella, que durante todos esses anos foram capazes de compreender e compartilhar as diferenças, alegrias, tristezas, risadas e conhecimento.

Aos meus professores do mestrado, que contribuíram e contribuem nessa jornada, pelo apoio, dedicação e por acreditarem em mim. E em especial a minha orientadora Doutora Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani e ao meu coorientador Doutor Romilde Almeida de Oliveira, que me guiaram nesse trabalho e além de sabedoria e competência, possui uma grande determinação, dinamismo e carisma, pela confiança em mim depositada.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC que contribuíram para a minha jornada acadêmica e profissional.

A todos que um dia me falaram não, quando eu achei que estava pronta. Foi assim que encontrei o meu destino. A todos os que acreditaram no meu potencial e no meu sonho de um mundo melhor, construído com as ferramentas acadêmicas, citados aqui ou não.

Enfim, a todos aqueles que me incentivaram a não depender das minhas limitações.

EPÍGRAFE

“Bendiga o Senhor a minha alma! Não esqueça nenhuma de suas bênçãos”

Bíblia Sagrada (Salmos 103:2)

RESUMO

A presente pesquisa tem caráter bibliográfico e sistemático com objetivo evidenciar os critérios de resistência físicas e mecânicas da madeira como uso nas edificações para fins estruturais e apresentar o comparativo das espécies de madeira em Pernambuco e no Brasil. Para isso, utilizou-se um procedimento metodológico dividido em seis etapas, sendo elas: revisão bibliográfica (a), análises das principais normas mundiais de desempenho técnico das madeiras (b), revisão sistemática da literatura (RSL) considerando o período de 2012 a 2022 de pesquisas ao longo dos últimos anos, restringindo as madeiras que não possuem nenhum tipo de tratamento para que possam ser analisadas com as espécies de florestas nativas, com análise bibliométrica realizada na ferramenta *Rayyan* e o relato realizado pela metodologia PRISMA (c), pesquisa documental (d), coleta e organização dos dados da RSL (e) e validação e análise estatísticas dos dados da RSL (f). Como resultados obtidos, a RSL apontou as propriedades mecânicas de 104 espécies de madeiras, tendo sido 54 destas espécies estudadas no Brasil. A extração de dados permitiu indicar espécies de madeiras de 23 países, Austrália, Brasil, Chile, China, Costa Rica, Croácia, Egito, Espanha, França, Filipinas, Guatemala, Indonésia, Itália, Letônia, Malásia, Nigéria, Peru, Portugal, Reino Unido, Romênia, Tailândia e Turquia. Nos estudos realizados no Brasil, não foram encontrados na RSL análises feitas em espécies de madeiras da região Nordeste do país e percebe-se que cada país possuía a sua norma para os estudos das propriedades mecânicas. No Brasil, a espécie *Peltophorum vogelianun Benth* teve o melhor desempenho à resistência ao cisalhamento paralelo com 77 MPa, a *Corymbia citriodora* teve 123,6 MPa para a resistência à tração paralela. Em Portugal, a espécie *Iroko* teve o melhor resultado de 15882 MPa para o módulo dinâmico e na Espanha a espécie *Quercus robur* teve o melhor desempenho de 45 MPa para a resistência à compressão paralela. Na pesquisa documental foi evidenciado o estudo de 25 espécies do Nordeste do Brasil, sendo a espécie *Zollernia paraenses Hub* com 85,71 MPa para resistência à compressão axial, *Tabebuia sp* com 182,5 MPa para a flexão estática, *Zollernia paraenses Hub* com 19,22 MPa para resistência ao cisalhamento e 10,10 MPa para a resistência à Tração normal às fibras. É evidente que não existe uma norma universal, o que dificulta as análises das espécies de diferentes países. No entanto, com a NBR 7190:2022, é possível realizar os ensaios para obter os resultados das propriedades mecânicas e classificá-las de acordo com tabela 3 da NBR 7190-1:2022 sobre classe de resistência definida em ensaios de peças estruturais. Observou-se que a espécie *Bagassa guianensis* possui classe de resistência diferente para a região Norte e região Centro Oeste do Brasil, D60 e D50, respectivamente e a espécie *Prosopis juliflora* na região Nordeste foi classificada como C60 na classe de resistência da norma.

Palavras-chave: Madeira. Estruturas de madeira. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

*The present research has a bibliographic and systematic nature with the objective of highlighting the physical and mechanical strength criteria of wood for use in building structures and presenting a comparison of wood species in Pernambuco and Brazil. For this purpose, a methodological procedure was divided into six stages, which are: bibliographic review (a), analysis of the main global technical performance standards for wood (b), systematic literature review (SLR) considering the period from 2012 to 2022, restricting woods without any type of treatment for analysis with native forest species, with bibliometric analysis conducted using the Rayyan tool and reporting performed by the PRISMA methodology (c), documentary research (d), data collection and organization from the SLR (e) and validation and statistical analysis of SLR data (f). As a result, the SLR identified the mechanical properties of 104 wood species, with 54 of these species studied in Brazil. Data extraction allowed indicating wood species from 23 countries: Australia, Brazil, Chile, China, Costa Rica, Croatia, Egypt, Spain, France, the Philippines, Guatemala, Indonesia, Italy, Latvia, Malaysia, Nigeria, Peru, Portugal, the United Kingdom, Romania, Thailand, and Turkey. In studies conducted in Brazil, no analyses were found in the SLR for species in the Northeast region of the country, and it was observed that each country had its own standard for studying mechanical properties. In Brazil, the species *Peltophorum vogelianum* Benth had the best performance for parallel shear strength with 77 MPa, and *Corymbia citriodora* had 123.6 MPa for parallel tensile strength. In Portugal, the species Iroko had the best result of 15882 MPa for the dynamic modulus, and in Spain, the species *Quercus robur* had the best performance of 45 MPa for parallel compression strength. In documentary research, the study of 25 species from Northeast Brazil was highlighted, with the species *Zollernia paraenses* Hub having 85.71 MPa for axial compression strength, *Tabebuia* sp with 182.5 MPa for static bending, *Zollernia paraenses* Hub with 19.22 MPa for shear strength, and 10.10 MPa for normal fiber tensile strength. It is evident that there is no universal standard, making the analysis of species from different countries challenging. However, with NBR 7190:2022, it is possible to conduct tests to obtain mechanical property results and classify them according to resistance class defined in tests of structural pieces, as per Table 3 of NBR 7190-1:2022. It was observed that the species *Bagassa guianensis* has different resistance classes for the North and Midwest regions of Brazil, D60 and D50, respectively, and the species *Prosopis juliflora* in the Northeast region was classified as C60 in the standard resistance class.*

Keywords: Wood. Wooden structures. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 – <i>Mjøstårnet</i> , na Noruega | 21 |
| Figura 2 – <i>T3 Bayside</i> no Canadá e <i>Framework</i> nos Estados Unidos | 21 |
| Figura 3 – Maloca (casa aldeia) – cortes e fechadas | 25 |
| Figura 4 – Maloca (casa aldeia) – cortes e fechadas | 25 |
| Figura 5 – Edificações de madeiras construídas pelos primeiros imigrantes | 27 |
| Figura 6 – Localização das empresas que atuam com madeira na construção civil no Brasil | 30 |
| Figura 7 - Processo de seleção dos artigos. | 49 |
| Figura 8 – Distribuição dos artigos por país | 50 |
| Figura 9 – Distribuição dos artigos selecionados por ano | 50 |
| Figura 10 – QR Code do Anexo A | 109 |
| Figura 11 – QR Code do Anexo B | 111 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Espécies de madeiras Pernambucanas da família <i>Chrysobalanaceae</i> | 32 |
| Quadro 2 – Vinte e cinco espécies de madeiras do Nordeste do Brasil | 33 |
| Quadro 3 – Maiores e menores resultados das espécies do estudo das vinte e cinco espécies de madeiras do Nordeste do Brasil | 35 |
| Quadro 4 - Valores de k_{mod1} da NBR 7190/1997 e NBR 7190/2022 | 38 |
| Quadro 5 – Classes de resistências em ensaios de peças estruturais. | 39 |
| Quadro 6 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaio de corpos de provas isentos de defeitos | 41 |
| Quadro 7 – Parâmetros do Protocolo definidos para a pesquisa. | 47 |
| Quadro 8 – Ensaio f_{v0} e f_H das espécies | 51 |
| Quadro 9 – Ensaios f_{c90} , f_{c0} , f_{t90} e f_{t0} das espécies. | 52 |
| Quadro 10 – Espécies brasileiras. | 58 |
| Quadro 11 – Diferença percentual das propriedades mecânicas das espécies <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> . | 60 |
| Quadro 12 – Características físicas e mecânicas da Tatajuba da Região Centro Oeste e da Região Norte | 62 |
| Quadro 13 – Características físicas e mecânicas da relação <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> | 63 |
| Quadro 14 – Características físicas e mecânicas das espécies de eucalipto | 64 |
| Quadro 15 Características anatômica das espécies de eucalipto | 65 |
| Quadro 16 – Características físicas e mecânicas | 66 |
| Quadro 17 – Características da espécie Pau-Brasil | 67 |
| Quadro 18 – Características gerais e mecânicas da relação entre as espécies <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 69 |
| Quadro 19 – Características da espécie <i>Prosopis juliflora</i> - Algaroba | 70 |
| Quadro 20 – Principais diferenças entre a NBR 7190 e a ASTM D 143. | 74 |
| Quadro 21 – Principais diferenças entre a NBR 7190 e a EN 1995-1. | 77 |
| Quadro 22 – Comparativo entre as espécies de madeiras portuguesas. | 79 |
| Quadro 23 – Espécies da mesma família dos estudos. | 82 |
| Quadro 24 – As cinco espécies com os melhores resultados para as características físicas | 83 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 25 – As cinco espécies com os melhores resultados para os ensaios de Compressão axial e Flexão estática das características mecânicas | 85 |
| Quadro 26 – As cinco espécies com os melhores resultados para os ensaios de Choque, Cisalhamento, Dureza Janka, Tração normal às fibras e Fendilhamento | 87 |
| Quadro 27 – Densidade básica (ρ_{bas}) entre as mesmas espécies | 89 |
| Quadro 28 – Densidade aparente a 12% (ρ_{12}) entre as mesmas espécies | 90 |
| Quadro 29 – Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) entre as mesmas espécies | 91 |
| Quadro 30 – Resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) entre as mesmas espécies | 91 |
| Quadro 31 – Resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}) entre as mesmas espécies | 92 |
| Quadro 32 – Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) entre as mesmas espécies | 92 |
| Quadro 33 – Comparativo entre a espécie Pau-Brasil | 93 |
| Quadro 34 – Comparativo entre a espécie Tatajuba da Região Centro Oeste e da Região Norte | 94 |
| Quadro 35 – Espécie Australiana | 112 |
| Quadro 36 – Espécies Chilenas | 112 |
| Quadro 37 – Espécies Chinesas | 112 |
| Quadro 38 – Espécies Costarriquenhas | 113 |
| Quadro 39 – Espécies Croatas | 113 |
| Quadro 40 – Espécies Egípcias | 113 |
| Quadro 41 – Espécies Espanholas | 114 |
| Quadro 42 – Espécies Espanhola e Francesa | 114 |
| Quadro 43 – Espécies Filipinas | 114 |
| Quadro 44 – Espécies Guatemalenses | 115 |
| Quadro 45 – Espécies Indonésias | 115 |
| Quadro 46 – Espécies Italiana | 116 |
| Quadro 47 – Espécies Letãs | 116 |
| Quadro 48 – Espécies Malaios | 116 |
| Quadro 49 – Espécies Marroquinas | 117 |
| Quadro 50 – Espécies Nigerianas | 117 |
| Quadro 51 – Espécies Peruanas | 117 |
| Quadro 52 – Espécies Portuguesas | 118 |
| Quadro 53 – Espécies Britânicas | 118 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 54 – Espécies Romenas | 118 |
| Quadro 55 – Espécies Tailandesas | 119 |
| Quadro 56 – Espécies Turcas | 119 |
| Quadro 57 – Espécies Brasileiras | 119 |
| Quadro 58 – Espécies Brasileiras | 120 |
| Quadro 59 – Espécies Brasileiras | 121 |
| Quadro 60 – Espécies Brasileiras | 122 |
| Quadro 61 – Espécies Brasileiras | 123 |
| Quadro 62 – Distribuição dos artigos | 124 |
| Quadro 63 – Ensaio das espécies do Nordeste do Brasil | 128 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AC | Coeficiente de Anisotropia |
| AL | Alagoas |
| AM | Amazonas |
| ANOVA | Análise de Variância |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| BA | Bahia |
| BS | Norma Britânica |
| β_{long} | Contração Longitudinal |
| β_{rad} | Contração Radial |
| β_{tang} | Contração Tangencial |
| β_{vol} | Contração Volumétrica |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CEN | <i>European Committee for Standardization</i> |
| CERFLOR | Certificação Florestal |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| COPANT | Comisión Panamericana de Normas Técnicas |
| CR | Classe de Resistência |
| CSN | Companhia Siderúrgica Nacional |
| DIC | Delineamento Inteiramente Casualizado |
| D _f | Diâmetro da Fibra |
| DIN | <i>Deutsches Institut für Normung</i> |
| D _{lu} | Diâmetro do Lúmen |
| DOF | Documento de Origem Florestal |
| D _v | Diâmetro dos Vasos |
| E _{c0} | Módulo de Elasticidade à Compressão Paralela às Fibras |
| E _{c0, med} | Valor Médio do Módulo de Elasticidade à Compressão Paralela às Fibras |
| EESC | Escola de Engenharia de São Carlos |
| E _{t0} | Módulo de Elasticidade à Tração Paralela às Fibras |
| EN | Eurocode |
| E _{pf} | Espessura da Parede |

| | |
|------------------|--|
| f_H | Dureza Janka |
| f_k | Resistência Característica |
| f_{v0} | Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras |
| $f_{v0, k}$ | Resistência Característica ao Cisalhamento Paralelo às Fibras |
| f_{c0} | Resistência à Compressão Paralela às Fibras |
| $f_{c0, k}$ | Resistência Característica à Compressão Paralela às Fibras |
| f_{c90} | Resistência à Compressão Perpendicular às Fibras |
| F_{rv} | Frequência dos Elementos dos Vasos |
| f_{t0} | Resistência à Tração Paralela às Fibras |
| $f_{t0, k}$ | Resistência Característica à Tração Paralela às Fibras |
| f_{t90} | Resistência à Tração Perpendicular às Fibras |
| $f_{t90, k}$ | Resistência Característica à Tração Perpendicular às Fibras |
| H_r | Altura dos Raios |
| IAWA | <i>International Association of Wood Anatomists</i> |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo |
| ISBN | <i>International Standard Book Number</i> |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| kmod | Coefficiente de Modificação |
| kmod1 e kmod2 | Coefficientes de Modificação Parciais |
| LaMEM | Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira |
| L_f | Largura da Fibra |
| L_r | Largura dos Raios |
| LVAd | Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso |
| MA | Maranhão |
| MB | Método Brasileiro |
| MLC | Madeira Lamelada Colada |
| MLCC | Madeira Lamelada Colada Cruzada |
| MOE | Módulo de Elasticidade da Flexão Estática |
| MOR ou $f_{m,k}$ | Módulo de Ruptura na Flexão Estática |

| | |
|--------------|---|
| MPa | Mega Pascal |
| n | Número de corpos de prova |
| NB | Norma Brasileira |
| NBR | Norma Brasileira |
| NP | Norma Portuguesa |
| OEMA | Órgão Estadual de Meio Ambiente |
| ρ | Massa específica |
| ρ_{bas} | Densidade Básica |
| ρ_k | Densidade Característica |
| ρ_{ap} | Densidade Aparente |
| ρ_{12} | Densidade Aparente a 12% |
| PA | Pará |
| PE | Pernambuco |
| PEFC | <i>Programme for the Endorsement of Forest Certification</i> |
| PICOC | População, Interesse, Controle, Resultado e Contexto |
| PRISMA | <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i> |
| Pvad | Podzólico Vermelho Amarelo abrupto |
| QCRI | <i>Qatar Computing Research Institute</i> |
| QR | Coefficiente de Retratibilidade Volumétrico |
| QR_{rad} | Coefficiente de Retratibilidade Volumétrico Radial |
| QR_{tang} | Coefficiente de Retratibilidade Volumétrico Tangencial |
| RIS | <i>Research Information Systems</i> |
| RSL | Revisão Sistemática Da Literatura |
| SIM | Verificação Modular |
| SUDENE | Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste |
| TAPPI | <i>Technical Association of the Pulp & Paper Industry Inc.</i> |
| TLP | Tensão Limite Proporcional |
| U | Teor de Umidade |
| Univasf | Universidade Federal do Vale do São Francisco |
| USP | Universidade de São Paulo |
| X_m | Valor médio da amostra completa |
| X_{wk} | Valor característico |
| WWF | <i>World Wildlife Fund</i> ou Fundo Mundial Da Natureza |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 | Contextualização | 19 |
| 1.2 | Justificativa | 19 |
| 1.3 | Objetivos | 22 |
| <i>1.3.1</i> | <i>Objetivo geral</i> | <i>22</i> |
| <i>1.3.2</i> | <i>Objetivos específicos</i> | <i>22</i> |
| 1.4 | Estrutura do texto | 23 |
| 2 | USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 24 |
| 2.1 | Breve histórico do uso da madeira estrutural na construção brasileira | 24 |
| 2.2 | Espécies de madeiras em Pernambuco | 31 |
| 3 | PRINCIPAIS NORMAS MUNDIAIS PARA AVALIAÇÃO DOS DESEMPENHOS DAS MADEIRAS | 36 |
| 3.1 | Norma Brasileira – NBR 7190 | 36 |
| 3.2 | Norma Europeia – EN 1995-1-1 | 42 |
| 3.3 | Norma Americana – ASTM D143 | 42 |
| 4 | ESTRUTURA METODOLÓGICA | 44 |
| 5 | REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA | 47 |
| 5.1 | Universo da pesquisa | 47 |
| 5.2 | Filtragem da amostra selecionada | 48 |
| 5.3 | Análise dos resultados da RSL | 49 |
| 6 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS EM ESPÉCIES DE MADEIRAS BRASILEIRAS | 57 |
| 6.1 | Região Sul | 59 |
| 6.2 | Região Centro Oeste e Região Norte | 61 |
| 6.3 | Região Sudeste | 62 |
| 6.4 | Região Nordeste e Sudeste | 66 |
| 6.5 | Região Nordeste | 68 |
| 7 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 71 |
| 7.1 | Comparativo entre a norma brasileira NBR 7190 com as normas ASTM D143 e EN 1995-1-1 utilizadas para os estudos das propriedades mecânicas das espécies | 71 |
| 7.2 | Comparativos entres as espécies do mesmo país da RSL | 78 |
| 7.3 | Comparativos entre as espécies brasileiras do estudo de Pereira <i>et al.</i> (1970) | 81 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 7.4 | Comparativo entre as espécies de madeira brasileiras..... | 88 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 95 |
| | REFERÊNCIAS | 99 |
| | APÊNDICE A – ENTREVISTA COM ESPECIALISTA | 107 |
| | ANEXO A – LIVRO ALGUMAS MADEIRAS PERNAMBUCANAS DA FAMÍLIA <i>CHRYSOBALANACEAE</i> | 108 |
| | ANEXO B – LIVRO CARACTERES TECNOLÓGICOS DE 25 ESPÉCIES DE MADEIRAS DO NORDESTE DO BRASIL | 110 |
| | ANEXO C - RESULTADOS MÉDIOS DAS ESPÉCIES DE MADEIRAS OBTIDOS DA RSL | 112 |
| | ANEXO D – DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS SELECIONADOS POR PAÍSES | 124 |
| | ANEXO E - ENSAIOS DAS ESPÉCIES DO NORDESTE BRASILEIRO..... | 128 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com a crescente urbanização das cidades vem gerando diversos impactos ambientais. Um dos efeitos mais preocupantes tem sido as altas emissões de gases provocando o aquecimento global. Para Stachera Jr. (2008), no setor da indústria brasileira, a construção civil é um dos mais importantes cenários na economia do país e um dos responsáveis pelo alto consumo de energia e geração de resíduos, devido a utilização de diversos materiais não renováveis.

Como forma de mitigar a degradação ambiental, são adotados uso de materiais renováveis, sustentáveis, como por exemplo, a utilização da madeira na construção civil para fins estruturais, é um isolante térmico e possui capacidade de absorver o dióxido de carbono – CO₂, que fica contido em sua estrutura em forma de lignina e celulose. No entanto, é pouco utilizada no Brasil, com o pensamento de que a madeira possui menor resistência e durabilidade que outros sistemas construtivos, por ser um material combustível e suscetível ao ataque de agentes biológicos e pela falta de conhecimento e mão de obra qualificada. Além disso, há pouca valorização dos produtos à base de madeira com características estruturais no mercado nacional (Aflalo, 2017; Nogueira *et al.*, 2021).

1.2 Justificativa

Para Nogueira *et al.* (2018, p. 1), a madeira destinada à construção civil precisa passar por um processo de adequação para ter aplicação eficiente, geralmente com um teor de umidade cerca de 12%, conforme os documentos normativos. Diante desse contexto, estudos desenvolvidos sobre as espécies e propriedades das madeiras demonstram que o material é bastante competitivo perante os sistemas construtivos de concreto e aço, apresentando resistência a compressão semelhante ao concreto, ambos inferiores ao aço, mas uma excelente relação entre resistência e densidade devido à sua baixa densidade, cerca de três vezes maior que a do aço e dez vezes maior que a do concreto. Isso a configura como um material estrutural de uso inteligente e eficiente, capaz de ser projetado para atender a critério de proteção contra incêndios e resistência ao vento. No entanto, é necessário conhecer suas propriedades mecânicas, físicas, químicas e anatômicas por meio de corpos de prova, que, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), não devem possuir defeitos e devem ser

retirados das partes afastadas das extremidades, com tamanho não inferior a 30 cm (ABNT, 1997; Almeida *et al.*, 2014; Calil Junior; Dias, 1997; Ramage *et al.*, 2017).

Segundo *European Communities* (2005) *apud* Ali *et al.* (2008), o aumento da temperatura média global pode afetar significativamente o clima e, portanto, as características da vegetação. Além deste fator, os fatores inerentes à região de desenvolvimento da árvore, como solo, relevo, clima, chuva e entre outros, influenciam o desenvolvimento da árvore e, conseqüentemente as suas propriedades (Moraes Neto *et al.*, 2009).

O uso da madeira na construção civil no Brasil ainda é pouco valorizado, pois há uma percepção de que ela é menos resistente que o aço e concreto. É fundamental conhecer a resistência e a rigidez de diferentes espécies de madeiras em variados ambientes a fim de refletir a sua durabilidade contra organismos lenhívoros e agentes intempéris. A madeira, como material polimérico natural, biodegradável, sustentável, ecologicamente correto e renovável, encontra aplicações em vários setores, destacando a importância de avaliar a durabilidade natural de cada espécie no mercado para diferentes usos (Dalla Costa *et al.*, 2022; Tomazeli *et al.*, 2016; Sundararaj *et al.*, 2015).

Entretanto, apesar das boas resistências das madeiras, as estruturas de madeiras estão suscetíveis a colapsos, assim como as estruturas de aço e concreto. Um exemplo marcante é o colapso da ponte de madeira de Tacoma Narrows nos Estados Unidos em 1940, que tinha 1.600 metros de extensão e desabou apenas 4 meses após a conclusão da construção, evidenciando uma movimentação oscilante significativa antes do colapso (UNICAMP, 2020). No Brasil, em 20 de junho de 2023, uma situação semelhante ocorreu no Pará, quando a estrutura de madeira da feira de artesanato de Paragominas colapsou, levantando a suspeita de que a causa do colapso pode estar relacionada à incapacidade da estrutura de madeira em suportar a sobrecarga proveniente dos telhados de madeira (Liberal, 2023).

Segundo Riala e Ilola (2014), há uma percepção de que a madeira engenheirada possui tecnologias menos desenvolvidas que as do concreto e as do aço, sendo complementada por Evison (2015), que destaca a necessidade de o setor madeireiro na construção civil ter como referência para o seu desenvolvimento a indústria do concreto e do aço. No entanto, madeira engenheirada surge como uma inovação que resulta da combinação de tecnologia avançada e recursos naturais, proporcionando uma alternativa sustentável e eficaz às opções tradicionais de construção. Ao contrário da madeira maciça, a madeira engenheirada consiste em várias

camadas de madeira processada unidas com adesivos de alta resistência, criando produtos como vigas, painéis e laminados.

Um exemplo prático da aplicação bem-sucedida da madeira engenheirada em estruturas de grandes edifícios é a construção do *Mjøstårnet*, uma torre de 85,40 metros de altura localizado na cidade de Brumunddal, na Noruega, conforme a Figura 1.

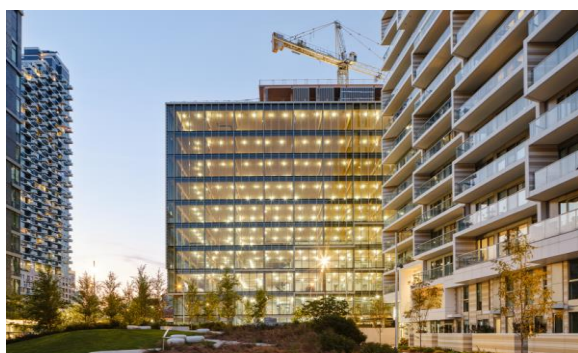
Figura 1 – *Mjøstårnet*, na Noruega



Fonte: Engenho e arte (2020)

Outros exemplos práticos são o *T3 Bayside* em Toronto, Canadá, e o *Framework* em Portland, Estados Unidos, conforme a Figura 2. O uso de vigas e pilares feitos desse material oferece resistência similar ou até mesmo superior à madeira maciça, possibilitando a construção de estruturas mais leves, eficientes e sustentáveis.

Figura 2 – *T3 Bayside* no Canadá e *Framework* nos Estados Unidos



a) *T3 Bayside* em Toronto, Canadá



b) *Framework* em Portland, Estados Unidos

Fonte: Lever Architecture (2024); Nordic structures (2023)

Além disso, a madeira engenheirada também oferece uma ampla flexibilidade em relação ao design, podendo ser moldada em diferentes formas e tamanhos, o que permite uma ampla

variedade de aplicações em arquitetura. Essa capacidade de adaptação é claramente vista em projetos que enfatizam a beleza da madeira, resultando em ambientes exclusivos e atraentes. Assim, a madeira engenheirada se mostra como uma solução inovadora para os desafios atuais da construção, trazendo vantagens econômicas, ambientais e estéticas. A utilização crescente dessa prática destaca-se como uma resposta sustentável e eficaz às exigências da indústria da construção civil.

Diante do exposto acerca das propriedades e aplicações da madeira na construção civil, surge a necessidade de uma reflexão mais ampla sobre o papel das madeiras brasileiras no atendimento às demandas estruturais. À medida que a madeira se destaca como um material estrutural competitivo e sustentável, torna-se relevante investigar sua capacidade de resposta às exigências não apenas do cenário construtivo nacional, mas também do contexto global. Nesse contexto, as seguintes perguntas emergem como pontos cruciais a serem considerados: Será que as madeiras nativas brasileiras podem efetivamente atender às demandas estruturais da construção civil, tanto no Brasil quanto no mundo? Quais os tipos de tratamento ou tecnologia que podem ser aplicados nas espécies de madeiras brasileiras para garantir sua conformidade com o sistema construtivo mundial? Essas indagações visam explorar a adequação das madeiras brasileiras às exigências contemporâneas da construção, abrindo espaço para uma análise aprofundada sobre possíveis avanços e adaptações necessárias nesse cenário.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Caracterizar as espécies de madeiras brasileiras com potencial para uso estrutural na construção a partir das suas resistências físicas e mecânicas.

1.3.2 Objetivos específicos

Visando alcançar o objetivo geral da pesquisa, alinhou-se os seguintes objetivos específicos:

- Contextualizar a utilização da madeira na construção civil para fins estruturais no Brasil e no mundo;
- Identificar as propriedades físicas, mecânicas, químicas e características da madeira como material de construção;
- Descrever as principais normas utilizadas para a obtenção das propriedades mecânicas das espécies de madeira mundialmente;

- Apresentar os tipos de espécies de madeiras brasileiras com potencial para o setor da construção;
- Comparar as propriedades mecânicas das espécies brasileiras para evidenciar o uso das espécies na construção.

1.4 Estrutura do texto

Esta pesquisa de dissertação está estruturada em oito capítulos, a saber:

No **Capítulo 1** consta a introdução da pesquisa por meio de uma contextualização e justificativa do tema abordado, seguidos pelos objetivos geral e específicos e a estrutura do texto.

No **Capítulo 2** é a primeira parte da revisão bibliográfica, a qual explana sobre o uso da madeira na construção civil, com um breve histórico do uso da madeira estrutural na construção no Brasil e a pesquisa documental com as espécies das madeiras no estado de Pernambuco.

No **Capítulo 3** é a segunda parte da revisão bibliográfica, a qual aborda os métodos para avaliação dos desempenhos da madeira segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 7190-2022: Projetos de Estruturas de Madeira, *American Society for Testing and Materials (ASTM) D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* e *European Committee for Standardization (CEN) Eurocode (EN) 1995-1-1: Design of timber structures*.

No **Capítulo 4** consta a metodologia da pesquisa, a forma da pesquisa, a seleção da amostra e os procedimentos metodológicos utilizados.

No **Capítulo 5** consta a revisão sistemática da literatura (RSL), com a diversidade de comportamento das madeiras de acordo com as regiões climáticas mundial.

No **Capítulo 6** consta a revisão bibliográfica com a diversidade de comportamento mecânico das espécies de madeiras das regiões brasileiras.

No **Capítulo 7** apresenta a análise das principais normas e das pesquisas documentais, entrevistas e comparações entre a RSL, o estudo das espécies em Pernambuco e no Brasil.

No **Capítulo 8** estão apresentadas as principais conclusões dos resultados obtidos, as dificuldades encontradas para a realização da pesquisa e as sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

2 USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diante do crescimento populacional há a necessidade de novas habitações, a utilização da madeira como principal material nas construções surge como uma alternativa que atua diretamente no controle do aquecimento global, pois é um material renovável e de baixo consumo energético (Rödel, 2005).

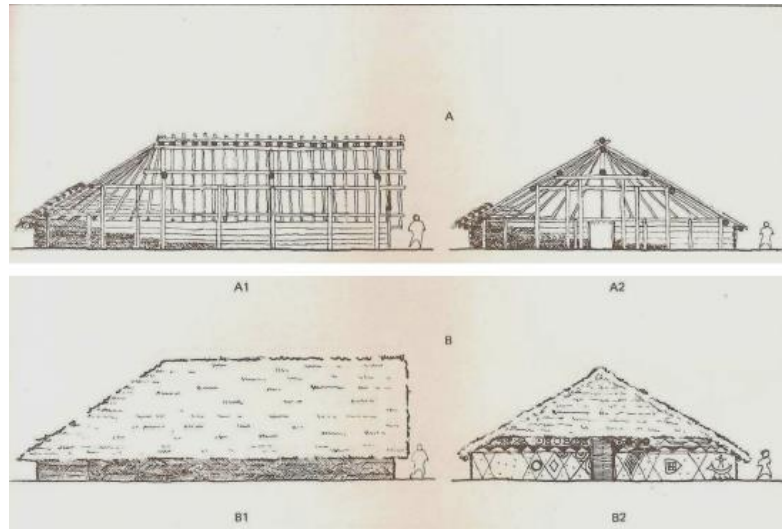
Neste capítulo será abordado o breve histórico do uso da madeira estrutural na construção civil no Brasil e será apresentado as espécies de madeiras nativas do estado de Pernambuco no país, que foram estudadas nas décadas de 50 e 70, no estado pernambucano. Em 1957 foi estudado algumas espécies de madeiras pernambucanas da família *Chrysobalanaceae* e no ano de 1970 foram estudadas 25 espécies de madeiras do Nordeste do Brasil, dessas vinte e cinco espécies 19 são espécies do estado de Pernambuco. Para esta dissertação, é necessário conhecer o uso deste material no país e conhecer quais as espécies existentes no Estado, para que possa ter análise dos desempenhos mecânicos e físicos de cada madeira para que torne maior conhecimento quanto ao seu uso na construção civil.

2.1 Breve histórico do uso da madeira estrutural na construção brasileira

No início do século XX, o Brasil, tinha a maior parte da sua extensão territorial coberta por florestas, tornando a madeira o principal material utilizado nas construções das mais diversas etnias indígenas em todo o território nacional, com uma variedade de tipologias construtivas para usos, inclusive estruturas de grande porte, capazes de abrigar dezenas ou centenas de pessoas (Almeida; Yamashita, 2013).

De acordo com Almeida e Yamashita (2013), a Figura 3, apresenta a habitação indígena conhecida como maloca (casa, aldeia) com um lado do levante e um lado poente, devido à crença que o curso de água corre para o leste. A maloca possui o rio como local de implantação, dividido em três espaços: o rio acima como lugar dos homens, o rio abaixo, das mulheres e um lugar intermediário frequentado tanto por homens como por mulheres. Era executada pelos membros de um ou mais sibs (grupos de descendência) que deveriam ocupá-la. A construção leva em torno de três meses com a utilização de folhas de palmeira e de madeira, com duas portas e o interior da casa dividido por tabiques de folhas de palmeira trançada.

Figura 3 – Maloca (casa aldeia) – cortes e fechadas



Fonte: Almeida e Yamashita (2013)

Com a chegada dos portugueses houve a implantação de um novo sistema construtivo, que não tinham a tradição no uso da madeira. Sua tipologia construtiva era composta por fundação de pedras, alvenaria e telhas cerâmicas, com a madeira sendo utilizada em esquadrias, forros, estrutura de telhado e assoalhos, e posteriormente introduziram o concreto, no início do século XX. Neste período, as construções tinham rigor técnico e qualidade construtiva baixa, empregando a mão de obra escrava, adotado o mesmo sistema construtivo em todas as regiões do país, onde houve a ocupação dos colonos. A única diferença nas habitações do período, eram os materiais utilizados, diferenciando então, as classes sociais. Enquanto, a população de renda inferior, possuíam as residências térreas, com terra empregada nas paredes de adobe e taipa de pilão, necessário a utilização da madeira, os sobrados eram destinados à classe abastada, com materiais mais elaborados como o uso de pedra ou barro e, em casos mais raros, a utilização dos tijolos ou pedra e cal, conforme Figura 4 (Reis Filho, 2006).

Figura 4 – Maloca (casa aldeia) – cortes e fechadas



Fonte: Gomes (2006, p.102)

Ainda, segundo Reis Filhos (2006), na metade do século XIX, houve mudanças socioeconômicas que causaram transformações no modo de construir no Brasil, com o início da implantação das linhas ferroviárias e a importação de serrarias e máquinas a vapor. Sendo assim, possível fabricar componentes construtivos que até então eram importados, aumentar a produtividade e qualidade com a expansão do território. É nesse período que começam a chegar os primeiros imigrantes de origem não portuguesa, que substituíram a mão de obra escrava. Entre esses estrangeiros, havia pessoas que tinham experiência e conhecimento do sistema construtivo dos seus países de origem, formando-se de forma casual, uma mão de obra qualificada.

Para Cesar (1991 *apud* Shigue, 2018), com o setor da construção civil sendo marcado devido à demanda para atender o crescimento populacional, começou a surgir as primeiras construtoras, com o uso de mão de obra imigrante, gerando um aumento ao desenvolvimento econômico do setor possibilitando a industrialização de componentes construtivos e mão de obra imigrante qualificada que desenvolvia grandes obras de infraestrutura entre portos, ferrovias, novas edificações e obras públicas de saneamento. Nesta época, já surgiam casas com tijolos e coberturas de telhas cerâmicas tipo Marselha, materiais construtivos industrializados. Já no século XX, a maioria das construções em São Paulo já eram feitas por esses componentes, substituindo assim as construções em terra, no entanto, as construções com tijolos eram reservadas somente para as classes sociais detentores de grandes heranças e fortunas (Santos, 2008).

E simultaneamente, com a importação dos novos equipamentos vindos do continente europeu, surgiram as primeiras serrarias, dando usos de um novo material, a madeira. Quando serrada tinha melhor acabamento e precisão, permitindo a produção de esquadrias com maior qualidade, confecção de móveis finos, assoalhos com junções de melhor acabamento e uniformidade (Reis Filho, 2006).

O final do século XIX marca o início da ocupação no estado do Paraná pelos imigrantes de diferentes países europeus, tendo como atividade econômica a exploração da erva-mate e com a abertura de estradas foram instaladas as primeiras serrarias no estado, que com a grande abundância de árvores de grande porte como o pinho do Paraná, foram também instaladas empresas que exportavam a maioria desses produtos para os Estados Unidos e Europa. Os

imigrantes também foram os responsáveis pela construção de diversas vilas e cidades que utilizavam madeira como material construtivo (Silva, 2010).

Para Zani (2013), a Figura 5 identifica exemplos de edificações construídas pelos primeiros imigrantes, que foi bastante diversificada, desde o enxaimel trazido pelos alemães e utilizado principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os poloneses construíram através da sobreposição de troncos das árvores dispostos horizontalmente. Com as serrarias, houve a padronização dos elementos construtivos em madeira, permitindo a difusão do material na arquitetura da região Sul, além da mão de obra qualificada e disponibilidade de matéria-prima.

Figura 5 – Edificações de madeiras construídas pelos primeiros imigrantes



Fonte: Zani (2013)

No século XX, com o intenso processo de urbanização das cidades brasileiras, o setor da construção civil continuou em alta, marcando o início de processo de verticalização dos centros urbanos, através do concreto, mas também a introdução de novas tecnologias como os tijolos de seis e oito furos em 1935 usados para a vedação e as lajes mistas compostas por vigotas de concreto e blocos cerâmicos, as louças sanitárias em 1936 e, as telhas de fibrocimento em 1937. Houve também, em 1934, a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) constituindo a base da indústria nacional do aço e em 1940 a implantação da Associação Brasileira de Normas Técnicas. E foi justamente nesse período que houve a regularização das profissões de engenheiro e arquiteto (Cesar, 1991 *apud* Shigue, 2018). Esse é o período marcado ainda pela instauração e consolidação da cultura do concreto no Brasil, atingindo o auge por volta dos anos 1960 com a construção de Brasília, e diferente de outras tecnologias

construtivas como as em madeira, as construções de concreto armado dispensavam a necessidade da mão de obra especializada (Santos, 2008).

Coincidentemente, neste mesmo período na região Sul, no Paraná, ocorre o período ápice das construções e madeira. No final de 1920, visando a exploração da madeira e o aumento com a produção de café na fronteira agrícola, a Companhia de Terras do Norte do Paraná de origem inglesa que anos depois foi vendida a empresários brasileiros e passou a ser chamada de Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná, dava continuidade à colonização da região com a implantação de cidades planejadas, sendo ocupadas por imigrantes da Alemanha, Japão e Itália, mas também de brasileiros oriundos de São Paulo, Minas Gerais e da região Nordeste (Zani, 2013).

Em 1906, o plantio do eucalipto foi introduzido no Brasil diante do esgotamento das reservas florestais no estado de São Paulo. E, em 1930, a exploração da madeira e as serrarias se expandem rapidamente, tendo a implantação de grandes empresas como a *Southern Brazil Lumber and Colonization Company (Lumber Co.)*, que na década de 40 era a maior serraria da América do Sul, explorando os estados do Paraná e Santa Catarina. Eventualmente, já tinha a preocupação com o desmatamento desenfreado e a eventual escassez das áreas florestais, assim o primeiro Código Florestal foi aprovado em 1934, que estabelece limites para a utilização dos recursos florestais e prever a sua reposição. Mas somente em 1940 que iniciou o processo de plantio para fins comerciais no Paraná, em 1951, foi implantando o Código de Obras que proibia a construção de novas edificações em madeiras em determinada região da área central e na década de 60 foi implantando o segundo Código Florestal, devida a exploração insustentável e mesmo assim o segundo código não evitou a crise que concretizou na década seguinte (Silva, 2010). De maneira geral, pode-se dizer que:

Neste cenário de esgotamento dos recursos florestais, onde a matéria-prima vinha sendo buscada cada vez mais longe, ocorre ainda a partir da década de 1970 o início do período de decadência das construções em madeira. As construções desse período já apresentam simplificação volumétrica, ausência de elementos decorativos e emprego de novos materiais construtivos como telhas de fibrocimento e esquadrias metálicas, o que configura uma completa descaracterização da arquitetura e madeira produzida no período anterior. Além da elevação do custo da matéria-prima, outro fator relevante na decadência das construções em madeira foi a falta de mão de obra. Inicialmente abundante com a chegada dos imigrantes ao Brasil, o ofício da carpintaria que tradicionalmente era passado entre gerações da mesma família foi progressivamente descontinuado, tornando-se escasso. Mesmo no período de auge das construções em madeira não houve a implantação de escolas e

centro de capacitação, principalmente a nível técnico para a atuação no beneficiamento e industrialização desta matéria-prima (Shigue, 2018, p. 16).

Ainda, ao longo do século XX foi desenvolvida tecnologia construtiva industrializada em madeiras significativas, como o sistema *Hauff*, a madeira lamelada colada (MLC) e o *wood frame*. O sistema *Hauff* foi desenvolvido pelo engenheiro austríaco Erwin Hauff que quando chegou ao Brasil passou a atuar no desenvolvimento e construção de estruturas treliçadas em madeira com mão de obra qualificada, que permitia a construção de vãos maiores do que eram feitos na época, como o *hangar* da antiga empresa Varig no aeroporto de Congonhas, em São Paulo. Erwin Hauff teve participação na elaboração da ABNT Normas de Procedimento (NB) 11/1951: Projetos de Estruturas de Madeira, a primeira norma sobre estruturas de madeira no país, que em 1997 foi substituída pela atual norma ABNT NBR 7190. O sistema MLC que ficou conhecido como o sistema *Hetzer* que também demonstrava viabilidade de construção de grandes vãos, foi o responsável pela construção de grandes estruturas de madeiras no Sul do país (CESAR, 1991 *apud* SHIGUE, 2018). Para Espíndola (2017), não há muitos registros sobre a utilização do sistema construtivo *wood frame*, apenas que algumas empresas construtoras no país utilizaram o sistema entre a década de 80 e o ano de 2000.

Shigue (2018, p. 24 e 66), afirma que o uso da madeira na construção civil em busca de aumento, têm iniciativas nos âmbitos tecnológico, econômico e político, com o desenvolvimento de tecnologias e através de eventos, publicações e pesquisas que promovem o conhecimento das possibilidades de produção e uso do material, influenciando o Brasil que se baseia com o que é feito no exterior.

Mesmo diante dos desafios referentes às madeiras oriundas das florestas nativas brasileiras, desde a comercialização até a imensa variedade de espécies com estimativas de cerca de 12 mil espécies de árvore somente na floresta Amazônica e 4 mil espécies que ainda precisam ser descritas em detalhes, mas que no mercado brasileiro são conhecidas uma quantidade insignificante de espécies, assim como há poucas empresas do segmento no país, conforme a Figura 6, que é possível observar a localização das sedes das empresas ou regiões onde há concentração das empresas atuantes (Shigue, 2018, p. 66 e 87).

Figura 6 – Localização das empresas que atuam com madeira na construção civil no Brasil



Fonte: Shigue (2018, p. 124)

É possível observar que a região do estado de São Paulo é onde mais possui a concentração de empresas, e os demais estados que possuem empresas no segmento são Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Amazonas e o Distrito Federal. E a região Nordeste, é a única região que não possui empresas do setor da construção civil com a utilização das madeiras como principal material.

Para a utilização da madeira é necessário que o material possua certificação que segundo Ferrari e Casagrande Junior (2010), as certificações existentes no Brasil para a legalidade e controle para a inserção no mercado e que apresentam a segurança que a produção é adequada e houve extração de forma sustentável são o programa brasileiro de Certificação Florestal (CERFLOR) ou *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC) que foi desenvolvido que Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial com estímulo principal sensibilizar as instituições corporativas do setor florestar sobre a importância da certificação e o *Forest Stewardship Council* ou Conselho de Manejo Florestal (FSC) que atuam no desenvolvimento sustentável e manejo sustentável das florestas brasileiras que incorpora os grupos ambientais, econômicos e sociais e tem como áreas certificadas no Brasil: o manejo comunitário, concessões públicas, setor empresarial da Amazônia e plantações florestais em todo o país (SFB, 2019; FSC, 2019).

Há também o programa Sistema de Implementação e Verificação Modular (SIM) criado pela *World Wildlife Fund* ou Fundo Mundial da Natureza (WWF) Brasil que orienta as empresas sobre a origem das madeiras que utilizam e para o transporte que devem possuir o Documento

de Origem Florestal (DOF) emitido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) ou documento equivalente emitido pelo Órgão Estadual de Meio Ambiente (OEMA) para obter a certificação florestal FSC (BRASIL, 2018; Ferrari; Casagrande Junior, 2010).

2.2 Espécies de madeiras em Pernambuco

De acordo com a entrevista informal com especialista na área concedida à equipe de pesquisadores desta dissertação, estima-se que em Pernambuco há mais de 40 anos que não há estudos sobre as propriedades das madeiras nativas do estado e não há grupos de estudos nas Universidades pernambucanas para tal tema. No entanto, como uma das referências no assunto, o país tem no campus de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), o laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM) para a realização de ensaios laboratoriais e no campus da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf).

Em 1938, no Nordeste, o prof. Vasconcellos Sobrinho em colaboração com Silva Fernandes, iniciou o estudo das madeiras pernambucanas que foram interrompidos e retomados em 1954 pelo Dr. Dárdano Lima que contou com a colaboração de Sérgio Tavares. Os professores Aurino Duarte, Amaro do Rego Pereira e José Maria Cabras de Vasconcelos iniciaram na Escola de Engenharia de Pernambuco, o estudo sobre as madeiras pernambucanas de construção e aplicáveis a moveis (Tavares, 1957).

Segundo Pereira *et al.* (1970), Brotero em 1956 apresentou estudos de ensaios físicos e mecânicos de dezenas de madeira do país dando continuidade aos estudos retomados em 1927 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (I.P.T), que foram iniciados em 1905 pelo engenheiro Pujol Junior.

No ano de 1957, houve um estudo sobre algumas espécies das madeiras no estado, realizada pelo engenheiro agrônomo Sergio Tavares com o título de Algumas Madeiras Pernambucanas da Família *Chrysobalanaceae* publicado pela artes-gráficas e escola industrial Agamenon Magalhães na época e no ano de 1970 houve outro estudo realizado por Amaro José do Rêgo Pereira, J. M. Cabral de Vasconcellos, S. Tavares e E. J. de Souza Tavares com o título Caracteres Tecnológicos de 25 Espécies de Madeiras do Nordeste do Brasil publicado pela separata do boletim de Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) com o

CDU 674.03.004.12(812/813), conforme os Anexos A¹ e B¹, respectivamente, que foram digitalizados em partes e adaptados para facilitar a leitura.

Conforme o Anexo A Tavares (1957) realizou a identificação taxonômica por comparação de material botânico com excisas do Herbário do Instituto de Pesquisas Agronômicas, seguindo os métodos usuais na técnica de anatomia de madeira das cinco espécies da família *Chrysobalanaceae* do estado de Pernambuco, produtoras de matéria prima para diversas indústrias. O Quadro 1, apresenta as espécies de madeiras do estado de Pernambuco no Brasil estudadas no ano de 1957.

Quadro 1 – Espécies de madeiras Pernambucanas da família *Chrysobalanaceae*

| Nome popular | Classificação botânica |
|------------------|---------------------------------|
| Guajeru | <i>Chrysobalanus icaco</i> L. |
| Oiti coró | <i>Couepia rufa</i> Ducke |
| Azeitona do mato | <i>Hirtella americana</i> L. |
| Oiticica | <i>Licania rígida</i> Benth |
| Oiti da praia | <i>Moquilea tomentosa</i> Benth |

Fonte: adaptado de Tavares (1957)²

No estudo das madeiras Pernambucanas da família *Chrysobalanaceae*, que consistiu na descrição dos principais aspectos da anatomia macro e microscópica das madeiras, tiveram as seguintes informações obtidas no estudo:

- *Chrysobalanus icaco* L. e *Hirtella americana* L. geralmente eram arbustos. A primeira tinha porte arbóreo e cerca de 8 centímetros (cm) de diâmetro.
- As espécies *Couepia rufa* Ducke, *Licania rígida* Benth e *Moquilea tomentosa* Benth eram de porte médio atingindo 20 cm a 60 cm de diâmetro.
- Características anatômicas como descrição, vasos com número e diâmetro dos poros, fibras com comprimento, diâmetro das fibras e diâmetro do lúmen, raios lenhosos com números, altura e largura dos raios e a parênquima.
- A semelhança entre as espécies, dificultou a identificação pelos caracteres anatômicos, mas através da macro fotografias foi observado uma individualidade genérica que permitiu a identificação sem recorrer aos caracteres microscópicos.

Conforme o Anexo B Pereira *et al.* (1970) realizaram o estudo para obter os caracteres físicos e mecânicos, bem como a estrutura anatômico macro e microscópica das madeiras do Nordeste,

¹ Disponibilizados pelo prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira em versão impressa.

² Adaptado e digitalizado no Anexo A deste trabalho.

para permitir o uso racional dessas madeiras, depois que os autores notaram que as espécies nordestinas estudadas por Brotero em 1956 eram amostras coletadas em Estados do Sul, do Centro Oeste, do Leste ou da Amazônia, conseqüentemente em condições ecológicas diferentes das matas do Nordeste do Brasil.

O Quadro 2, apresenta as 25 espécies de madeiras do Nordeste do Brasil e seus respectivos estados de procedência, que foram escolhidas em excursões realizadas com essa finalidade. E para a realização dos ensaios físicos e mecânicos, seguiu-se a norma recomendada pela ABNT Norma Brasileira (NB) 26/1953, utilizando um número maior de corpos de prova do que o recomendado.

Quadro 2 – Vinte e cinco espécies de madeiras do Nordeste do Brasil

| Nome popular | Classificação botânica | Família | Estado |
|-----------------------------|---|-------------------------|------------|
| Amarelo Gengibre | <i>Plathymenia foliolosa</i> Benth. | <i>Mimosaccae</i> | PE |
| Bacurí | <i>Platonia insignis</i> Mart. | <i>Guttiferae</i> | AM, PA |
| Camaçari | <i>Caraipa densifolia</i> Mart. | <i>Guttiferae</i> | PE, AL |
| Carne de vaca / Rins de boi | <i>Roupata cearenses</i> Sleum. | <i>Proteaceae</i> | AL |
| Cega machado | <i>Licania kunthiana</i> Hook, f. | <i>Chrysobalanaceae</i> | PE |
| Embirindiba | <i>Terminalia</i> sp. | <i>Combretaceae</i> | PE |
| Gararoba / Araroba | <i>Aspidosperma timae</i> Woodson | <i>Apocynaceae</i> | PE, AL |
| Ingá porco | <i>Sclerolobium densiflorum</i> Benth. | <i>Caesalpiniaceae</i> | PE |
| Jatobá | <i>Hymenaea</i> sp. | <i>Caesalpiniaceae</i> | PE, AL |
| Jitaí preto | <i>Cassia apoicouita</i> Aubl. | <i>Caesalpiniaceae</i> | AL |
| Laranjinha | <i>Hortia arborea</i> Engler. | <i>Rutaceae</i> | PE |
| Louro babão | <i>Ocotea</i> sp. | <i>Lauraceae</i> | PE |
| Maçaranduba | <i>Manilkara salzmanii</i> (Al. DC) Lam. Vel aff | <i>Sapotaceae</i> | PE |
| Mamajuda | <i>Sloanea obtusifolia</i> (Moric.) Schum. | <i>Elaeocarpaceae</i> | PE, AL |
| Muricí | <i>Byrsonima sericea</i> DC. | <i>Malpighiaceae</i> | PE, AL, BA |
| Paparauba amarela | <i>Simaba paraenses</i> Ducke | <i>Simarubaceae</i> | MA |
| Pau d'arco | <i>Tabebuia</i> sp. | <i>Bignoniaceae</i> | PE |
| Pau santo | <i>Zollernia paraenses</i> Hub. | <i>Caesalpiniaceae</i> | PE, AL |
| Pitiá de lagoa | <i>Symphonia globulifera</i> L. Fil. | <i>Guttiferae</i> | PE |
| Praíba | <i>Simaruba amara</i> Aubl. | <i>Simarubaceae</i> | PE, AL |
| Sapucaia | <i>Lecythis pisonis</i> Cambess | <i>Lecythidaceae</i> | BA |
| Sucupira mirim | <i>Bowdichia virgilioides</i> H.B.K. | <i>Papilionaceae</i> | PE |
| Tauarí | <i>Eschweilera coriácea</i> Mart. Vel. aff. | <i>Lecythidaceae</i> | MA |
| Urucuba | <i>Virola gardneri</i> (DC) Warb. | <i>Myristicaceae</i> | PE, AL |
| Visgueiro | <i>Parkia pendula</i> Benth | <i>Mimosaceae</i> | PE |

Fonte: adaptado de Pereira *et al.* (1970)³

³ Adaptado e digitalizado no Anexo B deste trabalho.

É possível perceber que entre as 25 espécies estudadas por Pereira *et al.* (1970), 19 ou 76% das 25 espécies são nativas do estado de Pernambuco, todas as espécies tiveram as seguintes informações obtidas no estudo:

- A discriminação com informações sobre a frequência e diâmetro dos poros, espessura das paredes e comprimento dos elementos vasculares, altura e largura dos raios, frequência dos raios, comprimento das fibras, maior e máxima dimensão transversal das fibras e do lúmen nas direções radiais e tangencial e série de parênquima.
- Características físicas como massa específica aparente, retratibilidade contração linear axial, radial e tangencial, contração volumétrica, coeficiente de retratibilidade volumétrica, ponto de saturação ao ar.
- Características mecânicas como compressão axial limite de resistência, coeficiente de influência, coeficiente de qualidade, flexão estática, índice de rigidez, flexão dinâmica, coeficiente de resiliência, tração normal às fibras, dureza Janka, cisalhamento, fendilhamento e módulo de elasticidade à compressão e flexão.

Ao analisar as informações dos Quadros 1 e 2, observa-se que no estudo de Pereira *et al.* (1970), somente a madeira com nome popular cega machado e classificação botânica *Licania kunthiana* Hook, f., pertence à família das espécies de madeiras do estudo de Sérgio Tavares (1957). E no Quadro 3, destacam-se as espécies com os maiores e menores resultados para o peso específico aparente – ρ_{ap} (g/cm³), resistência à compressão – f_{c0} (kg/cm²) e resistência à flexão estática – $f_{m,k}$ ou MOR (kg/cm²) do estudo realizado.

Quadro 3 – Maiores e menores resultados das espécies do estudo das vinte e cinco espécies de madeiras do Nordeste do Brasil

| Espécies - Nome popular | Maiores resultados | | | Menores resultados | | | Espécies - Nome popular |
|-------------------------|--------------------|----------|------------------|--------------------|----------|------------------|-------------------------|
| | ρ_{ap} | f_{c0} | $f_{m,k}$ ou MOR | ρ_{ap} | f_{c0} | $f_{m,k}$ ou MOR | |
| Pau Santo | 1,26 | 865 | 1979 | 0,45 | 293 | 669 | Praíba |
| Jatobá | 1,08 | 770 | 1690 | 0,59 | 430 | 836 | Amarelo Gengibre |
| Pau d'arco | 1,07 | 809 | 2099 | 0,59 | 409 | 853 | Visgueiro |
| Laranjinha | 1,06 | 608 | 1535 | 0,61 | 451 | 886 | Ingá – Porco |
| Carne de Vaca | 1,03 | 690 | 1439 | 0,61 | 450 | 987 | Louro Babão |
| Sucupira mirim | 1,02 | 700 | 1274 | 0,64 | 360 | 751 | Paparauba amarela |
| Sapucaia | 1,01 | 706 | 1604 | 0,68 | 392 | 928 | Urucuba |
| Gararoba | 0,94 | 770 | 1569 | 0,77 | 392 | 896 | Murici |
| Cega Machado | 1,01 | 660 | 1634 | - | - | - | - |
| Maçaranduba | 0,95 | 669 | 1523 | - | - | - | - |

Fonte: adaptado de Pereira *et al.* (1970)⁴

No Anexo B, é possível observar os resultados de todas as espécies estudadas por Pereira *et al.* (1970). As espécies com maior número de poros, foram as espécies *Roupata cearenses Sleum.*, *Cassia apoicouita Aubl.*, *Ocotea sp.*, *Sloanea obtusifolia (Moric.) Schum.* e *Byrsonima sericea DC.*

Para Tavares (1957), conhecer as espécies é um fator decisivo no progresso das indústrias e a madeira é a mais importante matéria prima vegetal para as diversas indústrias que florescem nos países civilizados do mundo.

⁴Adaptado e digitalizado no Anexo B deste trabalho.

3 PRINCIPAIS NORMAS MUNDIAIS PARA AVALIAÇÃO DOS DESEMPENHOS DAS MADEIRAS

Diante do crescimento da utilização da madeira na construção civil e da utilização das normas técnicas Brasileira (NBR 7190), Europeia (EN 1995-1-1) e Americana (ASTM D 143) para a realização de ensaios de características físicas e mecânicas no Brasil é apresentado as diferenças significativas entre as normas. Assim como é apresentado as mudanças que houve entre a norma brasileira de madeira NBR 7190 dos anos 1997 e 2022.

3.1 Norma Brasileira – NBR 7190

Como mencionado no primeiro capítulo, a primeira norma sobre estruturas de madeira foi a NB 11/1951, que em 1997 foi substituída pela norma ABNT NBR 7190 e em 2022 foi atualizada. A norma brasileira estabelece diretrizes fundamentais para o projeto, dimensionamento e construção de elementos e sistemas feitos com madeira, assim como procedimentos para ensaios de características mecânicas das espécies. Ao abordar os princípios estruturais, a NBR 7190 trata de diversos aspectos, como a resistência da madeira e a durabilidade dos elementos construtivos. Essa norma adota uma abordagem ampla, considerando as propriedades mecânicas, físicas e químicas do material. Com as novas modificações, a norma que antes não tinha divisões, passou a ter sete partes, estabelecidas a seguir:

- Parte 01 – Critérios de dimensionamento: refere-se aos requisitos gerais para o projeto e execução de estruturas de madeira, incluindo estruturas planas de cisalhamento, paralelas ou não paralelas e os seus tipos de ligações.
- Parte 02 – Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira: estabelece critérios de classificação para madeira de coníferas e folhosas de plantações.
- Parte 03 – Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas: refere-se a todos os métodos de testes para amostras de madeira sem falhas.
- Parte 04 – Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais: estabelece todos os métodos de testes e amostragem para caracterização de material estrutural.

- Parte 05 – Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos: refere-se a todos os métodos de testes para determinar a resistência e rigidez de conexões feitas com fixadores mecânicos (pinos de metal, buchas, parafusos, pregos, fixadores e anéis de metal) usados em estruturas de madeira.
- Parte 06 – Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural: estabelece todos os métodos de testes para delaminação, cisalhamento na linha adesiva, tensão em junções serrilhadas e medições de propagação adesiva.
- Parte 07 – Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural: refere-se a todos os métodos de testes de painéis de madeira laminados cruzados para determinar as propriedades de resistência e rigidez para cargas paralelas e perpendiculares ao plano do painel, resistência à delaminação e resistência ao cisalhamento da linha adesiva.

Uma das principais mudanças quanto aos critérios de dimensionamento é o coeficiente de modificação (k_{mod}) que passa a ser obtido através do produto de dois coeficientes de modificação parciais (k_{mod1} e k_{mod2}), desta forma o k_{mod3} foi extinto, conforme a Equação 1.

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \quad (1)$$

Fonte: ABNT (2022.a)

Os valores do k_{mod1} não foram alterados, mas para a sua determinação foi adicionado uma nova coluna com informações relacionadas às ações variáveis principais de combinação e novos tipos de madeiras como a madeira lamelada colada (MLC) e a madeira lamelada colada cruzada (MLCC), conforme a Quadro 4 que apresenta as tabelas de valores de k_{mod1} das NBR 7190/1997 e NBR 7190/2022, respectivamente. E para a determinação do k_{mod2} , a nova atualização da norma passa a sugerir valores específicos para cada classe de umidade.

Quadro 4 – Valores de k_{mod1} da NBR 7190/1997 e NBR 7190/2022

| NBR 7190/1997 | | | NBR 7190/2022 | | | | |
|------------------------|--|--------------------|------------------------|---------------------------------------|---|---|--------------------|
| Classe de Carregamento | Tipos de Madeira | | Classe de Carregamento | Ação variável principal da combinação | | Tipos de madeira | |
| | Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada | Madeira recomposta | | Duração acumulada | Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica | Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL) | Madeira recomposta |
| Permanente | 0,60 | 0,30 | Permanente | Permanente | Mais de dez anos | 0,60 | 0,30 |
| Longa duração | 0,70 | 0,45 | Longa duração | Longa duração | Seis meses a dez anos | 0,70 | 0,45 |
| Média duração | 0,80 | 0,65 | Média duração | Média duração | Uma semana a seis meses | 0,80 | 0,65 |
| Curta duração | 0,90 | 0,90 | Curta duração | Curta duração | Menos de uma semana | 0,90 | 0,90 |
| Instantânea | 1,10 | 0,10 | Instantânea | Instantânea | Muito curta | 1,10 | 1,10 |

Fonte: adaptado a partir de ABNT (1997); ABNT (2022a)

Na NBR 7190/1997, as madeiras eram divididas em coníferas e dicotiledônea. Com a nova atualização, a expressão dicotiledônea passa a ser espécies folhosas, mas mantém a letra D para denotar as classes das espécies de madeiras folhosas, assim como há também uma quantidade maior de classes de resistências das madeiras, conforme a Quadro 5.

Quadro 5 – Classes de resistências em ensaios de peças estruturais.

| Símbolo | | Coníferas | | | | | | | | | | | | Folhosas | | | | | | | |
|--|----------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | D18 | D24 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 |
| Propriedades de resistência - MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flexão | fb,k | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 18 | 24 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Tração paralela | ft,0,k | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 11 | 14 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Tração perpendicular | ft,90,k | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Compressão paralela | fc,0,k | 16 | 16 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 | 18 | 21 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| Compressão perpendicular | fc,90,k | 2 | 2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 7,5 | 7,8 | 8 | 8,1 | 8,3 | 9,3 | 11 | 13,5 |
| Cisalhamento | fv,k | 3 | 3 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3,4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4,5 | 5 |
| Propriedades de rigidez - GPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Módulo de elasticidade a 0° médio | E0,m | 7 | 8 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 9,5 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 17 | 20 |
| Módulo de elasticidade a 0° característico | E0,05 | 4,7 | 5,4 | 6 | 6,4 | 6,7 | 7,4 | 7,7 | 8 | 8,7 | 9,4 | 10 | 11 | 8 | 8,5 | 9,2 | 10 | 11 | 12 | 14 | 16,8 |
| Módulo de elasticidade a 90° médio | E90,m | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,33 |
| Módulo de elasticidade transversal médio | Gm | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,25 |
| Densidade - kg/m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Densidade característica | ρk | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 475 | 485 | 530 | 540 | 560 | 620 | 700 | 900 |
| Densidade média | ρm | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 | 570 | 580 | 640 | 650 | 660 | 750 | 840 | 1080 |
| Nota 1: Valores obtidos conforme a ABNT NBR 7190-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nota 2: Valores referentes ao teor de umidade igual a 12% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: adaptado a ABNT (2022a)

Nas propriedades de rigidez, através do produto entre k_{mod1} , k_{mod2} e o valor médio do módulo de deformação longitudinal na compressão paralela às fibras, a nova atualização estima valor efetivo do módulo de deformação longitudinal. Já o módulo de deformação transversal pode ser estimado pelo valor médio do módulo de deformação longitudinal na compressão paralela às fibras dividido por 16 e não por 20.

Recomenda-se usar um coeficiente de 1,4 ao verificar o estado limite último de tração e manter o coeficiente 1,8 para verificar os estados limites subsequentes à tensão de cisalhamento.

A parte da 2 NBR 7190 apresenta as diretrizes da classificação visual e mecânica das espécies de florestas plantadas e as partes 3 e 4 (NBR 7190-3 e NBR 7190-4) possuem as diretrizes e informações sobre as dimensões das amostras e ensaios em espécies nativas para projetos de estruturas.

É importante destacar que a NBR 7190-3 é autoexplicativa, ou seja, apresenta todos os procedimentos de ensaio das propriedades física e mecânica. No seu item 4.6 apresenta a equação e as diretrizes para calcular os valores característicos das propriedades da madeira. A equação da norma é a Equação 2.

$$X_{wk} = \left(2 \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - X_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (2)$$

Fonte: ABNT (2022.c)

Para obter o valor característico de acordo com a ABNT (2022c), é necessário que os resultados de todas as amostras devem ser organizados em ordem crescente, ou seja, $X_1 < X_2 < \dots < X_n$. Após isso, o maior resultado deve ser desprezado se o número de corpos de prova (n) for ímpar, assim não X_{wk} não pode ser inferior a X_1 e nem a 0,7 do valor médio da amostra completa (X_m) e nem superior a X_m .

Após a obtenção dos valores característicos das propriedades mecânicas da espécie em estudo, é possível classificá-las de acordo com a classe de resistência do item 5.7 da NBR 7190-1, conforme o Quadro 6 que apresenta os valores de resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0, k}$), resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0, k}$), valor médio do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras ($E_{c0, med}$) e densidade a 12% (ρ_{12}).

Quadro 6 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaio de corpos de provas isentos de defeitos

| Classes | $f_{c0,k}$ (MPa) | $f_{v0,k}$ (MPa) | $E_{c0,med}$ (MPa) | ρ_{12} (kg/m ³) |
|------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------------------|
| D20 | 20 | 4 | 10.000 | 500 |
| D30 | 30 | 5 | 12.000 | 625 |
| D40 | 40 | 6 | 14.500 | 750 |
| D50 | 50 | 7 | 16.500 | 850 |
| D60 | 60 | 8 | 19.500 | 1.000 |

Nota 1 Os valores deste Quadro foram obtidos com a ABNT NBR 7190-3.
 Nota 2 Valores referentes ao teor de umidade igual a 12%.
 Nota 3 Os valores das classes de resistência para espécies nativas estão disponíveis na ABNT NBR 7190-3:2022, Tabela A.1.

Fonte: Adaptado a partir de ABNT (2022a)

Para a classificação da resistência, é necessário entender que as espécies que possuem $f_{c0,k} < 20$ MPa não são adequadas para uso estrutural. Logo para a classificação da resistência das espécies devem atender o Quadro 5, ou seja, a $f_{c0,k}$ deve atender os seguintes critérios para cada classe:

Classe D20: $f_{c0,k} \geq 20 < 30$ MPa; $f_{v0,k} \geq 4 < 5$ MPa; $E_{c0,med} \geq 10.000 < 12.000$ MPa; $\rho_{12} \geq 500 < 625$ kg/m³.

Classe D30: $f_{c0,k} \geq 30 < 40$ MPa; $f_{v0,k} \geq 5 < 6$ MPa; $E_{c0,med} \geq 12.000 < 14.500$ MPa; $\rho_{12} \geq 625 < 750$ kg/m³.

Classe D40: $f_{c0,k} \geq 40 < 50$ MPa; $f_{v0,k} \geq 6 < 7$ MPa; $E_{c0,med} \geq 14.500 < 16.500$ MPa; $\rho_{12} \geq 750 < 850$ kg/m³.

Classe D50: $f_{c0,k} \geq 50 < 60$ MPa; $f_{v0,k} \geq 7 < 8$ MPa; $E_{c0,med} \geq 16.500 < 19.500$ MPa; $\rho_{12} \geq 850 < 1.000$ kg/m³.

Classe D60: $f_{c0,k} \geq 60$ MPa; $f_{v0,k} \geq 8$ MPa; $E_{c0,med} \geq 19.500$ MPa; $\rho_{12} \geq 1.000$ kg/m³.

Assim, os novos estudos acerca das espécies brasileiras, visando seu potencial adoção como material estrutural na construção civil, requer uma abordagem abrangente, para o pleno conhecimento de todas as propriedades mecânicas das novas espécies. Essa compreensão completa deve incluir a caracterização abrangente da resistência, assegurada por meio da realização de, no mínimo, 30 corpos de prova.

Em relação a estruturas de madeiras em situação de incêndio, a NBR 7190:2022 estabelece critérios para a elaboração do projeto e a execução das estruturas, destacando a importância de considerar o material sob altas temperaturas. Quanto a resistência ao fogo, destaca a necessidade de que as peças estruturais devem possuir proteção contra o calor para garantir a sua integridade estrutural por um determinado tempo.

Dentre os critérios estabelecidos na NBR 7190:2022 para a resistência ao fogo, destacam-se os cálculos de capacidade resistente em situação de incêndio, considerando a redução da seção

transversal devido à carbonização da madeira e a recomendação dos tratamentos e revestimentos retardantes de chamas. O núcleo da seção se mantém fria a apenas uma pequena distancia da zona queimada, conservando partes das propriedades físicas e mecânicas das madeiras, colaborando para a capacidade resistente mesmo após ter sido exposta a elevadas temperaturas.

Desta forma, a norma assegura que as construções em madeira atendam aos requisitos de segurança contra incêndios e minimize danos estrutural, tornando fundamental avaliar a estrutural em situações de incêndios, a fim de evitar o colapso da estrutura e prejudique a fuga dos usuários da edificação, a aproximação e o ingresso de pessoas e equipamentos para as ações de combate ao fogo.

3.2 Norma Europeia – EN 1995-1-1

Segundo CEN (2004), a norma EN 1995-1-1 é fundamental para projeto de estruturas de madeira, apresentando práticas seguras e eficazes na engenharia de materiais de madeira e princípios fundamentais para garantir segurança e desempenho em diversas aplicações. A norma abrange desde a seleção de materiais até a análise estrutural, consolidando as melhores práticas para profissionais da área.

O Eurocode adota uma abordagem holística, com fatores como resistência, durabilidade e estabilidade, refletindo a complexidade do comportamento da madeira em diferentes contextos. Quando várias variáveis são consideradas, a norma ajuda a integrar de forma eficaz conhecimentos de diversas disciplinas no processo de modelagem e análise estrutural (CEN 2004).

A norma é principalmente prática, fornecendo orientações claras para profissionais que trabalham com projetos de estruturas de madeira mundial. Sendo útil em uma ampla gama de estruturas, desde casas até pontes, sua importância é evidente em diferentes situações e tamanhos (CEN 2004).

3.3 Norma Americana – ASTM D143

Segundo ASTM (2014), a norma ASTM D143 estabelece métodos rigorosos para a avaliação das propriedades mecânicas de pequenas amostras de madeira, excluindo quaisquer defeitos como nós e irregularidades. Ao analisar características mecânicas como resistência à ruptura, elasticidade, tração e compressão paralela e perpendicular às fibras, bem como o cisalhamento

paralelo às fibras, a norma fornece uma base completa para avaliar o desempenho estrutural da madeira.

Os métodos da norma não só oferecem uma abordagem científica, como também estabelecem um alto padrão de rigor na análise das propriedades mecânicas da madeira, ou seja, fornece uma base confiável para avaliar as características mecânicas, as quais são essenciais para assegurar a confiabilidade dos resultados, a qualidade e segurança em uma variedade de aplicações, desde a construção civil até a fabricação de móveis (ASTM, 2014).

Desta forma, ainda de acordo com ASTM (2014), a norma se destaca como um referencial essencial na avaliação das propriedades mecânicas de pequenas amostras de madeira, estabelecendo diretrizes rigorosas para assegurar a precisão e a confiabilidade dos resultados. Focando em amostras sem imperfeições, a norma procura esclarecer aspectos cruciais da resistência e elasticidade do material.

4 ESTRUTURA METODOLÓGICA

A pesquisa consiste numa pesquisa bibliográfica e sistemática de natureza exploratória e descritiva. Os instrumentos de coleta de dados a serem adotados como fonte de evidências são: revisão bibliográfica, revisão sistemática da literatura (RSL), entrevista e pesquisa documental que de acordo com Gil (2017) tem como vantagem a fonte de dados de pesquisas históricas. É importante destacar, que o estudo desenvolvido nesta pesquisa não deixará de considerar o contexto internacional. E para o desenvolvimento desta pesquisa e consecução dos objetivos propostos foram estabelecidas as seis etapas listadas a seguir:

➤ Etapa 01 – Revisão bibliográfica

Na revisão bibliográfica é preciso estudar sobre a história do uso da madeira estrutural na construção civil no Brasil, os tipos de espécies existentes no estado de Pernambuco no Brasil e a norma de desempenho técnico NBR 7190/2022 – Projetos de Estruturas de Madeira, bem como as principais normas mundiais de desempenho técnico das madeiras.

➤ Etapa 02 – Pesquisa documental

Foi realizada através de documentos sobre estudos realizados em espécies de madeiras nativas do estado de Pernambuco. Foram utilizados dois estudos realizados nos anos de 1957 e 1970. E será realizado novas pesquisas para complementar sobre o tema proposto.

➤ Etapa 03 – Análise das principais normas mundiais de desempenho técnico das madeiras

Serão analisadas as principais normas de desempenho técnico das madeiras coletadas na RSL, a fim de obter recomendações técnicas em comum para as propriedades mecânicas das madeiras.

➤ Etapa 04 – RSL

A RSL será utilizada com finalidade aplicada, com objetivos exploratórios e explicativos e abordagem quantitativa, para conhecer as características e propriedades físicas e mecânicas do material em estudo para fins construtivos em regiões de diferentes climas, considerando espécies de madeiras no Brasil e no mundo, limitada a estudos publicados entre 2012 e 2022, aos idiomas português, inglês e espanhol e restringindo a madeiras que não possuem nenhum tipo de tratamento, que será realizada em 3 etapas, a saber, planejamento, execução e sumarização.

A RSL foi desenvolvida na ferramenta *Rayyan*, fornecida na *web* gratuita desenvolvida pelo *Qatar Computing Research Institute* (QCRI). Na etapa do planejamento é elaborado o protocolo de investigação de acordo com estratégia PICOC (População, Interesse, Controle, Resultado e Contexto), um documento que orienta a RSL e contém a pergunta principal, palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão, seleção das bases de dados e os critérios de qualidade. Foi definido também as *strings* de busca compostas pelas palavras-chave e utilizados operadores booleanos (*and* e *not*) nas buscas das bases de dados selecionadas.

A revisão constará na busca no portal de periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e nas bases *Compendex*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. Dentre os termos de busca destacam-se: *structural timber* - estruturas de madeira, *timber species* - espécies de madeiras, *mechanical properties* - propriedades mecânicas, *sustainable construction* - construção sustentável, *sustainability* - sustentabilidade e *civil construction* - construção civil.

➤ Etapa 05 – Coleta e organização dos dados

Para a coleta de dados da RSL será utilizado protocolo pré-definido de seleção de artigos e documentos, visando a adesão a guias internacionais de transparência, com o uso de checklists do tipo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) e os critérios adotados por Donato e Donato (2019). De acordo com os autores, a realização da revisão sistemática passa por seis fases: 1) Definir a pergunta; 2) Produzir o protocolo de investigação; 3) Busca na base de dados; 4) revisar e selecionar os conteúdos; 5) avaliar a qualidade dos estudos; 6) apresentar os resultados. Este trabalho foi elaborado seguindo as seis etapas. Como critérios de qualidade para a coleta da pesquisa foram adotados: Trabalho totalmente alinhado à questão e aos objetivos da RSL, Trabalho parcialmente alinhado à questão e aos objetivos da RSL e Metodologia adequada.

A organização dos dados da pesquisa será por meio de quadros em anexos, com informações sobre cada espécie estudada, as normas utilizadas e seus respectivos países e resultados dos ensaios efetuados.

➤ Etapa 06 – Validação e análise estatística dos dados

Serão analisados os dados coletados, com o uso do *software Microsoft Excel* ou similar, para a análise comparativas das propriedades mecânicas das madeiras de mesmas espécies coletadas da

revisão sistemática da literatura, da revisão bibliográfica e da pesquisa documental, para obter razões válidas.

5 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A RSL, é um estudo científico sistemático no qual os resultados coletados, avaliados e sintetizados, levam em consideração semelhanças e diferenças importantes entre vários estudos primários para ampliar a interpretação final. É uma modalidade de pesquisa que segue um protocolo específico, com seu próprio propósito, questão de pesquisa, métodos, resultados e conclusões (Galvão; Ricarte, 2019).

5.1 Universo da pesquisa

Foi observada a necessidade de ser realizada uma RSL devido à diversidade de comportamento das madeiras de acordo com as regiões climáticas, com objetivo de analisar e sintetizar a literatura existente sobre as propriedades mecânicas dessas espécies.

Os critérios de inclusão e exclusão são filtros eficazes para evitar a inclusão excessiva de artigos não relevantes para sua pesquisa ao mesmo tempo que artigos em áreas afins. A representatividade da amostra indica a profundidade, qualidade e confiabilidade das conclusões finais da revisão. Portanto, o processo de inclusão e exclusão de elementos deve ser realizado de forma racional e transparente. (Silva; Cunha; Oliveira, 2022).

No protocolo define-se a questão principal da revisão, palavras-chave, bases de dados, os critérios de inclusão e exclusão e os critérios de qualidade para a seleção e classificação dos artigos conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Parâmetros do Protocolo definidos para a pesquisa.

| Parâmetros | |
|---|--|
| Questão principal | Quais as diferenças das propriedades mecânicas das madeiras em comum aplicadas na construção civil, conforme as regiões climáticas? Quais os critérios avaliados em comum nas espécies? |
| String de busca | <i>Structural timber and mechanical properties and construction and not concrete and not plastic and not metallic</i> |
| Base de dados | Engineering Village, Portal Capes, Science Direct, Scopus e Web of Science |
| Critérios de inclusão (I) e exclusão (E) | (I) Possuem informações sobre as propriedades mecânicas das madeiras (E1) Artigos duplicados manualmente (E2) Madeiras que apresentam algum tipo de tratamento (E3) Artigos sem metodologia e resultados bem detalhados (E4) Artigos que não são referentes somente a madeiras (E5) Artigos que não possuem experimentos laboratoriais e/ou numéricos (E6) Estudos que não apresentam as propriedades mecânicas das madeiras |
| Critérios de qualidade (Q) | (Q) Trabalho totalmente alinhado à questão e aos objetivos da RSL (Q) Trabalho parcialmente alinhado à questão e aos objetivos da RSL (Q) Metodologia adequada |

É importante destacar que foi adicionado como critério de exclusão, as madeiras que apresentam algum tipo de tratamento, pois o tratamento afeta as propriedades mecânicas devido as substâncias químicas aplicadas para melhorar as resistências, dureza, inchamento, durabilidade e estabilidade. E esta pesquisa avalia as espécies sem tratamento, ou seja, de florestas nativas ou plantadas.

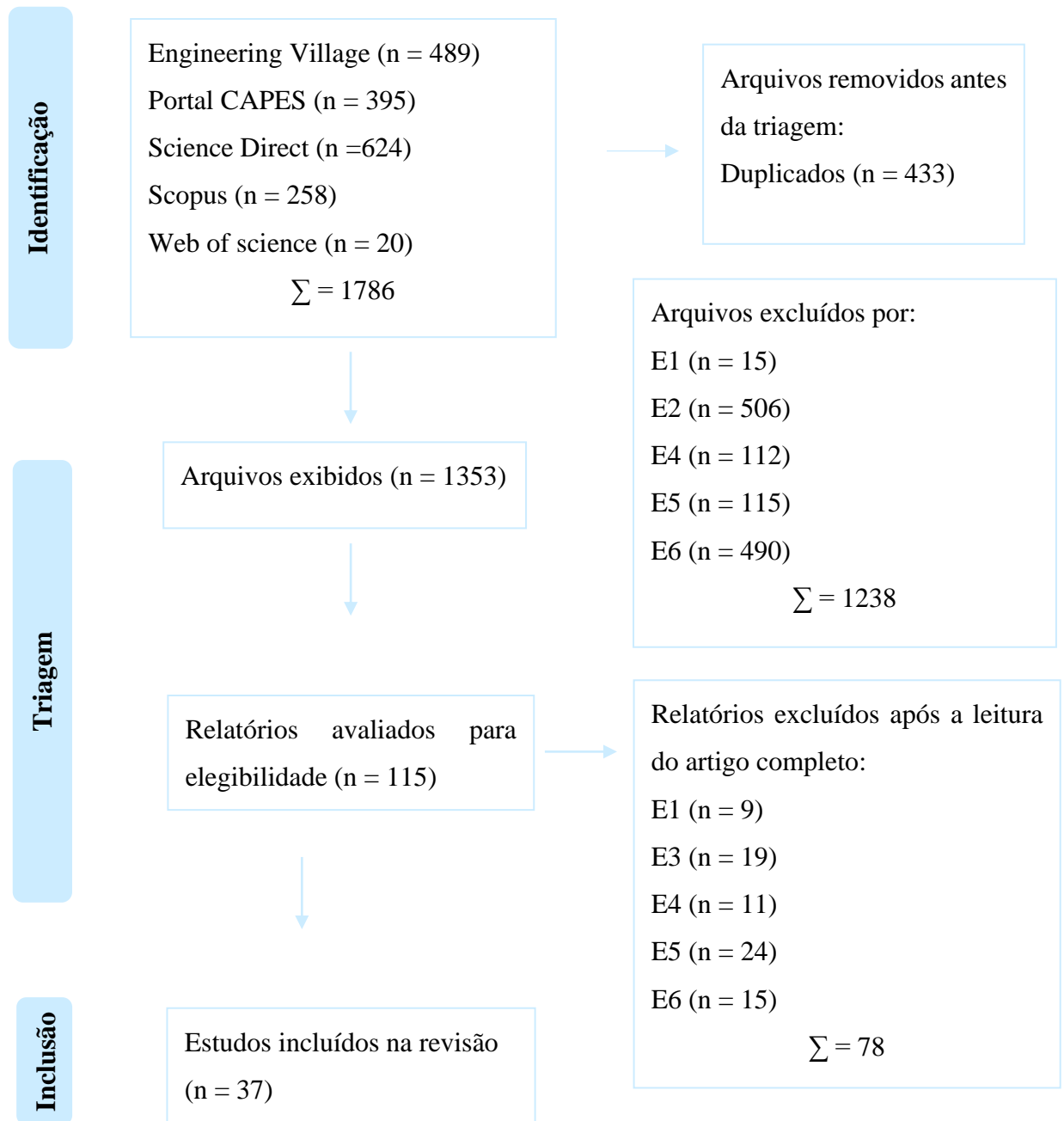
Após a classificação dos artigos duplicados, iniciou a primeira etapa de seleção e exclusão dos artigos foi feita por meio da leitura do título, do abstract e das palavras-chave e com a utilização dos critérios de inclusão e exclusão utilizados tanto na triagem quanto na etapa de Extração, etapa na qual os artigos são aceitos ou rejeitados a partir da leitura do seu texto completo.

5.2 Filtragem da amostra selecionada

O resultado da primeira filtragem resultou em uma lista de 1786 estudos, tendo 433 trabalhos duplicados, quando importado todos os arquivos com as informações dos arquivos extraídos das bases de dados em formato *Research Information Systems (RIS)* e/ou *BibTex*.

Na etapa de Extração, ao realizar a leitura do artigo na íntegra foram julgadas a qualidade dos trabalhos seguindo especificações definidas pelos autores em virtude dos objetivos aos quais se prestam à revisão e foram selecionados 37 trabalhos. Observa-se na Figura 7, o fluxograma realizado pelo método PRISMA para melhor relatar os dados coletadas na revisão sistemática.

Figura 7 - Processo de seleção dos artigos.

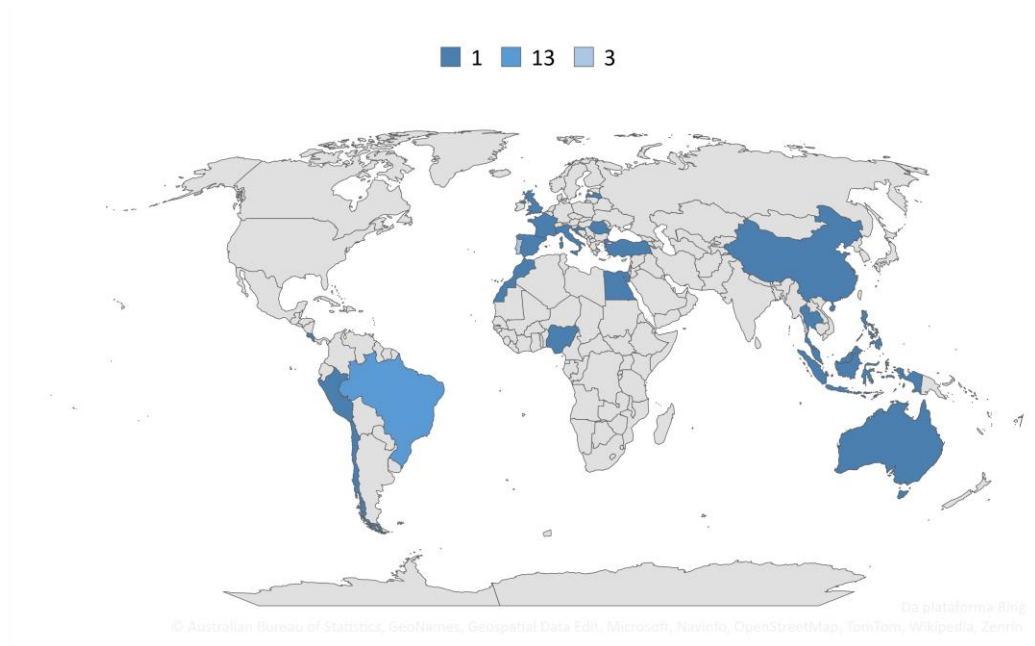


5.3 Análise dos resultados da RSL

A RSL resultou em 37 artigos elegíveis para o estudo, nos quais foram indicadas as propriedades mecânicas de 104 espécies de madeiras, destas 54 espécies foram estudadas no Brasil. O desempenho mecânico foi extraído por ensaios laboratoriais, conforme as normas vigentes de cada país dos estudos. Foram obtidas teor de umidade, módulos de elasticidade, módulos de ruptura, resistências de compressão, tração, flexão e cisalhamento, dureza, clivagem, densidades, tenacidade e ponto de saturação. A extração dos dados permitiu indicar espécies de 23 países:

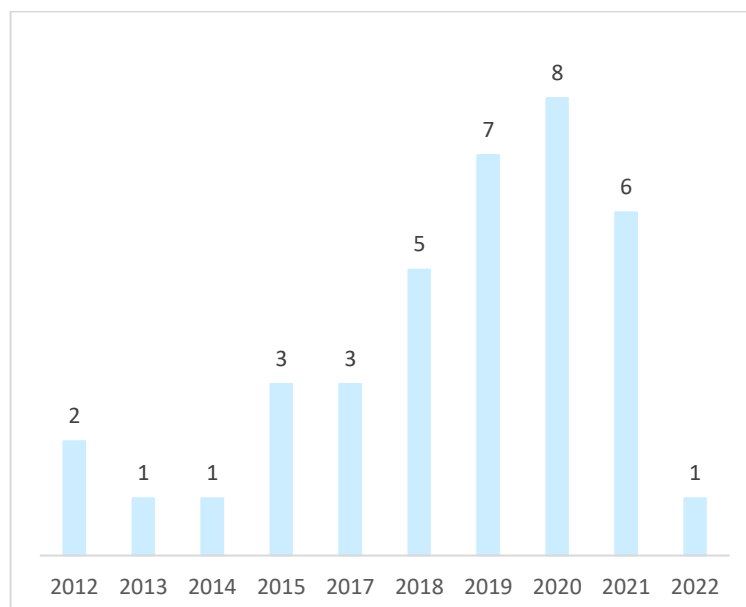
Austrália, Brasil, Chile, China, Costa Rica, Croácia, Egito, Espanha, França, Filipinas, Guatemala, Indonésia, Itália, Letônia, Malásia, Marrocos, Nigéria, Peru, Portugal, Reino Unido, Romênia, Tailândia e Turquia. Na Figura 8, é possível observar a espécie de madeira estudada em cada país e no Anexo C, as informações das propriedades mecânicas de cada espécie abordadas nos 37 artigos.

Figura 8 – Distribuição dos artigos por país.



Os artigos científicos selecionados no âmbito mundial abordando o tema “Propriedades mecânicas das madeiras” foram divididos por anos de publicação conforme a Figura 9. Como o primeiro manuscrito data do ano de 2012, no Brasil e na Costa Rica.

Figura 9 – Distribuição dos artigos selecionados por ano



O Anexo D, apresenta as principais informações sobre todos os estudos contendo principalmente seus objetivos e resultados. Observa-se que o Brasil se destaca com treze publicações, as quais pode ser realizado a comparação das resistências mecânicas das espécies presentes nos estudos, pois os estudos foram realizados de acordo com a NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira.

Dentre vários ensaios realizados em cada estudo, destacam-se: dureza perpendicular, dureza paralela, resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à compressão perpendicular às fibras (f_{c90}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}), resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR), módulo de elasticidade da flexão estática (MOE), módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}), módulo de elasticidade na tração perpendicular às fibras (E_{t90}), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}) e módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras (E_{c90}). No Quadro 8, observam-se os resultados para o ensaio de resistência ao cisalhamento (f_{v0}) e da dureza Janka (f_H).

Quadro 8 – Ensaio f_{v0} e f_H das espécies.

| País | Autor | Espécies | f_H (MPa) | f_{v0} (MPa) |
|-----------|--|---|-------------|----------------|
| Austrália | Derikvand <i>et al.</i> , 2019 | <i>Eucalyptus nitens pulpwood</i> | 23,2 | - |
| Brasil | Christoforo <i>et al.</i> , 2017 | <i>Calycophyllum multiflorum</i> – Pau Mulato | 65 | - |
| Brasil | Christoforo <i>et al.</i> , 2019 | <i>Peltophorum vogelianum</i> Benth - Guarucaia | 77 | 20 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2021 | <i>Corymbia citriodora</i> | 10,78 | 18 |
| Brasil | Morando <i>et al.</i> , 2019 | <i>Qualea Albiflora</i> - Mandioqueira | 74,2 | 17,13 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2019 | <i>Eucalyptus saligna</i> | 6,33 | 14 |
| Brasil | Lahr <i>et al.</i> , 2017 | <i>Eucalyptus urophylla</i> | 6,43 | 13,9 |
| Brasil | Jesus Eufraide Junior <i>et al.</i> , 2015 | <i>Hevea brasiliensis</i> - Seringueira | - | 9,43 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2020 | <i>Eucalyptus tereticornis</i> | - | 16,2 |
| Brasil | Lahr <i>et al.</i> , 2018 | <i>Eucalyptus grandis</i> | - | 11,3 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2018 | <i>Eucalyptus maidenii</i> | - | 17,2 |
| Espanha | Estévez-Cimadevila <i>et al.</i> (2018) | <i>Quercus robur</i> | - | 4 |
| | | <i>Picea abies</i> | - | 2,5 |
| China | Chen <i>et al.</i> (2020) | <i>Eucalyptus Strand Wood</i> | - | 11,8 |
| Filipinas | Marasigan; Razal; Carandang, 2022 | <i>Falcataria molucanna</i> - Falcata | - | 4,12 |
| Nigéria | Iwuoha; Seim; Onyekwelu (2021) | <i>Gmelina arborea</i> | - | 6,3 |
| Tailândia | Srivaro <i>et al.</i> (2020) | <i>Cocos nucifera</i> – Coqueiro 30 anos | - | 6,9 |
| | | <i>Cocos nucifera</i> – Coqueiro 60 anos | - | 10,6 |

| País | Autor | Espécies | f_H (MPa) | f_{v0} (MPa) |
|-----------------------------|--------------------------------|---|-------------|----------------|
| Malásia | Hamdan <i>et al.</i> (2020) | <i>Paraserianthes moluccana</i> - Batai | - | 5,8 |
| | | <i>Sapium baccatum</i> - Ludai | - | 7,6 |
| | | <i>Macaranga gigantea</i> - Mahang | - | 8,7 |
| | | <i>Endospermum malaccense</i> - Sesendok | - | 10,1 |
| | | <i>Hebea brasiliensis</i> - Rubberwood | - | 12,5 |
| | | <i>Eucalyptus Grandis</i> | - | 8 |
| Croácia | Bektaş; Tutuş; Gültekin (2020) | Eucalito / drvo eukalipta | - | 9,1 |
| | | Madeira de choupo | | 4 |
| | | Pinheiro vermelho | - | 4,5 |
| | | Pinho escocês | - | 6,3 |
| Indonésia | Yoresta (2015) | <i>Diospyros celebica</i> - Madeira Preta Ébano | - | 11,73 |
| | | <i>Shorea leavifolia</i> | - | 10,08 |
| | | <i>Shorea eleptica</i> | - | 9,48 |
| | | <i>Maranthes corymbosa</i> | - | 6,61 |
| | | <i>Aglaia odorota</i> | - | 7,53 |
| | | <i>Bijuga intsia</i> | - | 10,2 |
| | | <i>Dalbergia latifolia</i> | - | 8,84 |
| | | <i>Eusideroxylon zwa-geri</i> | - | 11,51 |
| | | <i>Trichadenia philippinensis</i> | - | 15,89 |
| | | <i>Elateriospermum feito</i> | - | 11,65 |
| <i>Dillenia grandifolia</i> | - | 9,51 | | |

No ensaio de resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), das espécies brasileiras, *Peltophorum vogelianum Benth* teve o melhor resultado. Das espécies espanholas, a *Quercus robur* teve o melhor resultado. A espécie do coqueiro tailandesa teve melhor resultado para a espécie de 60 anos. Na Malásia, a espécie *Hebea brasiliensis* – *Rubberwood* foi que teve o melhor rendimento. Das croatas, o Eucalito e da Indonésia foi a espécie *Trichadenia philippinensi*. No Quadro 9, observa os resultados para os ensaios de resistência à compressão perpendicular às fibras (f_{c90}), resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}) e resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) das espécies.

Quadro 9 – Ensaio f_{c90} , f_{c0} , f_{t90} e f_{t0} das espécies.

| País | Autor | Espécies | f_{c0} (MPa) | f_{c90} (MPa) | f_{t0} (MPa) | f_{t90} (MPa) |
|--------|--|---|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Brasil | Morando <i>et al.</i> , 2019 | <i>Qualea Albiflora</i> - Mandioqueira | 70,93 | | 91 | 2,85 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2019 | <i>Eucalyptus saligna</i> | 46,8 | 4,8 | 95,5 | 4,1 |
| Brasil | Lahr <i>et al.</i> , 2017 | <i>Eucalyptus urophylla</i> | 46 | 6,5 | 34,7 | 4,2 |
| Brasil | Jesus Eufraide Junior <i>et al.</i> , 2015 | <i>Hevea brasiliensis</i> - Seringueira | 49,83 | 11,24 | 76,45 | 4,23 |

Continua...

| País | Autor | Espécies | f _{e0} (MPa) | f _{e90} (MPa) | f _{t0} (MPa) | f _{t90} (MPa) |
|----------------|----------------------------------|--|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2020 | <i>Eucalyptus tereticornis</i> | 57,7 | 5,7 | 116 | 4,6 |
| Brasil | Lahr <i>et al.</i> , 2018 | <i>Eucalyptus grandis</i> | 40,1 | 4,4 | 70,3 | 2,6 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2018 | <i>Eucalyptus maidenii</i> | 48,3 | 3,7 | 83,7 | 4,8 |
| Brasil | Christoforo <i>et al.</i> , 2017 | <i>Calycophyllum multiflorum</i> - Pau Mulato | 55 | 12 | 104 | 7 |
| Brasil | Christoforo <i>et al.</i> , 2019 | <i>Peltophorum vogelianum</i> Benth - Guarucaia | 64 | | 75 | 5,6 |
| Brasil | Nogueira <i>et al.</i> , 2021 | <i>Corymbia citriodora</i> | 62,1 | 6,4 | 123,6 | 3,9 |
| Brasil | Christoforo <i>et al.</i> , 2020 | Angelim Amargoso | 59,9 | - | - | - |
| | | Angelim Araroba | 50,8 | - | - | - |
| | | Angelim Ferro | 79,5 | - | - | - |
| | | Angelim Pedra | 59,2 | - | - | - |
| | | Angelim Pedra Verdadeiro | 77,5 | - | - | - |
| | | Angico Preto | 72,5 | - | - | - |
| | | Branquilha | 48,5 | - | - | - |
| | | Cafearana | 57,5 | - | - | - |
| | | Cambará Rosa | 34,5 | - | - | - |
| | | Casca Grossa | 58,5 | - | - | - |
| | | Castelo | 54,8 | - | - | - |
| | | Catanudo | 50,6 | - | - | - |
| | | Cedro Amargo | 39,1 | - | - | - |
| | | Cedro Doce | 31,5 | - | - | - |
| | | Cedrona | 41,3 | - | - | - |
| | | Copaíba | 50,2 | - | - | - |
| | | Cupiúba | 53,7 | - | - | - |
| | | Cutiúba | 79 | - | - | - |
| | | Garapa | 73,4 | - | - | - |
| | | Guaiçara | 0 | - | - | - |
| | | Guarucaia | 62,4 | - | - | - |
| | | Ipê | 76,2 | - | - | - |
| | | Itaúba | 69 | - | - | - |
| | | Jatobá | 93,5 | - | - | - |
| | | Louro Preto | 56,9 | - | - | - |
| | | Maçaranduba | 82,9 | - | - | - |
| Mandioqueira | 70,8 | - | - | - | | |
| Oitica Amarela | 69,9 | - | - | - | | |
| Oiuchu | 77,4 | - | - | - | | |
| Paul-óleo | 52,4 | - | - | - | | |
| Piolho | 61,9 | - | - | - | | |
| Quarubana | 37,8 | - | - | - | | |
| Rabo de Arraia | 57,5 | - | - | - | | |
| Sucupira | 93,7 | - | - | - | | |
| Tatajuba | 0 | - | - | - | | |
| Umirana | 53,3 | - | - | - | | |
| Austrália | Derikvand <i>et al.</i> , 2019 | <i>E. nitens pulpwood</i> | 42,8 | 4,1 | - | 3,4 |
| Portugal | Raposo <i>et al.</i> , 2018 | <i>Castanheiro</i> | 50,48 | - | 36,04 | - |
| | | <i>Carvalho</i> | 38,34 | - | 20,17 | - |

Continua...

| País | Autor | Espécies | f _{wc0} (MPa) | f _{wc90} (MPa) | f _{wt0} (MPa) | f _{wt90} (MPa) |
|-----------------------------|---|---|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Espanha | Estévez-Cimadevila <i>et al.</i> , 2018 | <i>Quercus robur</i> | 45 | - | 23 | 0,6 |
| | | <i>Picea abies</i> | 22 | - | 14 | - |
| China | Chen <i>et al.</i> , 2020 | <i>Eucalyptus Strand Wood</i> | 67 | - | 112 | - |
| Egito | Hussein; Nassar; Darwish, 2019 | <i>Casuarina Glauca</i> | 32,219 | 7,44 | 162,9 | 5,97 |
| | | <i>Casuarina Cunninghamiana</i> | 11,43 | 4,98 | - | - |
| Itália | Concu <i>et al.</i> , 2018 | <i>Pinho marítimo da Sardenha</i> | - | - | 11,72 | - |
| Filipinas | Marasigan; Razal; Carandang, 2022 | <i>Falcataria molucanna</i> - Falcata | 18,46 | 2,36 | - | - |
| Nigéria | Iwuoha; Seim; Onyekwelu, 2021 | <i>Gmelina arborea</i> | 34,02 | 4,51 | 67,91 | - |
| Peru | Haag <i>et al.</i> , 2020 | <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 38 | - | - | - |
| Romênia | Florenta <i>et al.</i> , 2017 | Liriodendron sino-americanum - choupo amarelo híbrido | 37,61 | - | 25,45 | - |
| Tailândia | Srivaro <i>et al.</i> , 2020 | <i>Cocos nucifera</i> – Coqueiro 30 anos | 32 | - | - | - |
| | | <i>Cocos nucifera</i> – Coqueiro 60 anos | 52 | - | - | - |
| Turquia | Topaloglu <i>et al.</i> , 2021 | <i>Castanea sativa</i> Mill - madeira de castanheira | 87,35 | - | - | - |
| Malásia | Hamdan <i>et al.</i> , 2020 | <i>Paraserianthes moluccana</i> - Batai | 22,9 | - | - | - |
| | | <i>Sapium baccatum</i> - Ludai | 32 | - | - | - |
| | | <i>Macaranga gigantea</i> - Mahang | 32,4 | - | - | - |
| | | <i>Endospermum malaccense</i> - Sesendok | 38,7 | - | - | - |
| | | <i>Hebea brasiliensis</i> - Rubberwood | 33,6 | - | - | - |
| | | <i>Eucalyptus Grandis</i> | 52 | - | - | - |
| Costa Rica | Tenorio; Moya; Camacho, 2012 | <i>Tectona grandis</i> | 35,7 | - | 40,33 | 0,88 |
| | | <i>Acacia mangium</i> | 41,93 | - | 31,19 | 0,68 |
| | | <i>Gmelina arborea</i> | 23,05 | - | 45,38 | 0,68 |
| Croácia | Bektaş; Tutuş; Gültekin, 2020 | Eucalito / drvo eukalipta | 37,8 | - | - | - |
| | | Madeira de choupo | 37,4 | - | - | 2,2 |
| | | Pinheiro vermelho | 45,1 | - | - | 2,1 |
| | | Pinho escocês | 39,3 | - | - | 2,5 |
| Indonésia | Yoresta, 2015 | <i>Diospyros celebica</i> - Madeira Preta Ébano | 84,49 | - | 227,42 | - |
| | | <i>Shorea leavifolia</i> | 66,68 | - | - | - |
| | | <i>Shorea eleptica</i> | 71,59 | - | - | - |
| | | <i>Maranthes corymbesa</i> | 60,8 | - | - | - |
| | | <i>Aglaia odorota</i> | 70,7 | - | - | - |
| | | <i>Bijuga intsia</i> | 76,2 | - | - | - |
| | | <i>Dalbergia latifolia</i> | 60,51 | - | - | - |
| | | <i>Eusideroxylon zwa-geri</i> | 71,98 | - | - | - |
| | | <i>Trichadenia philippinensis</i> | 61,72 | - | - | - |
| | | <i>Elateriospermum feito</i> | 7,72 | - | - | - |
| <i>Dillenia grandifolia</i> | 12,85 | - | - | - | | |
| Guatemala | Valle tager <i>et al.</i> , 2014 | Amapola (<i>Pseudobombax ellipticum</i>) | 23 | 3 | 33 | 1,5 |

| | | | | | | |
|--|--|--------------------------------------|----|----|-----|-----|
| | | Manchiche (Lonchocarpus castilloi) | 82 | 16 | 206 | 6,4 |
| | | Pucte (Bucida buceras) | 65 | 25 | 170 | 8,3 |
| | | Santamaria (Calophyllum brasiliense) | 51 | 9 | 83 | 8,9 |

Para os demais estudos foram analisadas outras propriedades mecânicas. No Chile, Opazo-Veja, Rosales-Garcés e Oyarzo-Vera (2021), realizaram o estudo conforme as normas ASTM D 874, EN 408, NCH 1198 e NCH 1970, para avaliar o módulo de elasticidade dinâmico da madeira *Eucalyptus nitens*. Entre seus resultados, destacam-se 11500 MPa para o módulo de elasticidade paralelo, 12500 MPa para o módulo de elasticidade obtido por vibração longitudinal e 10450 MPa para o módulo de elasticidade obtido por vibração transversal. Os autores afirmam que as tábuas de madeira de *Eucalyptus nitens* podem ser utilizadas como elementos estruturais promovendo construções mais sustentáveis.

Burgers *et al.* (2019), realizaram um estudo com a espécie Pinheiro da montanha (*Pinus uncinata*) na Espanha e na França, conforme as normas NF EN-338, NF EN-384, NF B 52-001-1, EN-408 e NF B51-007 para estudar as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Como resultados principais, o estudo teve 48 MPa para o módulo de ruptura e 9076 MPa para o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE), como propriedades da espécie.

Brokâns (2013) realizou um estudo na Letônia, com os resultados de uma pesquisa experimental em que dezessete vigas de madeira macia (*Pinus Sylvestris*), conforme as normas LVS EN 408 e LVS EN 384 e teve como ensaio os resultados 515,65 kg/m³ para a densidade, 32,63 kg para a dureza e 90,9 MPa para o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE).

No estudo realizado em Marrocos por Amer *et al.* (2021), com o objetivo de avaliar os parâmetros mecânicos para dois clones de madeira de eucalipto (*E. grandis*; *E. camaldulensis*), conforme as normas NF B 51-007 e NF B 51-008. A *E. grandis* teve como resultado 17322 MPa para o módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}). *E a E. camaldulensis* teve 17980 MPa para o módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}). Para os autores, os resultados podem ser utilizados para valorizar a madeira clonal de eucalipto em estruturas de madeira.

Em Portugal, o estudo realizado por Martins *et al.* (2020) apresentou o potencial da espécie *Blackwood* (*Acacia melanoxylon R. Br.*), com enfoque em aplicações na construção, conforme as normas EN 13183-2, EN 408, EN 384 e EN 14.080 e teve como resultados principais 68,60

MPa para a resistência de flexão estática, 65,2 para a resistência de flexão estática paralela a 12% e 14,104 MPa para o módulo dinâmico de elasticidade. Desta forma, os autores afirmam que o uso de espécies folhosas para produtos de madeira engenheirada também é uma alternativa às coníferas, fornecendo produtos de alta qualidade com propriedades mecânicas superiores.

Já o estudo realizado por Cunha *et al.* (2021) teve como objetivo verificar as propriedades mecânicas do Iroko (*Milicia excelsa*), conforme as normas EN 338, EN 1912, BS 5756, EN 14081-1, EN 408, EN 384, ISO 3129, ISO 3130, ISO 3131 e EN 1310 e teve como resultados 105,3 MPa para a resistência de flexão estática paralela a 12%, 9,95 MPa para a resistência da elasticidade estática e 15880 MPa para o módulo dinâmico de elasticidade.

Bawcombe *et al.* (2015), realizaram um estudo para entender melhor a qualidade da madeira Abeto Douglas cultivada no Reino Unido, avaliando as propriedades mecânicas, conforme a norma BS 373 e tiveram como resultados 77 MPa para o módulo de ruptura e 10000 MPa para o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE).

No Brasil foram estudadas 54 espécies divididas em treze pesquisas, conforme a NBR 7190. Almeida *et al.* (2019) e Christoforo *et al.* (2020) estudaram a densidade aparente (ρ_{ap}), densidade, densidade a 12% (ρ_{12}), tenacidade, resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), e resistência à flexão estática de quarenta e quatro espécies.

Ainda no Brasil, Segundinho *et al.* (2012) avaliaram a eficácia de métodos de ensaio baseados em frequência natural para a obtenção de propriedades elásticas de componentes de madeira de reflorestamento das espécies *Eucalyptus sp* e *Pinus oocarpa*, comumente usadas na construção civil, comparando-os com resultados obtidos em matéria de flexão estática.

Os resultados principais das espécies sem tratamento 17147 MPa para o módulo de elasticidade obtido por vibração longitudinal, 18808 MPa para o módulo de elasticidade obtido por vibração transversal e 16368 MPa para o módulo de elasticidade obtido por flexão estática para a *Eucalyptus sp.* e 10455 MPa para o módulo de elasticidade obtido por vibração longitudinal, 10304 MPa para o módulo de elasticidade obtido por vibração transversal e 9443 MPa para o módulo de elasticidade obtido por flexão estática para a *Pinus oocarpa*.

6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS EM ESPÉCIES DE MADEIRAS BRASILEIRAS

O Brasil é um país com grande diversidade climática e segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2023), o país é constituído por cinco regiões (norte, sul, nordeste, sudeste e centro oeste) e apresenta seis biomas, a Amazônia, caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Desta forma foi observado a necessidade de ser realizada uma pesquisa bibliográfica da literatura, com o objetivo de identificar, analisar e sintetizar a literatura desenvolvidas sobre as propriedades mecânicas de espécies de madeiras brasileiras desses biomas nos últimos 16 anos.

Ainda de acordo com o IBGE (2023), os estados que abrangem cada biomas brasileiras são:

- Bioma Amazônia ocupa cerca de 49% do território brasileiro e abrangem os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e parte dos estados do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso.
- Bioma Mata Atlântica ocupa em torno de 13% do território brasileiro e abrangem a região litorânea do país abrangendo os estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Goiás e Rio Grande do Sul e por isso é considerada o bioma mais ameaçado entre os biomas que ocorrem no Brasil com 1361 espécies da fauna brasileira, restando cerca de 27% de sua cobertura florestal original, é caracterizada como a quinta área mais ameaçada e rica em espécies endêmicas do mundo.
- Bioma Caatinga que tem o nome de origem tupi-guarani som significado de mata branca, ocupa aproximadamente 10% do território nacional abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Este bioma destaca-se por estar localizado em área de clima semiárido, apresentar variedades de paisagens, riqueza biológica e espécies únicas que com a seca ficam sem folhas que voltam a brotar em curtos períodos de chuvas. No entanto cerca de aproximadamente 36% de sua área original foi alterada pelo homem.
- Bioma Cerrado ocupa cerca de 24% do Brasil e está localizado nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Piauí, Maranhão, Rondônia, São Paulo, Paraná e o Distrito Federal. É conhecido pela Savana mais rica do mundo com a presença de mais de 10.000 espécies de plantas.

- Bioma Pantanal ocupa 2% do território nacional e abrange os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, possui vegetação semelhante a Caatinga e predominantes. É conhecido como o bioma mais preservado, a maior planície de inundação contínua do Planeta e possui a presença de quase toda a fauna brasileira.
- Bioma Pampa ocupa 2% do Brasil e abrange metade do Rio Grande do Sul, é caracterizado pelo clima chuvoso e com temperaturas negativas no inverno, composto por ervas e arbustos e tem como principal atividade agrícola, o cultivo de arroz.

Nesta pesquisa de revisão bibliográfica foram encontrados artigos entre os anos de 2007 e 2022, que apresentam características mecânicas de espécies brasileiras dos biomas da Caatinga, Mata Atlântica, Pampa, Cerrado e Amazônia. Os estudos encontrados apresentam espécies divididas de acordo com a região, bioma e cidade, conforme a Quadro 10.

Quadro 10 – Espécies brasileiras.

| Espécies | | Bioma | Cidade | Estado | Região |
|--|---|----------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Nome Científico | Nome Popular | | | | |
| <i>Prosopis juliflora</i> Sw. | Algaroba | Caatinga | Coxixola | Paraíba | Nordeste |
| <i>Eucalyptus (E.) urophylla</i> <i>Eucalyptus grandis</i> | Eucalipto | Mata Atlântica | Mucuri Nova Viçosa | Bahia | Nordeste |
| <i>Caesalpinia echinata</i> | Pau-Brasil | Mata Atlântica | Santa Rosa | Espírito Santo | Sudeste Nordeste |
| <i>Toona ciliata</i> M. Roem | Cedro australiano | Mata Atlântica | Corupá | Santa Catarina | Sudeste |
| <i>E. urophylla</i> <i>E. grandis</i> | Eucalipto | Mata Atlântica | Belo Oriente | Minas Gerais | Sudeste |
| <i>Bagassa guianensis</i> | Tatajuba | Amazônia | Alta Floresta Bonfim do Sul | Mato Grosso Roraima | Centro Oeste Norte |
| <i>Acacia mearnsii</i> <i>Mimosa scabrella</i> <i>E. grandis</i> | Acácia negra Bracatinga Eucalipto | Mata Atlântica | Frederico Westphalen | Rio Grande do Sul | Sul |
| <i>E. urophylla</i> <i>E. grandis</i> <i>E. saligna</i> <i>E. cloeziana</i> <i>E. camaldulensis</i> <i>E. paniculata</i> <i>E. alba</i> <i>E. tereticornis</i> <i>E. microcorys</i> <i>E. propinqua</i> | Eucalipto | Cerrado | São Carlos | São Paulo | Sudeste |

Fonte: Adaptado a partir de Dalla Costa *et al.* (2022); Gomes *et al.* (2007); Gonçalves *et al.* (2009); Lima *et al.* (2018); Marini *et al.* (2022); Santos Marques *et al.* (2012); Trianoski, De Matos, Iwakiri (2014); Zanuncio *et al.* (2017).

Observa-se no Quadro 10 que as espécies de madeiras são das cinco regiões do país, no entanto estão localizadas em apenas quatro biomas, observa-se ainda que as espécies de Eucalipto foram encontradas em dois biomas brasileiros, Cerrado e Mata Atlântica e em duas regiões com diversidade climática, Nordeste e Sudeste. Destaca ainda a espécie de Pau-Brasil que foi encontrada apenas no bioma Mata Atlântica e em duas regiões do país, Nordeste e Sudeste. Segundo o IBGE (2023), o Nordeste apresenta os climas Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental e Tropical Brasil Central e o Sudeste apresenta Tropical Brasil Central e Temperado.

Dentre vários ensaios realizados, destacam-se: densidade básica (ρ_{bas}), densidade característica (ρ_k), densidade aparente (ρ_{ap}), densidade aparente a 12% (ρ_{12}), teor de umidade (U), resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à compressão perpendicular às fibras (f_{c90}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}), resistência característica à tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$), resistência característica à tração perpendicular às fibras ($f_{t90,k}$), resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), massa específica (ρ), dureza Janka (fH) que é a resistência de madeira à penetração de uma esfera de aço, resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR), módulo de elasticidade da flexão estática (MOE), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) e tensão limite proporcional (TLP).

6.1 Região Sul

Dalla Costa *et al.* (2022), determinaram as propriedades mecânicas de três espécies de madeiras de rápido crescimento (*Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus grandis*) em campos de apodrecimento. Foram selecionados 12 moirões de cada espécie, que foram implantados 4 moirões de cada espécie distantes entre si em 3 tipos de florestas (nativa, plantada e campo aberto), que permaneceram durante o período de 1 ano. Foi verificada a resistência mecânica das espécies de madeiras antes e após a exposição aos distintos ambientes, seguindo as recomendações da norma ASTM D 143 e os dados diários das condições climáticas de precipitação em média 208,3 mm/mês, umidade relativa do ar em média 78% e temperatura média de 20,6 °C no local do experimento também foram coletados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk (avaliar se a distribuição é semelhante a uma distribuição normal) e Bartlett (verificar se as amostras têm homogeneidade de variâncias) para a análise dos dados para comprovação dos pressupostos paramétricos, a metodologia de Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para o aceite da hipótese nula para efeito dos bloco e o teste de Tukey (compara todos os pares de médias possíveis e leva em consideração os percentis dos grupos com base na diferença mínima significativa) para a rejeição da hipótese nula na Análise de Variância (ANOVA) que compara as médias de grupos independentes, a 5% de probabilidade de erro (Dalla Costa *et al.*, 2022; Devore; Cordeiro, 2014; Miot, 2017; Lúcio *et al.*, 2008).

É possível observar as características mecânicas de resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m, k}$ ou MOR), módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) e tensão limite proporcional (TLP) determinadas no estudo de Dalla Costa *et al.* (2022) e a diferença percentual entre as propriedades mecânicas no Quadro 11.

Quadro 11 – Diferença percentual das propriedades mecânicas das espécies *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus grandis*

| Ambiente | Exposição | MOR | % | MOE | % | TLP | % |
|----------------------------------|-----------|-------|------------|---------|------------|-------|------------|
| <i>Acacia mearnsii</i> | | | | | | | |
| Campo | Não | 795,3 | 1% | 82991,9 | 6% | 413,2 | 14% |
| | Sim | 785,6 | | 78306,1 | | 470,9 | |
| Nativa | Não | 766,1 | 26% | 85582,1 | 15% | 411,0 | 3% |
| | Sim | 569,4 | | 72437,8 | | 425,0 | |
| Plantada | Não | 935,5 | 23% | 94183,0 | 16% | 480,6 | 6% |
| | Sim | 720,8 | | 78919,3 | | 452,8 | |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | | | | | | | |
| Campo | Não | 821,9 | 53% | 86389,6 | 22% | 453,6 | 29% |
| | Sim | 384,1 | | 67060,3 | | 322,4 | |
| Nativa | Não | 554,7 | 41% | 66973,9 | 25% | 314,5 | 18% |
| | Sim | 327,5 | | 50357,5 | | 259,2 | |
| Plantada | Não | 522,7 | 49% | 66053,5 | 27% | 265,0 | 25% |
| | Sim | 264,7 | | 48223,4 | | 199,3 | |
| <i>Mimosa scabrella</i> | | | | | | | |
| Campo | Não | 400,6 | 41% | 44916,1 | 28% | 231,5 | 20% |
| | Sim | 236,2 | | 32235,8 | | 185,2 | |
| Nativa | Não | 459,8 | 63% | 53899,7 | 50% | 269,6 | 51% |
| | Sim | 171,8 | | 27096,6 | | 133,1 | |
| Plantada | Não | 449,3 | 38% | 57417,8 | 33% | 243,0 | 13% |
| | Sim | 280,0 | | 38239,3 | | 211,8 | |

Fonte: Adaptado a partir de Dalla Costa *et al.* (2022)

Como resultado Dalla Costa *et al.* (2022), concluíram que a exposição das três espécies de madeiras aos diferentes ambientes ocasionou na degradação do material, resultando na redução das suas propriedades mecânicas.

6.2 Região Centro Oeste e Região Norte

Para Lima *et al.* (2018), a espécie de madeira Tatajuba pode ser usada na construção civil desde aplicações leves e internas até pesada e externas. Desta forma verificaram a influência da região de extração nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de Tatajuba (*Bagassa guianensis*) provenientes de duas regiões diferentes do Brasil (Centro Oeste e Norte). Foram confeccionados conforme o Anexo B da ABNT NBR 7190/1977, 12 corpos de provas para a determinação de duas propriedades físicas e cinco propriedades mecânicas. A secagem dos lotes foi realizada ao ar livre, onde as condições climáticas permitem alcançar o teor de umidade de 12%, no Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP).

Com a determinação dos valores de resistência característica (f_k), foi possível enquadrar os lotes nas classes de resistência recomendados pelo PN 02:126.10-001-1 (método de classificação visual da madeira) da NBR 7190/1997. Para avaliar a influência da região de extração e do teor de umidade nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de Tatajuba foi utilizado a Análise de Variância (ANOVA) de Kruskal-Wallis (verifica se as medianas dos grupos diferem entre si) considerando valores significativos (não equivalentes) aqueles que atendem à condição P-valor $< 0,05$ (Devore; Cordeiro, 2014; Lima *et al.*, 2018).

É possível observar as características físicas de densidade básica (ρ_{bas}) e densidade aparente a 12% (ρ_{12}), as características mecânicas de resistência à compressão paralelas às fibras (f_{c0}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}) e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) ao teor de umidade de 12% e a diferença percentual das propriedades físicas e mecânicas entre as duas espécies de regiões no Quadro 12.

Quadro 12 – Características físicas e mecânicas da Tatajuba da Região Centro Oeste e da Região Norte

| Propriedades | Região Centro Oeste | Região Norte |
|-----------------------------------|---------------------|--------------|
| ρ_{bas} (g/cm ³) | 0,75 | 0,74 |
| ρ_{12} (g/cm ³) | 0,81 | 0,94 |
| f_{c0} (MPa) | 69 | 80 |
| f_{t0} (MPa) | 91 | 93 |
| f_{v0} (MPa) | 18 | 20 |
| E_{c0} (MPa) | 18528 | 18571 |
| E_{t0} (MPa) | 18284 | 17319 |

Fonte: Adaptado a partir de Lima *et al.* (2018)

Como resultado Lima *et al.* (2018), destacam que na NBR 7190/1997 não há informações sobre a área onde a madeira foi coletada. Porém, neste estudo pode-se observar que os resultados das propriedades de resistência em diferentes locais podem dar resultados diferentes, influenciando diretamente no dimensionamento da estrutura de madeira. A espécie da Região Centro Oeste foi enquadrada na classe de resistência D50 e a da Região Norte na classe D60, conforme a NBR 7190/1977.

6.3 Região Sudeste

Na Região Sudeste houve estudos para oito espécies e entre elas uma bastante conhecida no país a espécie *Caesalpinia echinata* conhecida popularmente por Pau – Brasil. De acordo com Carvalho (2003), a ocorrência natural da espécie pode ser encontrada nos estados de Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte e Sergipe. As demais espécies estudadas no Sudeste foram *Pinus taeda* L., *Caesalpinia echinata*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna*.

Zanuncio *et al.* (2017), testaram uma nova metodologia para avaliar a resistência das árvores à quebra e avaliar as propriedades do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, relacionando-os com a resistência aos danos causados pelo vento e auxiliando no manejo dos danos causados pelo vento na madeira, através de sete clones de cada espécie com dois anos de idade da cidade de Belo Oriente no estado de Minas Gerais. Os autores optaram pela região devido a apresentar alta incidência de danos provocados pelo vento. Foi verificado as propriedades mecânicas das espécies de madeiras para resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) e a resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR), seguindo as recomendações da norma ASTM D 143 e a densidade básica (ρ_{bas}), de acordo com a NBR 11941.

Foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk (avaliar se a distribuição é semelhante a uma distribuição normal) e Bartlett (verificar se as amostras têm homogeneidade de variâncias), ambos a 5% de probabilidade para a análise dos dados e as média dos tratamentos foram comparadas com o teste estatístico de Scott-Knott (testar a probabilidade de que "n" tratamentos podem ser divididos em dois grupos que maximizem a soma de quadrados entre grupos.) também a 5% de probabilidade (Devore; Cordeiro, 2014; Lúcio *et al.*, 2008; Miot, 2017; Ramalho *et al.*, 2000; Zanuncio *et al.* (2017).

É possível observar as características mecânicas da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) e a resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR) e a densidade básica (ρ_{bas}) da relação com a área danificada pelo vento do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* determinadas no estudo de Zanuncio *et al.* (2017) no Quadro 13.

Quadro 13 – Características físicas e mecânicas da relação *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

| Propriedades | <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> | | | | | | |
|-----------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| ρ_{bas} (g/cm ³) | 0,372 | 0,423 | 0,421 | 0,383 | 0,412 | 0,370 | 0,370 |
| f_{c0} (MPa) | 32,90 | 34,10 | 40,70 | 32,80 | 36,10 | 35,60 | 33,90 |
| MOE (MPa) | 5423 | 5643 | 7038 | 5428 | 6235 | 5994 | 4527 |
| $F_{m,k}$ ou MOR (MPa) | 50,70 | 62,76 | 74,63 | 59,33 | 70,22 | 55,31 | 51,78 |

Fonte: Adaptado a partir de Zanuncio *et al.* (2017).

Como resultado Zanuncio *et al.* (2017), concluíram que árvores com alta densidade básica e baixo ângulo de microfibrilas apresentam maior resistência e devem ser recomendadas para área de alta incidência de danos causados pelo vento.

Marini *et al.* (2022), demonstraram a viabilidade de utilizar modelos de regressão na estimativa de propriedades de resistência da madeira de eucalipto utilizando-se conhecimento da densidade aparente e das informações das estruturas anatômicas, através de dez lotes de madeira de diferentes espécies de *Eucalyptus* na região de São Carlos, no estado de São Paulo. Foi verificado as propriedades das espécies de madeiras para resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}), módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) e a densidade aparente a 12% (ρ_{12}), seguindo as recomendações do anexo B da ABNT NBR 7190 para a confecção dos corpos de provas e para a caracterização anatômica das dez espécies seguindo a norma ABNT NBR 15066 e as prescrições da lista de características

microscópicas para identificação de madeira do *International Association of Wood Anatomists* (IAWA). Foram realizados a Análise de Variância (ANOVA) valor-p que analisa a relação entre as propriedades para o teste de correlação de Pearson a 5% de significância.

No Quadro 14, é possível observar a característica física da densidade aparente a 12% (ρ_{12}) e as características mecânicas da resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}), resistência característica à tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$), resistência característica à tração perpendicular às fibras ($f_{t90,k}$) e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) e a classe de resistência (CR) apresentados no estudo de Marini *et al.* (2022).

Quadro 14 – Características físicas e mecânicas das espécies de eucalipto

| Espécies | Propriedades físicas e mecânicas | | | | | | CR |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----|
| | ρ_{12} (g/cm ³) | E_{t0} (MPa) | f_{t0} (MPa) | $f_{t0,k}$ (MPa) | f_{t90} (MPa) | $f_{t90,k}$ (MPa) | |
| E. cloeziana | 0,86 | 14459 | 89,83 | 60,13 | 3,40 | 2,08 | C30 |
| E. camaldulensis | 0,87 | 17803 | 77,75 | 68,18 | 4,85 | 3,63 | C30 |
| E. grandis | 0,67 | 14576 | 70,00 | 41,86 | 3,00 | 1,74 | C20 |
| E. urophylla | 0,74 | 15380 | 84,00 | 54,00 | 4,20 | 3,66 | C40 |
| E. paniculata | 1,09 | 23719 | 147,00 | 120,55 | 5,50 | 3,35 | C40 |
| E. alba | 0,71 | 13888 | 69,00 | 56,11 | 3,60 | 2,43 | C30 |
| E. tereticornis | 0,90 | 17509 | 116,00 | 71,06 | 4,60 | 3,73 | C40 |
| E. microcorys | 0,93 | 19327 | 120,00 | 82,43 | 4,60 | 3,29 | C30 |
| E. propínqua | 0,96 | 16045 | 92,00 | 64,75 | 4,40 | 3,67 | C40 |
| E. saligna | 0,73 | 15981 | 85,00 | 28,88 | 4,10 | 2,86 | C30 |

Fonte: Adaptado a partir de Marini *et al.* (2022).

No Quadro 15, é possível observar as características anatômicas diâmetro dos vasos (D_v), frequência dos elementos dos vasos (F_{rv}) com unidade em vasos/mm², altura dos raios (H_r), largura dos raios (L_r), largura da fibra (L_f), diâmetro da fibra (D_f), diâmetro do lúmen (D_{lu}), espessura da parede (E_{pf}) apresentados no estudo de Marini *et al.* (2022).

Quadro 15 – Características anatômica das espécies de eucalipto

| Espécies | Propriedades anatômicas | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | D _v (mm) | F _{rv} * | H _r (mm) | L _r (mm) | L _f (mm) | D _f (mm) | D _{lu} (mm) | E _{pf} (mm) |
| E. cloeziana | 0,07084 | 20,8006 | 0,14798 | 0,01491 | 0,84633 | 0,01288 | 0,00352 | 0,00468 |
| E. camaldulensis | 0,10475 | 16,2593 | 0,15188 | 0,02082 | 1,05595 | 0,01690 | 0,00582 | 0,00554 |
| E. grandis | 0,12654 | 10,6455 | 0,14153 | 0,01594 | 0,95388 | 0,01550 | 0,00680 | 0,00435 |
| E. urophylla | 0,14495 | 11,2014 | 0,15483 | 0,01187 | 0,85068 | 0,01532 | 0,00840 | 0,00346 |
| E. paniculata | 0,14575 | 1,5914 | 0,28896 | 0,03229 | 2,02036 | 0,04672 | 0,03462 | 0,00605 |
| E. alba | 0,10968 | 20,3822 | 0,14493 | 0,01279 | 1,03177 | 0,01648 | 0,00770 | 0,00439 |
| E. tereticornis | 0,11869 | 12,6855 | 0,16510 | 0,01845 | 0,94569 | 0,01526 | 0,00522 | 0,00502 |
| E. microcorys | 0,14267 | 10,1262 | 0,19915 | 0,01254 | 1,32754 | 0,02072 | 0,00766 | 0,00653 |
| E. propínqua | 0,09422 | 11,6687 | 0,15842 | 0,02434 | 1,06533 | 0,01670 | 0,00484 | 0,00593 |
| E. saligna | 0,12556 | 9,8665 | 0,16109 | 0,01319 | 1,14862 | 0,01414 | 0,00572 | 0,00421 |

Fonte: Adaptado a partir de Marini *et al.* (2022)

Como resultado Marini *et al.* (2022), concluíram que os modelos de regressão para estimar as propriedades das espécies de madeiras são valiosos para explorar o uso das espécies de Eucaliptos nas diversas aplicações da construção civil, diante que os modelos de regressão possibilitam estimar as propriedades de tração em diferentes espécies mediante parâmetros anatômicos (altura dos raios) e da densidade.

Trianoski, De Matos, Iwakiri (2014), avaliaram as propriedades físicas, mecânicas e químicas do *Toona ciliata M. Roem* (cedro australiano) partindo das hipóteses de que a madeira gerada por essa espécie pode apresentar características similares ao mogno, cedro ou outras espécies nativas do Brasil, através de oito árvores de um plantio de 18 anos na região de Corupá, no estado de Santa Catarina, com total anual de precipitação de 2200 mm e temperatura média anual de 22 °C. As propriedades mecânicas e físicas foram analisadas, atendendo às recomendações das normas COPANT 461:1972, COPANT 462:1972 e COPANT 463:1972 as propriedades químicas seguindo as recomendações das normas da *Technical Association of the Pulp & Paper Industry Inc.* (TAPPI), uma associação envolvida nas áreas de celulose e papel.

Os resultados foram submetidos a teste de outliers, normalidade de dados, homogeneidade de variância, análise de variância (95%) e regressão simples.

No Quadro 16, é possível observar as características físicas da densidade básica (ρ_{bas}), contração tangencial (β_{tang}), contração radial (β_{rad}), contração longitudinal (β_{long}), contração volumétrica (β_{vol}) e a coeficiente de anisotropia (AC) e as características mecânicas da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), dureza Janka (f_H) (dizer o significado), resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR) e módulo de elasticidade da flexão estática (MOE), apresentados no estudo de Trianoski, De Matos, Iwakiri (2014).

Quadro 16 – Características físicas e mecânicas

| Espécie | Propriedades | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|------|-----------|----------|----------|------------|-----|-------|
| | Físicas | | | | | | Mecânicas | | | | | |
| | ρ_{bas}^* | β_{tang} | β_{rad} | β_{long} | β_{vol} | AC* | f_{c0} | E_{c0} | f_{v0} | f_H^{**} | MOR | MOE |
| <i>Toona ciliata</i> | 0,33 | 7,13 | 3,29 | 0,13 | 10,56 | 2,22 | 258 | 100813 | 82 | 208 | 498 | 66163 |

* ρ_{bas} tem como unidade g/cm³, AC é adimensional e as demais propriedades tem como unidade %.

** f_H tem como unidade Kgf e as demais possuem unidade Kgf/cm².

Fonte: Adaptado a partir de Trianoski, De Matos, Iwakiri (2014).

Como resultado Trianoski, De Matos, Iwakiri (2014), concluíram que a espécie *Toona ciliata* não apresenta resultado que comprometa ou gere elevado desgaste as ferramentas de corte, no entanto no processo de industrialização que envolve polimerização de resinas é necessário a tipificação dos clones. A espécie apresenta propriedades mecânicas e físicas inferiores, podendo ser utilizada como matéria prima para produção moveleira.

6.4 Região Nordeste e Sudeste

Santos Marques *et al.* (2012), compararam a densidade específica aparente e a retratibilidade de amostras de pau-brasil oriundas de reflorestamento com idades de 10, 15, 20, 26 e 30 anos com amostras de reflorestamento provenientes de populações naturais de Bioma Mata Atlântica no Espírito Santo e as amostras da espécie nativa foram doações do IBAMA proveniente de um lote de madeira apreendidas no Espírito Santo procedente de uma área de bioma natural de Mata Atlântica no Estado da Bahia. Foi verificado que o tipo de solo predominante da área são Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso (LVAd), Podzólico Vermelho Amarelo abrupto

(Pvad) e solo tipo Gley, o relevo da área é suave ondulado e a temperatura média anual varia entre 21,3 e 24,4 °C, os meses mais quentes são janeiro e fevereiro e os meses com a mínima média mensal em julho e agosto e a precipitação anual é de 1200 mm.

Para a realização dos ensaios seguiu as recomendações do Método Brasileiro (MB) 26/1940 da ABNT com algumas alterações no que se refere à determinação do volume pelo método brasileiro, com substituição do mercúrio pela água nas amostras saturadas. Foram utilizadas as funções da média, desvio padrão, coeficiente de variação e a verificação de ocorrência de diferenças entre os tratamentos. Foram realizados também a Análise de Variância (ANOVA) que compara as médias de grupos independentes e verificada a significância do F através do teste de Tukey (compara todos os pares de médias possíveis e leva em consideração os percentis dos grupos com base na diferença mínima significativa) para a verificação da ocorrência de diferença estatística entre os tratamentos, a 5% de significância (Devore; Cordeiro, 2014; Santos Marques *et al.*, 2012).

É possível observar os resultados da densidade específica aparente (ρ_{ap}), retratibilidade e o coeficiente de anisotropia (AC) que segundo com Santos; Asakawa; Brandão (2016), é uma média dos coeficientes de anisotropia plástica, obtidos no ensaio de tração e apresenta a dissimilitude de anisotropia no material em relação as suas macroscópicas da espécie Pau-Brasil determinadas no estudo de Santos Marques *et al.* (2012), no Quadro 17.

Quadro 17 – Características da espécie Pau-Brasil

| Propriedades | | Espécie de reflorestamento (anos) | | | | | Espécie Nativa |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | |
| ρ_{ap} (g/cm ³) | Básica | 0,71 | 0,77 | 0,81 | 0,76 | 0,86 | 0,86 |
| | Anidra | 0,82 | 0,90 | 0,95 | 0,87 | 0,98 | 0,98 |
| Retratibilidade (%) | Radial | 5,68 | 5,90 | 6,39 | 6,16 | 5,03 | 4,68 |
| | Tangencial | 9,23 | 10,26 | 10,64 | 8,62 | 8,62 | 8,46 |
| | Volumétrica | 15,17 | 16,24 | 17,28 | 14,97 | 13,51 | 14,19 |
| AC | | 1,62 | 1,66 | 1,62 | 1,38 | 1,81 | 1,81 |

Fonte: Adaptado a partir de Santos Marques *et al.* (2012).

Como resultado Santos Marques *et al.* (2012), concluíram que para a madeira de reflorestamento de 30 anos, a densidade básica aparente (ρ_{ap}) e a densidade anidra não apresentou diferença estatística, a contração linear radial também não variou significativamente com relação à madeira nativa, a contração volumétrica apresentou uma pequena variação entre as espécies de 10, 25 e 30 anos em relação a espécie nativa. Na retratibilidade tangencial, a

espécie nativa apresentou resultado inferior em relação as espécies de 20 e 15 anos. Já o coeficiente de anisotropia a espécies de 25 anos apresentou uma diferença estatisticamente significativa quando comprado as demais amostras. Desta forma, os autores concluíram que os resultados indicam diferença significativa entre as madeiras de 25 e 30 anos com relação à densidade e que a madeira de 30 anos de idade é tão estável em termos dimensionais, quanto a madeira nativa, o que poderá atribuir a madeira de 30 anos os mesmos usos da madeira nativa.

6.5 Região Nordeste

Gonçalves *et al.* (2009), determinaram algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de duas idades e provenientes de talhada simples e de reforme, com 15 árvores abatidas de um clone das espécies com 3 extratos proveniente dos municípios de Mucuri e Nova Viçosa no estado da Bahia. Foi verificado que o solo pertence a formação de Barreiras, sendo predominante da área são Podzólico Amarelo Distrófico, relevo suave a plano, clima tropical chuvoso quente, com temperatura superior a 18 °C no mês mais frio e no mês mais seco com precipitação em torno de 60 mm. Para a realização dos ensaios, os corpos de prova foram confeccionados seguindo as recomendações do Método Brasileiro (MB) 26/1940 da ABNT e da NBR 7190. Os dados foram analisados através da estatística descritiva e da análise de regressão no nível de significância de 5%.

É possível observar as características gerais, os resultados da densidade (ρ_{bas}), resistência à compressão axial, resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR) e o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) de cada extrato, determinadas no estudo de Gonçalves *et al.* (2009), no Quadro 18.

Quadro 18 – Características gerais e mecânicas da relação entre as espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

| Características Gerais | Extratos | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-------|
| | E1 | E2 | E3 | |
| Época do plantio | 03/1999 | 03/1991 | 06/1999 | |
| Condução do plantio | Talhadia | Reforma | Reforma | |
| Espaçamento (m) | 3,0 x 3,0 | 3,0 x 3,0 | 6,0 x 2,5 | |
| Capina química (unidade) | 04 | 07 | 01 | |
| Roçada manual (unidades) | 04 | 04 | 04 | |
| Idade de corte (meses) | 70 | 166 | 70 | |
| Desbaste (meses) | 30 | 117 e 153 | 42 | |
| Nº de cepas (a partir de 9 meses) | 01 | 01 | 01 | |
| Volume de madeira/há (m ³) | 169,01 | 364,07 | 119,27 | |
| Densidade na época de corte (árvore/há) | 150 | 325 | 150 | |
| Características Mecânicas da Madeira seca | | | | |
| Toras | E1 | E2 | E3 | |
| MOR (MPa) | 1 | 82,95 | 103,20 | 83,21 |
| | 2 | 89,47 | 101,40 | 91,70 |
| MOE (MPa) | 1 | 9798 | 12474 | 9652 |
| | 2 | 10883 | 12781 | 10900 |
| Compressão axial (MPa) | 1 | 49,80 | 67,38 | 51,17 |
| | 2 | 53,96 | 67,08 | 55,17 |
| Densidade (g/cm ³) | 1 | 0,45 | 0,53 | 0,49 |
| | 2 | 0,49 | 0,56 | 0,49 |
| Características Mecânicas da Madeira verde | | | | |
| Toras | E1 | E2 | E3 | |
| MOR (MPa) | 1 | 64,60 | 70,00 | 68,00 |
| | 2 | 70,90 | 68,20 | 72,80 |
| MOE (MPa) | 1 | 8172 | 9874 | 8490 |
| | 2 | 9396 | 9964 | 9526 |
| Compressão axial (MPa) | 1 | 33,70 | 36,10 | 35,60 |
| | 2 | 37,60 | 39,70 | 37,30 |

Fonte: Adaptado a partir de Gonçalves *et al.* (2009).

Como resultado Gonçalves *et al.* (2009), concluíram que a segunda tora os maiores resultados absolutos nos extratos com relação as propriedades mecânicas, os E1 e E3 apresentam comportamento parecido entre as toras em todas as propriedades mecânicas e que o espaçamento e o desbaste aparentemente não influenciaram as propriedades mecânicas módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR) e o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) nos extratos de mesma idade.

Gomes *et al.* (2007), determinaram as características tecnológicas da madeira *Prosopis juliflora*, conhecida como Algaroba para indicar alternativas no uso nas construções rurais, com 5 árvores com idade estimada 10,8 anos, proveniente dos municípios de Coxixola, na região dos Cariris Velhos no estado da Paraíba. Foi verificado que o solo são os Planossolos e Podzólicos e os solos Litólicos, vegetação caatinga que varia de herbácea a arbustiva, clima

muito seco com chuvas escassas, com temperatura média anual de 25 °C e com precipitação pluviométrica média local de 788,60 mm. Para a realização dos ensaios, os corpos de prova foram confeccionados seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 7190. Os resultados dos ensaios foram comparados com o estudo realizado em 23 espécies por Calil Júnior *et al.* (2000).

É possível observar as propriedades mecânicas da Algaroba de resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), densidade básica (ρ_{bas}) e densidade aparente (ρ_{ap}), determinados no estudo de Gonçalves *et al.* (2009) no Quadro 19.

Quadro 19 – Características da espécie *Prosopis juliflora* - Algaroba

| Nome Vulgar | Nome científico | ρ_{bas} (kg/m ³) | ρ_{ap} (kg/m ³) | f_{c0} (MPa) | f_{v0} (MPa) | f_{t0} (MPa) | E_{c0} (GPa) |
|-------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Algaroba | <i>Prosopis juliflora</i> (SW.) DC. | 932,14 | 1068,58 | 86,60 | 25,75 | 146,70 | 22,33 |

Fonte: Adaptado a partir de Gomes *et al.* (2007).

Como resultado Gomes *et al.* (2007), concluíram que a madeira de espécies Algaroba é de boa qualidade, equiparando-se às tradicionais e conceituadas madeira de uso comum na construção civil, em relação aos resultados de resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), densidade básica (ρ_{bas}) e densidade aparente (ρ_{ap}), a madeira é próximo daquelas espécies classificadas como C60 e que a única propriedade mecânica que ficou abaixo dos valores estabelecidos pela a NBR 7190 Para a C60 foi o módulo de elasticidade.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir é apresentado o comparativo entre as normas NBR 7190, ASTM D143 E EN 1995-1-1 e os comparativos entre as espécies do mesmo país da RSL, entre as espécies brasileira do estudo de Pereira *et al.* (1970), entre as espécies brasileira da RSL, bibliografia e Pereira *et al.* (1970).

Os comparativos entre as espécies são relacionados entre as mesmas propriedades, em busca das espécies com os melhores resultados e a análise percentual entre as espécies analisadas, de acordo com a Equação 3.

$$\%_{X_{wa}} = \left(\frac{X_{wa} \cdot 1}{X_{wb}} \right) 100 \quad (3)$$

Onde:

$\%_{X_{wa}}$: Porcentagem da espécie A em relação a espécie B da propriedade mecânica em análise.

X_{wa} = Valor da propriedade mecânica em análise da espécie A.

X_{wb} = Valor da propriedade mecânica em análise da espécie B.

7.1 Comparativo entre a norma brasileira NBR 7190 com as normas ASTM D143 e EN 1995-1-1 utilizadas para os estudos das propriedades mecânicas das espécies

A NBR 7190, *Eurocode* 1995-1-1 e a ASTM D143 são padrões cruciais na engenharia de estruturas de madeira nos seus respectivos contextos nacionais e internacionais. Cada norma é criada para atender às necessidades específicas de cada região, levando em conta as práticas de construção, os materiais disponíveis e as considerações ambientais distintas.

Apesar das três normas abordarem o projeto de estruturas em madeira, existem diferenças significativas nos enfoques estruturais e nas propriedades mecânicas consideradas. A NBR 7190 tem foco nacional, a EN 1995-1-1 se destaca por sua aplicabilidade internacional, refletindo padrões europeus e a ASTM D 143, embora reconhecida globalmente, tem ênfase mais específica nos métodos de teste contribuindo assim na padronização global de qualidade na indústria madeireira.

Enquanto, a NBR 7190 se destaca por sua capacidade de se adaptar às particularidades da construção civil no Brasil, levando em consideração os aspectos climáticos do país e os materiais disponíveis. Já a norma EN 1995-1-1 trata da complexidade do clima europeu, destacando as diferenças na consideração das variáveis ambientais e se destaca pela sua

abordagem integrada, que promove a inovação na engenharia de madeira e está alinhada com padrões globais. Enquanto isso, a norma ASTM D143, mesmo focada em métodos de teste, contribui para os padrões internacionais de qualidade e é aplicável em diversos contextos da indústria da madeira.

Destaca ainda que a NBR 7190 e a ASTM D 143 descrevem procedimentos para amostragem e determinação das propriedades estruturas da madeira, enquanto a EN 1995-1-1 não descreve. Já a EN 1995-1-1 e a NBR 7190 tratam-se sobre projetos de estruturas de madeiras com requisitos que devem ser atendidos durante o projeto de uma estrutura de madeira.

Em relação à inclusão de propriedades e métodos de teste, a ASTM D143, concentra-se nos métodos de teste, destacando-se pela inclusão minuciosa de propriedades mecânicas na análise de pequenas amostras de madeira. Comparativamente, a NBR 7190 e a EN 1995-1-1, enquanto abordam essas propriedades, têm uma ênfase maior na aplicação prática e no dimensionamento estrutural.

As normas diferem no foco das propriedades mecânicas analisadas nos testes. A NBR 7190 e o *Eurocode* 1995-1-1 focam na resistência e durabilidade, dando ênfase a determinadas propriedades dependendo das condições climáticas locais. Em contrapartida, a ASTM D143 foca na análise detalhada, incluindo propriedades como módulo de elasticidade, compressão, tensão e cisalhamento. No entanto, as três normas abordam as propriedades mecânicas fundamentais.

Para a classificação das propriedades, a NBR 7190/2022 caracteriza a partir da homogeneidade da madeira, ou seja, quando o coeficiente de variação da resistência à flexão das peças, determinado de acordo com a NBR 7190-4, 8.2, for inferior a 20 %, é considerado um lote homogêneo. Assim, de acordo com o item 5.7 da NBR 7190-1, se o lote for do tipo de floresta nativa deve seguir as recomendações da NBR 7190-3, se for do tipo de floresta plantada não homogênea deve seguir as recomendações da NBR 7190-2 e se for do tipo de floresta plantada homogênea deve seguir as recomendações da NBR 7190-4. Já para as peças de fabricação, a eficiência dos produtos fabricados pelas indústrias deve ser de acordo com a NBR 7190-6 e NBR 7190-7.

A NBR 7190 determina uma série de propriedades referente à condição-padrão de umidade ($U=12\%$) como resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$), rigidez longitudinal ou módulo

de elasticidade na compressão paralela às fibras (E_{c0}), resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$), resistência à compressão perpendicular às fibras ($f_{c,90}$), rigidez perpendicular às fibras ou módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras (E_{c90}), resistência à tração perpendicular às fibras ($f_{t,90}$), resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v,0}$), resistência de embutimento paralelo às fibras ($f_{e,0}$), resistência de embutimento perpendicular às fibras ($f_{e,90}$), resistência ao fendilhamento (f_{s0}), resistência à flexão (f_M) e densidade aparente (ρ_{ap}). A NBR 7190, apresenta as dimensões mínimas para cada ensaio e no capítulo 8 serão as dimensões mínimas para a realização de ensaios para novas espécies.

A norma ASTM D143 trata dos métodos de teste para pequenas amostras de madeira e não incluem diretrizes específicas sobre práticas de plantio florestal, como o espaçamento ideal entre as árvores. A norma foca na definição de protocolos padronizados para a execução de testes de laboratório em amostras de madeira e enfatiza que a resistência da madeira é influenciada pela interação entre temperatura e umidade relativa, o que afeta seu teor de umidade de equilíbrio.

É possível realizar os ensaios tanto em madeira verde quanto em madeira seca ao ar, conforme indicado na norma. A ASTM D143 utiliza métodos convencionais, utilizando amostras de 2 x 2 polegadas (50,8 x 50,8 mm), que são comumente utilizados para avaliar as propriedades mecânicas de várias espécies. Contudo, se não for possível obter amostras para o método primário, a norma requer o uso do método secundário, que utiliza amostras de 1 x 1 polegada (25,4 por 25,4 mm) para testes específicos, enquanto mantém o uso de espécimes de 2 x 2 polegadas para outros ensaios.

O *Eurocode* confere autoridade aos organismos reguladores em cada Estado-Membro, permitindo-lhes definir valores para a segurança regulamentar nacional, assim a EN 1995-1-1, ao tratar dos princípios de segurança, operabilidade e durabilidade das estruturas de madeira, introduz o conceito de estado limite e método dos fatores parciais, fornecendo os procedimentos e valores alternativos, enfatizando situações em que decisões são necessárias.

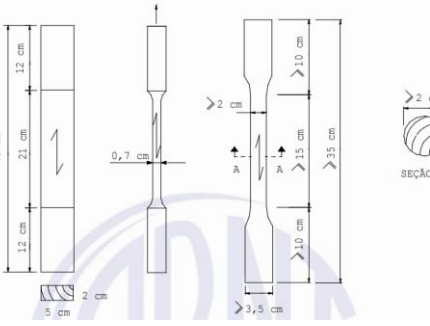
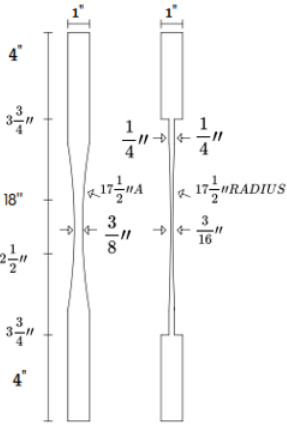
Esta norma se aplica ao projeto de edifícios de madeira e obras civis, abrangendo uma ampla gama de formas e produtos, desde madeira maciça até estruturas complexas. Seguindo os princípios da EN 1990:2002, a EN 1995 dá prioridade à resistência mecânica, facilidade de

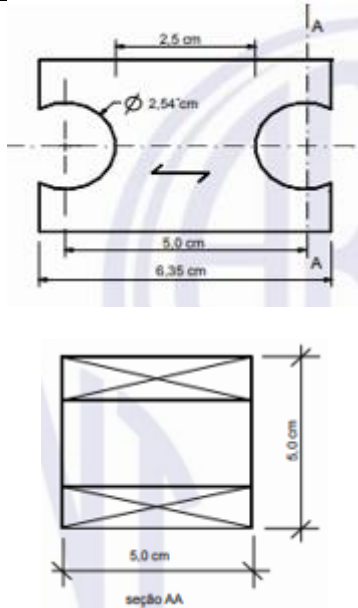
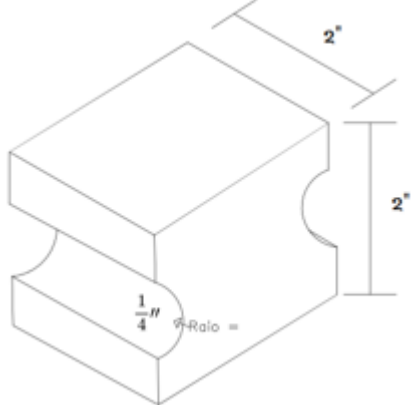
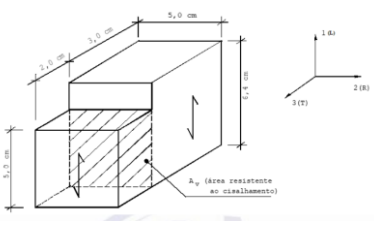
utilização, durabilidade e resistência ao fogo das estruturas de madeira, sem abranger considerações como o isolamento térmico ou acústico.

O Quadro 20 detalha as principais diferenças entre as normas NBR 7190 e ASTM D 143, destacando suas abordagens específicas em relação aos métodos de teste, como corpos de prova e procedimentos de realização dos ensaios. O quadro fornece uma visão comparativa clara das especificidades da norma brasileira e americana, permitindo uma compreensão abrangente das diferentes abordagens adotadas em relação à caracterização mecânica das madeiras das regiões diferentes.

Quadro 20 – Principais diferenças entre a NBR 7190 e a ASTM D 143.

| Ensaio | | NBR 7190 | ASTM D 143 |
|------------------------------------|------------------|---|---|
| Flexão estática | Corpos de Provas | Os corpos de prova devem ter forma prismática, de seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 5 cm de lado e comprimento, na direção paralela às fibras, de 115 cm. | 50 x 50 x 760 mm (2 x 2 x 30 pol.) - primários 25 x 25 x 410 mm (1 x 1 x 16 pol.) - secundários |
| | Procedimentos | O carregamento consiste em uma força concentrada aplicada por meio de um cutelo acoplado ao atuador; no ensaio para determinação da resistência convencional à flexão, o carregamento deve ser monotônico crescente com uma taxa em torno de 10 MPa/min. | Usa carga central e um comprimento de extensão de 710 mm (28 pol.) para o método primário e 360 mm (14 pol.) para o método secundário. |
| Compressão paralela às fibras | Corpos de Provas | Os corpos de prova devem ter forma prismática com seção transversal quadrada, de dimensões nominais 5 cm de lado, e comprimento de 15 cm. | 50 x 50 x 200 mm (2 x 2 x 8 pol.) - primários 25 x 25 x 100 mm (1 x 1 x 4 pol.) - secundários |
| | Procedimentos | A resistência deve ser determinada com carregamento monotônico crescente com uma taxa em torno de 10 MPa/min; para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaio, deve-se utilizar uma rótula entre o atuador e o corpo de prova; no caso do emprego de extensômetros, as medidas das deformações específicas devem ser feitas com precisão mínima de 50 µm/m; | Deve garantir que as superfícies das extremidades do grão fiquem paralelas entre si e em ângulos retos em relação ao eixo longitudinal. Pelo menos um cilindro da máquina de teste deve ser equipado com um rolamento esférico para obter uma distribuição uniforme da carga sobre as extremidades do corpo de prova. |
| Compressão perpendicular às fibras | Corpos de Provas | O corpo de prova deve ter forma prismática, de seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 5 cm de lado e altura, na direção tangencial, de 10 cm. | 50 x 50 x 150 mm (2 x 2 x 6 pol.) |
| | Procedimentos | O carregamento deve ser aplicado de preferência na direção tangencial. o carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 10 MPa/min. | A carga deve ser aplicada por meio de uma placa metálica de apoio de 50 mm (2 pol.) de largura, colocada na superfície superior do corpo de prova a distâncias iguais das extremidades e em ângulo reto com o comprimento. |
| Dureza | Corpos de Provas | Os corpos de prova devem ter forma prismática de seção quadrada, com dimensões nominais de 5 cm e | 50 x 50 x 150 mm (2 x 2 x 6 pol.) |

| | | | |
|----------------------------------|-------------------------|--|---|
| | | comprimento, ao longo das fibras, de 15 cm, | |
| | Procedimentos | O ensaio deve ser feito nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira; para aplicar o carregamento ao corpo de prova, deve-se utilizar um dispositivo especial entre o atuador e o corpo de prova. o carregamento deve ser monotônico crescente aplicado até que a esfera penetre a uma profundidade igual ao seu raio, em um período de pelo menos 1 min. | Use o teste da bola modificado com uma "bola" de 11,3 mm (0,444 pol.) de diâmetro para determinar a dureza. A área projetada da esfera no corpo de prova é de 1 cm ² . Registre a carga na qual a esfera penetrou até a metade de seu diâmetro, conforme determinado por um indicador de circuito elétrico ou pelo aperto do colar contra o corpo de prova. Duas penetrações devem ser feitas em uma superfície tangencial, duas em uma superfície radial e uma em uma superfície radial em cada extremidade. A escolha entre as duas superfícies radiais e entre as duas tangenciais deve ser feita de modo a proporcionar uma média justa da peça. As penetrações devem estar suficientemente afastadas da borda para evitar rachaduras ou lascas. |
| Umidade | Corpos de Provas | O corpo de prova deve ter seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2 cm x 3 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5 cm. | A amostras para a determinação da umidade de cada corpo de prova deve ser selecionada conforme descrito para cada teste. |
| | Procedimentos | determinar a massa inicial (mi) do corpo de prova com precisão de 0,01 g; colocar o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de 103 °C ± 2 °C. durante a secagem, a massa do corpo de prova deve ser medida a cada 6 h, até que ocorra uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5 % da última massa medida. Esta massa é considerada como a massa seca (ms); determinar a umidade, conforme equação: $U (\%) = ((mi - ms) / ms) * 100$. | Imediatamente após a obtenção da amostra da umidade, todas as lascas soltas devem ser removidas e a amostra deve ser pesada. As amostras de umidade devem ser empilhadas em uma estufa e secas a uma temperatura de 103 ± 2°C até atingir uma massa aproximadamente constante, após a massa seca na estufa deve ser determinada. A perda de massa, expressa em porcentagem da massa seca na estufa, conforme determinado, deve ser considerada o teor de umidade do corpo de prova. |
| Tração paralela às fibras | Corpos de Provas |  |  |

| | | | |
|--|-------------------------|---|---|
| | Procedimentos | <p>O carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 10 MPa/min; para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaios, devem ser utilizados pares simétricos de garras; no caso do emprego de extensômetros, as medidas das deformações específicas devem ser feitas com precisão mínima de 50 $\mu\text{m/m}$.</p> | <p>Fixe o corpo de prova em garras especiais. A deformação deve ser medida em um comprimento de medição central de 50 mm (2 pol.) em todos os corpos de prova.</p> |
| Tração perpendicular às fibras | Corpos de Provas |  |  |
| | Procedimentos | <p>O carregamento deve ser aplicado de preferência na direção tangencial. O carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 2,5 MPa/min.</p> | <p>Prenda os corpos de prova durante o teste de garras</p> |
| Cisalhamento paralelo às fibras | Corpos de Provas |  | <p>50 x 50 x 63 mm (2 x 2 x 2.1/2 pol.) entalhados para produzir falha em uma superfície de 50 x 50 mm (2 x 2 pol.)</p> |
| | Procedimentos | <p>O carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 2,5 MPa/min.</p> | <p>Use uma ferramenta de cisalhamento com um deslocamento de 3 mm (1/8 pol.) entre a corda interna da superfície de suporte e o plano da borda adjacente da superfície de carga. Aplique a carga e apoie o corpo de prova nas superfícies das extremidades. Observar ao colocar o corpo de prova no equipamento para verificar se a barra transversal está ajustada, de modo que as bordas do corpo de prova fiquem verticais e a extremidade fique apoiada uniformemente no suporte sobre a área de contato.</p> |

Fonte: Adaptado a partir de ABNT (2022); ASTM (2014).

É possível observar no Quadro 25, as diferenças encontradas entre as duas normas. Para a flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza, umidade, tração paralela e perpendicular às fibras, e cisalhamento paralelo às fibras, são fornecidos os tipos de corpos de prova, dimensões, e procedimentos de realização dos ensaios. Ambas as normas estabelecem métodos rigorosos para garantir a precisão e consistência dos resultados, embora haja diferenças nas especificações e abordagens utilizadas. No Quadro 26, detalha as principais diferenças entre as normas NBR 7190 e EN 1995-1, destacando suas abordagens específicas em relação ao projeto de estruturas de madeira.

Quadro 21 – Principais diferenças entre a NBR 7190 e a EN 1995-1.

| Diferenças | NBR 7190 | EN 1995 |
|---|---|---|
| Aplicação | Específica para o projeto de estruturas de madeira no Brasil, considerando as particularidades do clima, espécies de madeira e práticas construtivas locais. | Aplicável a toda a União Europeia e abrange diferentes condições climáticas e tipos de madeira. |
| Caracterização da madeira | Específicas critérios para classificação visual e mecânica da madeira. | Considera a caracterização mecânica da madeira para o projeto de estruturas. |
| Cargas e combinações | Define as cargas a serem consideradas no projeto, como cargas permanentes (como o peso próprio da estrutura e das coberturas) e as ações variáveis (como cargas de uso e vento). Ela também considera combinações de cargas para dimensionamento. | Também aborda as ações permanentes e variáveis e combinações de cargas. |
| Métodos de cálculo | Método dos estados limites. | Métodos dos estados limites. Uso dos métodos dos elementos finitos (ou métodos clássicos matemáticos) para cálculos de ações e tensões. |
| Fator de segurança | Aborda fatores de segurança. | Aborda fatores de segurança. |
| Detalhes construtivos | Fornecer orientações específicas para conexões, emendas e detalhes construtivos, como sobre fixações, ligações e encaixes. | Fornecer orientações específicas para ligações, fixações, encaixes, emendas, proteção contra umidade e isentos, detalhes para durabilidade, detalhes para conexão com outros materiais. |
| Sustentabilidade e eficiência energética | Incorpora atualizações para atender às demandas contemporâneas, como sustentabilidade e eficiência energética. | Não foi encontrado especificações sobre sustentabilidade e eficiência energética. |
| Propriedades dos materiais | Fornecer informações sobre as características da madeira que são relevantes para o dimensionamento, como resistência à tração e compressão. | Específicas valores de resistência e rigidez para diferentes tipos de madeira, como madeira maciça, laminada colada e painéis de madeira. |
| Durabilidade | Oferece informações atualizadas sobre tratamentos preservativos, considerando diferentes ambientes e exposição às intempéries. | Aborda a resistência da madeira a organismos biológicos e à corrosão. |
| Situação de incêndio | Fornecer informações. | Fornecer informações. |
| Controle de qualidade industrial | Fornecer informações. | Não foi encontrado informações. |

Fonte: Adaptado a partir de ABNT (2022); CEN (2004).

É possível observar no Quadro 26, as diferenças encontradas entre as duas normas. Destacando suas distintas abordagens em relação à aplicação, caracterização da madeira, cargas e combinações, métodos de cálculo, fator de segurança, detalhes construtivos, sustentabilidade e eficiência energética, propriedades dos materiais, durabilidade, situação de incêndio e controle de qualidade industrial. O Quadro fornece uma visão comparativa clara das especificidades da norma brasileira e europeia de orientam o projeto e a construção de estruturas de madeira em diferentes contextos geográficos e regulatórios, permitindo uma compreensão mais abrangente das práticas e exigências específicas em cada região.

7.2 Comparativos entres as espécies do mesmo país da RSL

Segundo Sá (2014), as impressionantes amplitudes de temperatura estão se tornando cada vez mais imprevisíveis e, junto com elas, a umidade do ar com suas altas variações, que afeta diversas áreas da construção, inclusive aquelas que utilizam estruturas de madeira. Isso porque a umidade muda em função da exposição ao clima externo ou do tipo de uso utilizado, e como a madeira é um material higroscópico, ela tem a propriedade de trocar umidade com o ambiente até atingir o equilíbrio.

Desta forma, os estudos em que foram efetuadas análises percentuais entre as propriedades das espécies distintas com o objetivo de identificar espécies com as melhores resistências para o uso na construção civil para fins estruturais, foram as pesquisas realizadas no Brasil devido terem sido realizados experimentos conforme a NBR 7190, na Espanha conforme a EN 408 e em Portugal de acordo com as EN 408 e EN 384.

Observa-se no Quadro 22, em Portugal, que as espécies *Blackwood* e *Iroko* foram as que tiveram os melhores desempenhos. E na Espanha, a espécie *Quercus robur*, apresentou o melhor desempenho entre as quatro espécies apresentadas.

Quadro 22 – Comparativo das propriedades mecânicas e físicas entre as espécies de madeiras portuguesas.

| Ensaíos | Espécies | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Portuguesas | | | | Espanholas | | | |
| | Carvalho | <i>Blackwood</i> | Castanheira | Iroko | <i>Quercus robur</i> | <i>Pinus uncinata</i> | <i>Populus e euramericana</i> | <i>Picea abies</i> |
| Densidade | 798,53 kg/m ³ | 646 kg/m ³ | 593,11 kg/m ³ | - | 690 kg/m ³ | 512 kg/m ³ | - | 420 kg/m ³ |
| Flexão estática | 19,09 MPa | 68,6 MPa | 74,05 MPa | - | - | - | - | - |
| Densidade a 12% | - | 647 kg/m ³ | - | 743,12 kg/m ³ | - | - | - | - |
| Resistência de força de dobra | - | 65,2 MPa | - | 105,3 MPa | - | - | - | - |
| Módulo dinâmico | - | 14104 MPa | - | 15880 MPa | - | - | - | - |
| Resistência à compressão paralela | - | - | - | - | 45 MPa | - | 34,4 MPa | 22 MPa |
| Resistências ao cisalhamento paralela | - | - | - | - | 4 MPa | - | - | 2,5 MPa |
| Resistências a tração paralela | - | - | - | - | 23 MPa | - | - | 14 MPa |
| Resistência à flexão estática | - | - | - | - | 33 MPa | - | - | 24 MPa |
| Módulo de cisalhamento paralelo | - | - | - | - | 850 MPa | - | - | 460 MPa |
| Módulo de elasticidade paralela | - | - | - | - | 14400 MPa | - | - | 12500 MPa |

Fonte: adaptado a partir de Burgers *et al.* (2019); Cunha *et al.* (2021); Estévez-Cimadevila *et al.* (2018); Martins *et al.* (2020); Raposo *et al.* (2018); Rescalvo *et al.* (2020).

No Brasil, algumas espécies se destacaram pelos seus desempenhos. Para a resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), a Guarucaia (*Peltophorum vogelianum Benth.*) teve o

melhor resultado de 77 MPa, quando comparado a Mandioqueira (*Qualea albiflora*) com 74,2 MPa, estudos realizados por Christoforo *et al.* (2019) e Morando *et al.* (2019).

Para a resistência a dureza paralela, a Mandioqueira (*Qualea albiflora*) teve o melhor resultado de 111,1 MPa, quando comparado a Castelo (*Calycophyllum multiflorum*) com 101 MPa, estudos realizados por Morando *et al.* (2019) e Christoforo *et al.* (2017).

Para a resistência à compressão perpendicular às fibras (f_{c90}), a Castelo (*Calycophyllum multiflorum*) teve o melhor resultado de 12 MPa, quando comparado a Seringueira (*Hevea brasiliensis*) com 11,2 MPa, estudos realizados por Christoforo *et al.* (2017) e Eufraide Junior *et al.* (2015).

Para a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), a Sucupira teve o melhor resultado de 93,7 MPa, quando comparado ao Jatobá com 93,5 MPa, estudos realizados por Christoforo *et al.* (2020).

Para a resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), a *Corymbia citriodora* teve o melhor resultado de 123,6 MPa, quando comparado a *Eucalyptus tereticornis* com 116 MPa, estudos realizados por Nogueira *et al.* (2021) e Nogueira *et al.* (2020).

Para a resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}), a Castelo (*Calycophyllum multiflorum*) teve o melhor resultado de 7 MPa, quando comparado a Guaruaia (*Peltophorum vogelianum Benth.*) com 5,6 MPa, estudos realizados por Christoforo *et al.* (2017) e Christoforo *et al.* (2019).

Para a resistência ao rompimento ao cisalhamento, a Castelo (*Calycophyllum multiflorum*) teve o melhor resultado de 1,4 MPa, quando comparado à Guaruaia (*Peltophorum vogelianum Benth.*) com 1 MPa, estudos realizados por Christoforo *et al.* (2017) e Christoforo *et al.* (2019). Para a resistência à flexão estática, a *Eucalyptus maidenii* teve o melhor resultado de 225 MPa, quando comparado a Jatobá com 161,3 MPa, estudos realizados por Nogueira *et al.* (2018) e Christoforo *et al.* (2020).

Para o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE), a *Corymbia citriodora* teve o melhor resultado de 19317,8 MPa, quando comparado à Mandioqueira (*To Qualea albiflora*) com 18436 MPa, estudos realizados por Nogueira *et al.* (2021) e Morando *et al.* (2019).

Para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), a Mandioqueira (*Qualea albiflora*) teve o melhor resultado de 19143 MPa, quando comparado à *Corymbia citriodora* com 18114 MPa, estudos realizados por Morando *et al.* (2019) e Nogueira *et al.* (2021). Para o módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras (E_{c90}), a *Eucalyptus urophylla* teve o melhor resultado de 640,7 MPa, quando comparado a *Corymbia citriodora* com 626,9 MPa, estudos realizados por Lahr *et al.* (2017) e Nogueira *et al.* (2021).

Para o módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}), a *Eucalyptus maidenii* teve o melhor resultado de 18932,2 MPa, quando comparado à Mandioqueira (*Qualea albiflora*) com 18738 MPa, estudos realizados por Nogueira *et al.* (2018) e Morando *et al.* (2019).

Para o módulo de elasticidade obtido por vibração longitudinal e transversal, a *Eucalyptus sp* teve o melhor resultado de 17147 MPa e 18808 MPa, quando comparado a *Pinus oocarpa* (40x240x2010mm) com 14809 MPa e 15408 MPa respectivamente, em estudos realizados por Segundinho *et al.* (2012).

7.3 Comparativos entre as espécies brasileiras do estudo de Pereira *et al.* (1970)

É imprescindível destacar que as espécies analisadas por Pereira *et al.* (1970) são espécies da região Nordeste do Brasil, com a maioria das espécies nativas do Estado de Pernambuco, tendo somente algumas espécies que também foram encontradas nos Estados de Alagoas, Bahia e Maranhão e uma espécie foi encontrada nos Estados Amazônia e Pará na região Norte do país.

No estudo realizado foram analisadas espécies de madeiras que são da mesma família de algumas espécies de madeiras da RSL. São espécies da mesma família, mas de subfamília, ordem e classes diferentes, conforme o Quadro 23.

Quadro 23 – Espécies da mesma família dos estudos.

| Estudo | Nome Popular | Classificação Botânica | Família |
|---------------------------------|------------------------|--|-------------------------|
| Pereira <i>et al.</i> (1970) | Cega machado | <i>Licania kunthiana</i> Hook, f. | <i>Chrysobalanaceae</i> |
| | Embirindiba | <i>Terminalia</i> sp. | <i>Combretaceae</i> |
| | Ingá porco | <i>Sclerolobium densiflorum</i> Benth. | <i>Caesalpiniaceae</i> |
| | Jatobá | <i>Hymenaea</i> sp. | <i>Caesalpiniaceae</i> |
| | Jitaí preto | <i>Cassia apoicouita</i> Aubl. | <i>Caesalpiniaceae</i> |
| | Louro babão | <i>Ocotea</i> sp. | <i>Lauraceae</i> |
| | Maçaranduba | <i>Manilkara salzmanii</i> (Al. DC) Lam. Vel aff | <i>Sapotaceae</i> |
| | Pau d'arco | <i>Tabebuia</i> sp. | <i>Bignoniaceae</i> |
| | Visgueiro | <i>Parkia pendula</i> Benth | <i>Mimosaceae</i> |
| RSL | Acacia Australiana | <i>Acacia mangium</i> | <i>Mimosaceae</i> |
| | Angico Preto | <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) | <i>Mimosaceae</i> |
| | Eusideroxylon zwa-geri | <i>Eusideroxylon zwa-geri</i> | <i>Lauraceae</i> |
| | Garapa | <i>Apuleia Leiocarpa</i> | <i>Caesalpiniaceae</i> |
| | Guaruaia | <i>Parapiptadenia Rígida</i> | <i>Mimosaceae</i> |
| | Ipê | <i>Handroanthus</i> | <i>Bignoniaceae</i> |
| | Itaúba | <i>Mezilaurus Itauba</i> | <i>Lauraceae</i> |
| | Maçaranduba | <i>Manilkara huberi</i> | <i>Sapotaceae</i> |
| | Oitica Amarela | <i>Licania rigida</i> | <i>Chrysobalanaceae</i> |
| | Pucte | <i>Bucida buceras</i> | <i>Combretaceae</i> |

No estudo desenvolvido por Pereira *et al.* (1970), é possível fazer um comparativo entre as espécies, a fim de identificar as espécies que oferecem os melhores resultados para aplicação na construção civil para fins estruturais conforme a NBR 7190.

Desta forma, foi possível elaborar uma análise comparativas dos resultados dos ensaios evidenciando as suas diferenças de resistências. No Anexo E, observa os ensaios e seus respectivos resultados para cada espécie.

Desta forma são comparadas as cinco espécies com os melhores resultados para cada ensaio realizado. Para as características físicas, o ensaio do peso específico aparente a 15%, as cinco espécies com os melhores resultados foram a Pau Santo, Jatobá, Pau d'arco, Laranjinha e Rins de Boi. Já para θ a retratibilidade na contração radial foram a Sapucaia, Laranjinha, Camaçari, Araroba e Maçaranduba, na contração tangencial foram a Rins de Boi, Laranjinha, Carne de vaca, Pau d'arco e Camaçari e na contração volumétrica total foram a Laranjinha, Carne de vaca, Rins de Boi, Camaçari e Pitiá de lagoa e o coeficiente de rastreabilidade volumétrica foram a Laranjinha, Araroba, Ingá porco, Pau d'arco e Sucupira mirim, conforme o Quadro 24.

Observa-se ainda que a única espécie que teve o melhor resultado com o estado do corpo de prova madeira seca ao ar, foi a Pau d'arco para a retratibilidade em contrações tangenciais.

Quadro 24 – As cinco espécies com os melhores resultados para as características físicas

| Características físicas | | | Nome popular | Resultado | Memória de cálculo | Comparativo (%) |
|--|---------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Peso específico aparente (15% um) (D) g/cm ³ | | | Pau santo | 1,26 | - | 100% |
| | | | Jatobá | 1,08 | $(1,08/1,26)*100$ | 86% |
| | | | Pau d'arco | 1,07 | $(1,07/1,26)*100$ | 85% |
| | | | Laranjinha | 1,06 | $(1,06/1,26)*100$ | 84% |
| | | | Rins de boi | 1,03 | $(1,03/1,26)*100$ | 82% |
| Retratibilidade | Contrações em % | Radial | Sapucaia | 7,5 | - | 100% |
| | | | Laranjinha | 7,3 | $(7,30/7,50)*100$ | 97% |
| | | | Camaçari | 5,96 | $(5,96/7,50)*100$ | 79% |
| | | | Gararoba / Araroba | 5,47 | $(5,47/7,50)*100$ | 73% |
| | | | Maçaranduba | 5,4 | $(5,40/7,50)*100$ | 72% |
| | | Tangencial | Rins de boi | 14,1 | - | 100% |
| | | | Laranjinha | 13,4 | $(13,40/14,10)*100$ | 95% |
| | | | Carne de vaca | 12,6 | $(12,60/14,10)*100$ | 89% |
| | | | Pau d'arco * | 11,8 | $(11,80/14,10)*100$ | 100% |
| | | | Camaçari | 11,16 | $(11,16/14,10)*100$ | 79% |
| | Volumétrica total | Laranjinha | 22 | - | 100% | |
| | | Carne de vaca | 18,8 | $(18,80/22,00)*100$ | 85% | |
| | | Rins de boi | 18,8 | $(18,80/22,00)*100$ | 85% | |
| | | Camaçari | 18,5 | $(18,50/22,00)*100$ | 84% | |
| | | Pitiá de lagoa | 17,3 | $(17,30/22,00)*100$ | 79% | |
| | Coeficiente de ret. Volumétrica | Laranjinha | 0,9 | - | 100% | |
| | | Gararoba / Araroba | 0,85 | $(0,85/0,90)*100$ | 94% | |
| | | Ingá porco | 0,8 | $(0,80/0,90)*100$ | 89% | |
| | | Pau d'arco | 0,8 | $(0,80/0,90)*100$ | 89% | |
| Sucupira mirim | | 0,79 | $(0,79/0,90)*100$ | 88% | | |

*Madeira seca ao ar

Os comparativos dos melhores resultados foram feitos em relação a melhor espécie, desta forma foi possível verificar a diferença em porcentagem dos resultados de cada espécie. A espécie Pau Santo tem o peso específico aparente 14% melhor que a espécie Jatobá. Já para a retratibilidade, a espécie Sapucaia tem 3% de contração radial melhor que a espécie Laranjinha, para a tangencial a espécie Rins de Boi tem 5% a mais que a Laranjinha e para a volumétrica total

Laranjinha tem 15% a mais que a Carne de Vaca. E para o coeficiente de retratibilidade volumétrica a espécie Laranjinha possui o coeficiente 6% a maior que a Araroba.

Para as características mecânicas, no ensaio de compressão axial, as espécies Pau Santo, Pau d'arco, Sucupira mirim, Jatobá e Araroba teve os melhores resultados de limite de resistência para a madeira verde e as espécies Pau santo, Pau d'arco, Araroba, Jatobá e Sapucaia para a madeira 15%, para o coeficiente de influência da unidade foram as espécies Carne de vaca, Amarelo gengibre, Camaçari, Visgueiro e Urucuba e para o coeficiente de qualidade 100 foram a Araroba, Urucuba, Pau d'arco, Camaçari e Ingá de porco.

No ensaio de resistência característica a flexão ou módulo de ruptura na flexão estática ($f_{m,k}$ ou MOR), para o limite de resistência para a madeira verde, as espécies Pau d'arco, Pau santo, Jatobá, Maçaranduba e Laranjinha, para a madeira a 15% foram as espécies Pau d'arco, Pau santo, Jatobá, Cega machado e Sapucaia. E para o ensaio de relação da flexão estática foram as espécies Cega machado, Jatobá (madeira seca ao ar), Sucupira mirim (madeira verde), Sucupira mirim (madeira seca ao ar) e a Embirindiba (madeira seca ao ar).

No módulo de elasticidade, na compressão verde, as espécies Pau santo, Jatobá, Araroba, Laranjinha e Pau d'arco tiveram os melhores módulos e as espécies Jatobá, Pau santo, Pau d'arco, Sucupira mirim e Sapucaia tiveram os melhores limites de proporcionalidade. E para o módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) verde, as espécies Pau santo, Araroba, Pau d'arco, Jatobá e Laranjinha tiveram os melhores módulos e as espécies Pau Santo, Sapucaia, Maçaranduba, Laranjinha e Pitiá de lagoa tiveram os melhores limites de proporcionalidade, conforme o Quadro 25.

Quadro 25 – As cinco espécies com os melhores resultados para os ensaios de Compressão axial e Flexão estática das características mecânicas

| Características mecânicas | | | Nome popular | Resultado | Memória de cálculo | Comparativo (%) |
|---------------------------|--|--------------------|--------------------|-----------|---------------------|-----------------|
| Compressão axial | Limite de resistência kg/cm ² | Madeira verde | Pau santo | 874 | - | 100% |
| | | | Pau d'arco | 779 | (779/874)*100 | 89% |
| | | | Sucupira mirim | 651 | (651/874)*100 | 74% |
| | | | Jatobá | 629 | (629/874)*100 | 72% |
| | | | Gararoba / Araroba | 596 | (596/874)*100 | 68% |
| | | Madeira 15% um | Pau santo | 865 | - | 100% |
| | | | Pau d'arco | 809 | (809/865)*100 | 94% |
| | | | Gararoba / Araroba | 770 | (770/865)*100 | 89% |
| | | | Jatobá | 770 | (770/865)*100 | 89% |
| | | | Sapucaia | 706 | (706/865)*100 | 82% |
| | Coef. De influência da unid. % | Carne de vaca | | 5,3 | - | 100% |
| | | Amarelo Gengibre | | 4,91 | (4,91/5,30)*100 | 93% |
| | | Camaçari | | 4,67 | (4,67/5,30)*100 | 88% |
| | | Visgueiro | | 4,43 | (4,43/5,30)*100 | 84% |
| | | Urucuba | | 4,03 | (4,03/5,30)*100 | 76% |
| | Coef. De qualid. 100 d a 15% um | Gararoba / Araroba | | 8,2 | - | 100% |
| | | Urucuba | | 7,7 | (7,70/8,20)*100 | 94% |
| | | Pau d'arco | | 7,56 | (7,56/8,20)*100 | 92% |
| | | Camaçari | | 7,5 | (7,50/8,20)*100 | 91% |
| | | Ingá porco | | 7,4 | (7,40/8,20)*100 | 90% |
| Flexão estática | Limite de resistência kg/cm ² | Madeira verde | Pau d'arco | 1861 | - | 100% |
| | | | Pau santo | 1799 | (1799/1861)*100 | 97% |
| | | | Jatobá | 1393 | (1393/1861)*100 | 75% |
| | | | Maçaranduba | 1367 | (1367/1861)*100 | 73% |
| | | | Laranjinha | 1330 | (1330/1861)*100 | 71% |
| | | Madeira 15% um | Pau d'arco | 2099 | - | 100% |
| | | | Pau santo | 1979 | (1979/2099)*100 | 94% |
| | | | Jatobá | 1690 | (1690/2099)*100 | 81% |
| | | | Cega machado | 1634 | (1634/2099)*100 | 78% |
| | | | Sapucaia | 1604 | (1604/2099)*100 | 76% |
| | Relação l/f | Cega machado | | 47,3 | - | 100% |
| | | Jatobá* | | 40,8 | (40,80/47,30)*100 | 86% |
| | | Sucupira mirim | | 39,8 | (39,80/47,30)*100 | 84% |
| | | Sucupira mirim* | | 38,8 | (38,80/47,30)*100 | 82% |
| | | Embirindiba* | | 38,3 | (38,30/47,30)*100 | 81% |
| Módulo de elasticidade | Compressão verde - kg/cm ² | Módulo | Pau santo | 250375 | - | 100% |
| | | | Jatobá | 246678 | (246678/250375)*100 | 99% |
| | | | Gararoba / Araroba | 241751 | (241751/250375)*100 | 97% |
| | | | Laranjinha | 215947 | (215947/250375)*100 | 86% |
| | | | Pau d'arco | 212295 | (212295/250375)*100 | 85% |

| Características mecânicas | | | Nome popular | Resultado | Memória de cálculo | Comparativo (%) |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------|---------------------|-----------------|
| Módulo de elasticidade | Compressão verde - kg/cm ² | Limite de proporc. | Jatobá | 571 | - | 100% |
| | | | Pau santo | 569 | (569/571)*100 | 100% |
| | | | Pau d'arco | 490 | (490/571)*100 | 86% |
| | | | Sucupira mirim | 429 | (429/571)*100 | 75% |
| | | | Sapucaia | 416 | (416/571)*100 | 73% |
| | Flexão verde - kg/cm ² | Módulo | Pau santo | 199760 | - | 100% |
| | | | Gararoba / Araroba | 181080 | (181080/199760)*100 | 99% |
| | | | Pau d'arco | 180123 | (180123/199760)*100 | 97% |
| | | | Jatobá | 175788 | (175788/199760)*100 | 96% |
| | | | Laranjinha | 173335 | (173335/199760)*100 | 0% |
| | | Limite de proporc. | Pau santo | 6,7 | - | 100% |
| | | | Sapucaia | 6,62 | (6,62/6,70)*100 | 99% |
| | | | Maçaranduba | 6,6 | (6,60/6,70)*100 | 99% |
| | | | Laranjinha | 6,19 | (6,19/6,70)*100 | 92% |
| Pitiá de lagoa | 5,32 | (5,32/6,70)*100 | 79% | | | |

*madeira seca ao ar, as demais são madeira verde

Os comparativo dos melhores resultados foram para a compressão axial, a espécie Pau santo tem o limite de resistência para a madeira verde 11% melhor que a espécie Pau d'arco para a madeira verde, a espécie Pau santo tem o limite de resistência 6% melhor que a espécie Pau d'arco, para a madeira a 15%, a espécie Carne de Vaca teve o resultado de coeficiente de influência de unidade 7% que a espécie Amarelo gengibre e a espécie Araroba teve o melhor resultado para o coeficiente de qualidade 100, 6% melhor que a espécie Urucuba. Já para a flexão estática, a espécie Pau Santo tem o limite de resistência para a madeira verde 3% melhor que a espécie Pau D'arco para a madeira verde, a espécie Pau Santo tem o limite de resistência 14% melhor que a espécie Pau D'arco, para a madeira a 15%, e a para a relação na flexão estática, a espécie Cega machado possui a relação 14% a maior que a Jatobá.

Para o módulo de elasticidade, na compressão verde, a espécie Pau santo teve o módulo 1% melhor que a espécie Jatobá, e a espécie Jatobá teve o limite de proporcionalidade 0,4% melhor que a espécie Pau santo. No ensaio do módulo de elasticidade da flexão estática (MOE) verde, a espécie Pau santo teve o módulo 1% melhor que a espécie Araroba, e a espécie Pau Santo teve o limite de proporcionalidade 1% melhor que a espécie Sapucaia.

Ainda sobre as características mecânicas, as espécies com os melhores resultados para os ensaios que também foram realizados foram para o ensaio de choque, as espécies Pau santo, Sapucaia, Maçaranduba, Laranjinha e Pitiá de lagoa para o trabalho absorvido e coeficiente de resiliência e para a cota dinâmica foram Louro babão, Pitiá de lagoa, Ingá porco, Maçaranduba

e Sapucaia. No ensaio de cisalhamento, foram as espécies Pau santo, Pau d'arco (madeira seca ao ar), Laranjinha, Jatobá e Pau d'arco (madeira verde). No de dureza Janka (f_H), foram Pau d'arco (madeira seca ao ar), Jatobá, Pau d'arco (madeira verde), Pau santo e Maçaranduba. Para a tração normal às fibras foram Pau santo, Pau d'arco, Laranjinha, Mamajuda e Jatobá e para o ensaio de fendilhamento foram as espécies Sucupira mirim, Laranjinha, Embirindiba e Tauari, conforme o Quadro 26.

Quadro 26 – As cinco espécies com os melhores resultados para os ensaios de Choque, Cisalhamento, Dureza Janka, Tração normal às fibras e Fendilhamento

| Características mecânicas | | Nome popular | Resultado | Memória de cálculo | Comparativo (%) |
|--|----------------------------------|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Choque (madeira seca ao ar) | Trabalho absorvido (w em kg x m) | Pau santo | 6,7 | - | 100% |
| | | Sapucaia | 6,62 | (6,62/6,70)*100 | 99% |
| | | Maçaranduba | 6,6 | (6,60/6,70)*100 | 99% |
| | | Laranjinha | 6,19 | (6,19/6,70)*100 | 92% |
| | | Pitiá de lagoa | 5,32 | (5,32/6,70)*100 | 79% |
| | Coefic. De resiliência - R | Pau santo | 1,04 | - | 100% |
| | | Maçaranduba | 1,03 | (1,03/1,04)*100 | 99% |
| | | Sapucaia | 1,02 | (1,02/1,04)*100 | 98% |
| | | Laranjinha | 0,96 | (0,96/1,04)*100 | 92% |
| | | Pitiá de lagoa | 0,84 | (0,84/1,04)*100 | 81% |
| | Cota dinâmica r/d ² | Louro babão | 2,09 | - | 100% |
| | | Pitiá de lagoa | 1,53 | (1,53/2,09)*100 | 73% |
| | | Ingá porco | 1,32 | (1,32/2,09)*100 | 63% |
| | | Maçaranduba | 1,14 | (1,14/2,09)*100 | 55% |
| | | Sapucaia | 1 | (1,00/2,09)*100 | 48% |
| Cisalhamento - Kg/cm ² | Pau santo* | 196 | - | 100% | |
| | Pau d'arco* | 193 | (193/196)*100 | 98% | |
| | Laranjinha* | 180 | (180/196)*100 | 92% | |
| | Jatobá* | 177 | (177/196)*100 | 90% | |
| | Pau d'arco | 174 | (174/196)*100 | 89% | |
| Dureza janka - Kg/cm ² | Pau d'arco* | 1761 | - | 100% | |
| | Jatobá* | 1608 | (1608/1761)*100 | 91% | |
| | Pau d'arco | 1471 | (1471/1761)*100 | 84% | |
| | Pau santo | 1358 | (1358/1761)*100 | 77% | |
| | Maçaranduba* | 1300 | (1300/1761)*100 | 74% | |
| Tração normal às fibras - Kg/cm ² | Pau santo* | 103 | - | 100% | |
| | Pau d'arco* | 102 | (102/103)*100 | 99% | |
| | Laranjinha* | 100 | (100/103)*100 | 97% | |
| | Mamajuda* | 97,7 | (97,7/103)*100 | 95% | |
| | Jatobá | 94 | (94/103)*100 | 91% | |
| Fendilhamento kg/cm ² | Sucupira mirim | 15,3 | - | 100% | |
| | Laranjinha* | 13 | (13/15,3)*100 | 85% | |
| | Embirindiba | 12,3 | (12,3/15,3)*100 | 80% | |
| | Sapucaia | 12,2 | (12,2/15,3)*100 | 80% | |
| | Tauarí | 12,2 | (12,2/15,3)*100 | 80% | |

*madeira seca ao ar, as demais são madeira verde

Os comparativo dos melhores resultados para o ensaio de choque, a espécie Pau Santo tem o trabalho absorvido para a madeira verde 1% melhor que a espécie Sapucaia, ambas com o estado de corpo de prova madeira verde, a espécie Pau Santo tem o coeficiente de resiliência 1% melhor que a espécie Maçaranduba, ambas com o estado de corpo de prova madeira verde, a espécie Louro]Babão teve o resultado de coeficiente de influência de unidade 27% que a espécie Pitiá de lagoa, ambas com o estado de corpo de prova madeira verde.

A espécie Pau santo teve resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) 2% melhor que a espécie Pau d'arco, ambas com o estado de corpo de prova madeira seca ao ar. A espécie Pau d'arco teve a dureza Janka (f_H) 9% melhor que a espécie Jatobá, ambas com o estado de corpo de prova madeira seca ao ar. A espécie Pau santo teve resistência a tração normal às fibras 1% melhor que a espécie Pau D'arco, ambas com o estado de corpo de prova madeira seca ao ar. E para o fendilhamento, a espécie Sucupira Mirim teve resistência 15% melhor que a espécie Laranjinha, no entanto a Sucupira Mirim com o estado de corpo de prova madeira verde e a Laranjinha madeira seca ao ar.

O estudo de Pereira *et al.* (1970) teve como objetivo principal permitir o uso racional dessas madeiras e foi realizado durante 13 anos e teve dificuldade para encontrar uma árvore com diâmetro acima de 30 centímetros e que estivesse isenta de defeitos.

7.4 Comparativo entre as espécies de madeira brasileiras

Segundo Gomes *et al.* (2007) e Marini *et al.* (2022), a variação dos elementos anatômicos interferem na qualidade da madeira e no Brasil para o conhecimento sobre uma madeira é necessário a realização de ensaios para distinguir suas propriedades mecânicas e classes de umidade para enquadrar as espécies na classe de resistência conforme a ABNT NBR 7190.

Os estudos em que foram efetuadas análises percentuais entre as propriedades das mesmas espécies brasileiras e regiões distintas com o objetivo de identificar as espécies com as melhores resistências para o uso na construção civil para fins estruturais, foram as pesquisas realizadas que tiveram seus ensaios foram realizados conforme a NBR 7190.

Desta forma sendo possível elaborar uma análise comparativas dos resultados dos ensaios evidenciando as suas diferenças percentuais de características físicas e mecânicas entre os estudos de Pereira *et al.* (1970), a RSL com as espécies brasileiras e o estudo bibliográfico,

abordados nos capítulos 2, 5 e 6, respectivamente. É importante destacar que as propriedades físicas e mecânicas que tiveram resultados nas mesmas espécies e em regiões distintas foram densidade básica (ρ_{bas}), densidade aparente a 12% (ρ_{12}), resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}) e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}).

No Quadro 27, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a densidade básica (ρ_{bas}), qual o estudo de cada espécie, a região conforme o estudo, a diferença percentual entre os resultados das espécies e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 27 – Densidade básica (ρ_{bas}) entre as mesmas espécies

| Estudo | Autor | Espécie | ρ_{ap} (g/cm ³) | Memória de cálculo | % entre mesmas espécies |
|----------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| RSL Pereira | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Angelim Araroba | 0,67 | 100-((0,67/0,94)*100) | 28,72% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,67 | | |
| | Pereira <i>et al.</i> (1970) | | 0,94 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Branquilha | 0,78 | 100-((0,78/0,81)*100) | 3,70% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,81 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Cambará Rosa | 0,64 | 100-((0,64/0,67)*100) | 4,48% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,67 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Castelo | 0,74 | 100-((0,74/0,76)*100) | 2,63% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,76 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Catanudo | 0,78 | 100-((0,78/0,80)*100) | 2,50% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,80 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Cedro Amargo | 0,47 | 100-((0,47/0,51)*100) | 7,84% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,51 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Cedro doce | 0,48 | 100-((0,48/0,50)*100) | 4,00% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,50 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Guaiçara | 1,08 | 100-((1,08/1,09)*100) | 0,92% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 1,09 | | |
| RSL | Christoforo <i>et al.</i> (2019) | Guarucaia | 0,92 | 100-((0,91/0,92)*100) | 1,09% |
| | Almeida <i>et al.</i> (2019) | | 0,91 | | |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,92 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Itaúba | 0,9 | 100-((0,90/0,91)*100) | 1,10% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,91 | | |

| | | | | | |
|---------|----------------------------------|--------------|------|-----------------------|--------|
| RSL | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | Jatobá | 1,08 | 100-((1,08/1,08)*100) | 0,00% |
| Pereira | Pereira <i>et al.</i> (1970) | | 1,08 | | |
| RSL | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | Maçaranduba | 1,14 | 100-((0,95/1,14)*100) | 16,67% |
| Pereira | Pereira <i>et al.</i> (1970) | | 0,95 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Mandioqueira | 0,83 | 100-((0,83/0,85)*100) | 2,35% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,85 | | |
| RSL | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | Sucupira | 1,10 | 100-((1,02/1,10)*100) | 7,27% |
| Pereira | Pereira <i>et al.</i> (1970) | | 1,02 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Tatajuba | 0,93 | 100-((0,93/0,94)*100) | 1,06% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,94 | | |
| RSL | Almeida <i>et al.</i> (2019) | Umirana | 0,68 | 100-((0,68/0,71)*100) | 4,23% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 0,71 | | |

Observa que a espécie Angelim Araroba do estudo de Pereira *et al.* (1970) da região Nordeste teve o melhor desempenho para a densidade com 28,72% em relação a espécie dos estudos de Almeida *et al.* (2019) e Christoforo *et al.* (2020), respectivamente encontrados na RSL. Observa ainda a espécies Maçaranduba do estudo de Christoforo *et al.* (2020) da RSL teve a melhor densidade com 16,67% em relação a espécie dos estudos de Pereira *et al.* (1970) das regiões Nordeste.

No Quadro 28, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a densidade aparente a 12% (ρ_{12}), qual o estudo de cada espécie, a região conforme o estudo, a diferença percentual entre os resultados das espécies e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 28 – Densidade aparente a 12% (ρ_{12}) entre as mesmas espécies

| Estudo | Autor | Espécie | ρ_{12} (g/cm ³) | Memória de cálculo | % entre mesmas espécies |
|-------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| RSL | Morando <i>et al.</i> (2019) | Mandioqueira | 0,85 | 100-((0,85/1,15)*100) | 25,22% |
| | Almeida <i>et al.</i> (2019) | | 1,15 | | |
| Artigos RSL | Lima <i>et al.</i> (2018) | Tatajuba | 0,81 | 100-((0,81/0,95)*100) | 14,74% |
| | Almeida <i>et al.</i> (2019) | | 0,95 | | |

Observa que a espécie Mandioqueira do estudo de Almeida *et al.* (2019) da região Nordeste da RSL teve o melhor desempenho para a densidade aparente a 12% (ρ_{12}) com 25,22% em relação a espécie dos estudos de Morando *et al.* (2019) da região Nordeste, encontrados na RSL. Observa ainda a espécies Tatajuba do estudo de Almeida *et al.* (2019) da RSL teve a melhor densidade aparente com 14,74% em relação a espécie dos estudos de Lima *et al.* (2018) das regiões Centro Oeste e Norte dos estudos bibliográficos.

No Quadro 29, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), qual o estudo de cada espécie, a região conforme o estudo, a diferença percentual entre os resultados das espécies e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 29 – Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) entre as mesmas espécies

| Estudo | Autor | Espécie | f_{c0} (MPa) | Memória de cálculo | % entre mesmas espécies |
|----------------|---|--------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|
| RSL | Morando <i>et al.</i> (2019) | Mandioqueira | 70,93 | 100-((69,90/70,93)*100) | 1,45% |
| | Christoforo <i>et al.</i> (2020) | | 69,90 | | |
| RSL Artigos | Almeida <i>et al.</i> (2019) Lima <i>et al.</i> (2018) | Tatajuba | 53,30 80,00 | 100-((53,30/80,00)*100) | 33,38% |

Observa que a espécie Mandioqueira do estudo de Morando *et al.* (2019) da região Nordeste da RSL teve o melhor desempenho para a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) com 1,45% em relação a espécie dos estudos Christoforo *et al.* (2020) da RSL. Observa ainda a espécie Tatajuba do estudo de Lima *et al.* (2018) das regiões Centro Oeste e Norte teve o melhor desempenho com 33,38% em relação a espécie do estudo de Almeida *et al.* (2019) da região Nordeste da RSL.

No Quadro 30, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), qual o estudo de cada espécie, a região conforme o estudo, a diferença percentual entre os resultados das espécies e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 30 – Resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) entre as mesmas espécies

| Estudo | Autor | Espécie | f_{t0} (MPa) | Memória de cálculo | % entre mesmas espécies |
|----------------|--|-----------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|
| RSL Artigos | Lahr <i>et al.</i> (2017) Marini <i>et al.</i> (2022) | <i>E. urophylla</i> | 34,70 84,00 | 100-((34,70/84,00)*100) | 58,69% |
| RSL Artigos | Lahr <i>et al.</i> (2017) Marini <i>et al.</i> (2022) | <i>E. grandis</i> | 70,30 70,00 | 100-((70,00/70,30)*100) | 0,43% |
| RSL Artigos | Morando <i>et al.</i> (2019) Marini <i>et al.</i> (2022) | <i>E. saligna</i> | 95,50 85,00 | 100-((85,00/95,50)*100) | 10,99% |
| RSL Artigos | Nogueira <i>et al.</i> (2020) Marini <i>et al.</i> (2022) | <i>E. teretico</i> <i>rnis</i> | 116,00 116,00 | 100-((116,00/116,00)*100) | 0,00% |

Observa que a espécie *E. urophylla* do estudo de Marini *et al.* (2022) da região Sudeste teve o melhor desempenho para a resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) com 58,69% em relação a espécie dos estudos de Lahr *et al.* (2017) da mesma região da RSL. Observa ainda a espécie *E. grandis* do estudo de Lahr *et al.* (2017) da RSL teve o melhor desempenho com 0,43% em relação a espécie do estudo de

Marini *et al.* (2022) da região Sudeste e a espécie *E. saligna* da região Nordeste do estudo de Morando *et al.* (2019) da RSL teve o melhor desempenho com 10,99% em relação a espécie do estudo de Marini *et al.* (2022) da região Sudeste.

No Quadro 31, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}), qual o estudo de cada espécie, a região conforme o estudo, a diferença percentual entre os resultados das espécies e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 31 – Resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}) entre as mesmas espécies

| Estudo | Autor | Espécie | f_{t90} (MPa) | Memória de cálculo | % entre mesmas espécies |
|---------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| RSL | Lahr <i>et al.</i> (2017) | <i>E. urophylla</i> | 4,20 | 100-((4,20/4,20)*100) | 0,00% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 4,20 | | |
| RSL | Lahr <i>et al.</i> (2018) | <i>E. grandis</i> | 2,60 | 100-((2,60/3,00)*100) | 13,33% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 3,00 | | |
| RSL | Morando <i>et al.</i> (2019) | <i>E. saligna</i> | 4,10 | 100-((4,10/4,10)*100) | 0,00% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 4,10 | | |
| RSL | Nogueira <i>et al.</i> (2020) | <i>E. teretico rnis</i> | 4,60 | 100-((4,60/4,60)*100) | 0,00% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 4,60 | | |

Observa que a espécie *E. grandis* do estudo de Marini *et al.* (2022) da região Sudeste teve o melhor desempenho para a resistência à tração perpendicular às fibras (f_{t90}) com 13,33% em relação a espécie dos estudos de Lahr *et al.* (2018) da RSL.

No Quadro 32, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}), qual o estudo de cada espécie, a região conforme o estudo, a diferença percentual entre os resultados das espécies e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 32 – Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) entre as mesmas espécies

| Estudo | Autor | Espécie | E_{t0} (MPa) | Memória de cálculo | % entre mesmas espécies |
|---------|-------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|
| RSL | Lahr <i>et al.</i> (2017) | <i>E. urophylla</i> | 15382,20 | 100-((15380,00/15382,20)*100) | 0,01% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 15380,00 | | |
| RSL | Lahr <i>et al.</i> (2018) | <i>E. grandis</i> | 14576,00 | 100-((14576,00/14576,00)*100) | 0,00% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 14576,00 | | |
| RSL | Morando <i>et al.</i> (2019) | <i>E. saligna</i> | 15981,00 | 100-((15981,00/15981,00)*100) | 0,00% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 15981,00 | | |
| RSL | Nogueira <i>et al.</i> (2020) | <i>E. tereticornis</i> | 18508,60 | 100-((17509,00/18508,60)*100) | 5,40% |
| Artigos | Marini <i>et al.</i> (2022) | | 17509,00 | | |

Observa que a espécie *E. tereticornis* do estudo de Marini *et al.* (2022) da região Sudeste teve o melhor desempenho para o módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0}) com 5,40% em relação a espécie dos estudos de Nogueira *et al.* (2020) da RSL. Observa ainda a espécies *E. urophylla* do estudo de Lahr *et al.* (2017) da RSL teve o melhor desempenho com 0,01% em relação a espécie do estudo de Marini *et al.* (2022) da região Sudeste.

No Quadro 33, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a espécie Pau Brasil que teve seu estudo realizado com a espécie nativa da Região Nordeste, espécie de reflorestamento da Região Sudeste do Brasil e a diferença percentual entre os resultados da espécie e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 33 – Comparativo entre a espécie Pau-Brasil

| Propriedades | | | ρ_{ap} (g/cm ³) | | Retratibilidade (%) | | | AC |
|----------------------------|--------|------------------|----------------------------------|--------|---------------------|------------|-------------|------|
| | | | Básica | Anidra | Radial | Tangencial | Volumétrica | |
| Espécie de reflorestamento | (anos) | 10 | 0,71 | 0,82 | 5,68 | 9,23 | 15,17 | 1,62 |
| | | 15 | 0,77 | 0,9 | 5,9 | 10,26 | 16,24 | 1,66 |
| | | 20 | 0,81 | 0,95 | 6,39 | 10,64 | 17,28 | 1,62 |
| | | 25 | 0,76 | 0,87 | 6,16 | 8,62 | 14,97 | 1,38 |
| | | 30 | 0,86 | 0,98 | 5,03 | 8,62 | 13,51 | 1,81 |
| Espécie Nativa | | | 0,86 | 0,98 | 4,68 | 8,46 | 14,19 | 1,81 |
| Diferença (%) | | 10 anos x Nativa | 17% | 16% | -21% | -9% | -7% | 10% |
| | | 15 anos x Nativa | 10% | 8% | -26% | -21% | -14% | 8% |
| | | 20 anos x Nativa | 6% | 3% | -37% | -26% | -22% | 10% |
| | | 25 anos x Nativa | 12% | 11% | -32% | -2% | -5% | 24% |
| | | 30 anos x Nativa | 0% | 0% | -7% | -2% | 5% | 0% |

Fonte: Adaptado a partir de Santos Marques *et al.* (2012).

Observa que a espécie nativa da Região Nordeste teve os menores desempenhos para a retratibilidade quando comparados com as espécies de reflorestamento da Região Sudeste. Para o ensaio de densidade aparente (ρ_{ap}), a espécie nativa teve os melhores desempenhos entre 16% e 17% em relação a espécie de reflorestamento com 15 anos de idade, para o ensaio de coeficiente de anisotropia (AC) a espécie nativa teve o melhor desempenho em relação a espécie

de reflorestamento com 25 anos de idade com 24%. Observa ainda que a espécie nativa teve o mesmo desempenho que a espécie de reflorestamento com 30 anos de idade para os ensaios de densidade aparente (ρ_{ap}) e coeficiente de anisotropia (AC).

No Quadro 34, observa os ensaios e seus respectivos resultados para a espécie Tatajuba que teve seu estudo realizado na Região Norte e Região Centro Oeste do Brasil e a diferença percentual entre os resultados da espécie e o destaque da espécie que apresentou o melhor resultado.

Quadro 34 – Comparativo entre a espécie Tatajuba da Região Centro Oeste e da Região Norte

| Propriedades | Região Centro Oeste | Região Norte | Memória de cálculo | Diferença (%) |
|-----------------------------------|---------------------|--------------|-------------------------------|---------------|
| ρ_{bas} (g/cm ³) | 0,75 | 0,74 | $100 - ((0,74/0,75) * 100)$ | 1% |
| ρ_{12} (g/cm ³) | 0,81 | 0,94 | $100 - ((0,81/0,94) * 100)$ | 16% |
| f_{c0} (MPa) | 69 | 80 | $100 - ((69/80) * 100)$ | 16% |
| f_{t0} (MPa) | 91 | 93 | $100 - ((91/93) * 100)$ | 2% |
| f_{v0} (MPa) | 18 | 20 | $100 - ((18/20) * 100)$ | 11% |
| E_{c0} (MPa) | 18528 | 18571 | $100 - ((18528/18571) * 100)$ | 0,2% |
| E_{t0} (MPa) | 18284 | 17319 | $100 - ((17319/18284) * 100)$ | 5% |

Fonte: Adaptado a partir de Lima *et al.* (2018)

Observa que a espécie na Região Norte teve o melhor desempenho para os ensaios de densidade aparente (ρ_{ap}), resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), resistência à cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}) com 16%, 16%, 2%, 11% e 0,2% respectivamente, em relação a espécie da Região Centro Oeste. Já a espécie da Região Centro Oeste teve o melhor desempenho para os ensaios de densidade básica (ρ_{bas}) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}) com 1% e 5% respectivamente, em relação a espécie da Região Norte.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática da literatura mostrou-se um método eficaz para a compreensão das propriedades mecânicas das madeiras conforme as regiões climáticas de cada espécie do estudo. No entanto, constatou-se que os estudos científicos vêm aumentando, ao longo dos anos, principalmente a partir de 2018, evidenciando que a área de estudo se encontra em ascensão. Isto ficou comprovado pelo escasso número de publicações de artigos existentes na base de dados adotada e no recorte temporal analisado. No entanto, constatou-se que os estudos científicos vêm aumentando, ao longo dos anos, principalmente a partir de 2018, evidenciando que o estudo sobre as propriedades mecânicas das madeiras para o uso estrutural na construção civil se encontra em ascensão.

Através dos resultados foi possível evidenciar os ensaios necessários no material para a indústria da construção, como principal componente, além de distinguir o que há de novo no sistema construtivo em madeira. Como resultado do estudo, é possível também, obter conhecimento para uma construção de menor impacto ambiental gerado pelas ações humanas, em benefício do desenvolvimento sustentável.

Verificou-se também, que o tema “propriedades mecânicas das madeiras” tem sido estudado com foco na utilização das madeiras na construção civil, como material estrutural, material para esquadrias, material para acabamento, pisos etc., a fim de tornar seus processos produtivos cada vez mais sustentáveis, reduzindo os impactos do setor na exploração de recursos naturais não renováveis, na geração de resíduos e nas emissões de gases de efeito estufa.

Verificou-se ainda conforme o comparativo entre as espécies de madeiras brasileiras de diferentes regiões do país que com a temperatura afetando características da vegetação, solo, relevo, clima e chuva, influenciam o desenvolvimento da árvore e conseqüentemente as suas propriedades mecânicas, físicas e químicas. Desta forma, significando que as espécies nativas de certa região precisam de tratamento para resistir a condições climáticas de outra região, pois com condições diferentes, as espécies têm defesas para a região em que foram coletadas.

É evidente, que mesmo diante de uma cultura de adotar materiais convencionais como as técnicas relacionadas com o cimento e o aço são as mais utilizadas na construção civil. O Brasil, foi o país que mais apresentou estudos sobre espécies de madeiras aplicadas a construção civil, nos últimos dez anos. Destacando que o cenário da construção no país vem sofrendo profundas

e constantes alterações, em curtos ciclos de tempo, com estudos e a utilização de novos materiais, como a madeira, mesmo diante que a madeira e a pedra são os materiais de construção da antiguidade.

Entretanto, nos estudos realizados no Brasil, não foi identificado na RSL estudos realizados no Nordeste ou com espécies da região. Apesar de toda a riqueza de espécies e um bioma exclusivamente brasileiro, com biodiversidade adaptada às altas temperaturas e à falta da água, que apresenta uma flora rica em endemismo, a caatinga.

Tendo em vista esses aspectos, é de grande relevância o desenvolvimento de pesquisas que busquem novas descobertas e analisem o emprego de novas espécies de madeiras na construção civil, especialmente no Brasil por apresentar também, uma flora rica e exclusiva, para auxiliar no desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis, mesmo com um aspecto cultural de utilização de materiais convencionais na construção civil, principalmente no Nordeste.

Do ponto de vista acadêmico esse trabalho está relacionado ao conhecimento do uso das madeiras nativas do estado de Pernambuco para fins estruturais e da indústria de móveis. A motivação deste estudo surgiu em função da sustentabilidade e os impactos ambientais causados pelos sistemas construtivos convencionais. Em função da delimitação deste trabalho e de algumas questões observadas, como a falta de laboratórios para estudos experimentais da madeira no estado, outras lacunas de pesquisas são abertas.

Percebe-se que cada país possuía e possui a sua norma para os estudos das propriedades dos materiais. No estudo, foram utilizadas norma britânica, americana, europeia, brasileira, croata, espanhola e italiana. É evidente que ainda não existe uma norma universal, o que dificulta as análises das espécies de diferentes regiões.

Foi possível observar na análise realizada sobre a NBR 7190, EN 1995-1-1 e ASTM D143 que são normas utilizadas para projetos de estruturas de madeira e métodos de ensaios para as espécies madeireiras, atendendo às necessidades de cada região. A NBR 7190 se destaca por sua capacidade de se adaptar às particularidades da construção civil no Brasil, a norma EN 1995-1-1 trata da complexidade do clima europeu e a norma ASTM D143, mesmo focada em métodos de teste, contribui para os padrões internacionais de qualidade e é aplicável em diversos contextos da indústria da madeira.

Tendo o trabalho desenvolvido para ampliar o conhecimento sobre a utilização da madeira como material estrutural, ofertando espécies que podem ser utilizadas, permitindo uma tomada de decisão na escolha do material, com a identificação dos tipos de madeiras existentes no Nordeste do Brasil e viáveis para a construção civil, permitindo uma tomada de decisão mais assertiva quanto à escolha do sistema construtivo. Pode a partir desta dissertação desenvolver novos estudos, como:

- A condução de testes em espécies brasileiras pouco conhecidas no contexto da construção civil destaca-se como uma iniciativa essencial. Dentre as espécies da caatinga que merecem atenção para a determinação de suas propriedades mecânicas e físicas visando sua aplicação na construção civil, destacam-se: Angico (*Anadenanthera colubrina*), Angico de bezerro (*Piptadenia moniliformes*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva*), Baraúna (*Schinopsis brasiliensis*), Caraiqueira (*Tabebuia aurea*), Carnaubeira (*Copernicia prunifera*), Catigueira (*Poincianella microphylla*), Catingueira verdadeira (*Poincianella pyramidalis*), Favela (*Cnidoscolus quercifolius*), Feijão bravo (*Capparis flexuosa*), Imburana de cambão (*Commiphora leptophloeos*), Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), Jurema preta (*Mimosa tenuiflora*), Maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), Marizeiro (*Geoffrae spinosa*), Mororó (*Bauhinia cheilantha*), Pata de vaca ou Mororo (*Bauhinia cheilantha*), Pau d'arco (*Handroanthus impetiginosus*), Pau ferro (*Caesalpinia ferrea*), Quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*), Rompe gibão (*Pithecellobium avaremotemo*), Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*), Sete casca (*Handroanthus Spongiosus*), Umburana de cambão (*Commiphora leptophloeos*), Umburana de cheiro ou Cumarú (*Amburana cearensis*) e Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*).
- Desenvolver novos métodos de tratamento e preservação visando aprimorar a durabilidade das madeiras, incluindo a análise da eficácia desses procedimentos em comparação com as técnicas já estabelecidas.
- Aprimorar a NBR 7190, considerando sua suscetibilidade a revisões e atualizações para integrar avanços provenientes de pesquisas, explorando por meio de estudos dedicados a viabilidade da inclusão de novas espécies de madeira e materiais derivados por meio de uma investigação aprofundada. A revisão contínua das orientações relacionadas às condições climáticas específicas do Brasil, com foco nas mudanças climáticas e nas novas demandas da construção civil, é outra área de estudo essencial. O aprimoramento da norma pode ser alcançado mediante a padronização de processos construtivos de

madeira e a inclusão de mais casos de estudo e exemplos práticos, com o intuito de proporcionar uma orientação eficaz para engenheiros e arquitetos em sua aplicação. Desta forma, este tema se revela crucial para novas pesquisas, promovendo implementações na norma que contribuam significativamente para a melhoria do desempenho dos profissionais envolvidos no sistema construtivo de madeira.

- Explorar novas tecnologias e métodos para conectar elementos de madeira em estruturas, priorizando durabilidade e eficiência. Avaliar a resistência de diferentes conectores, com o intuito de contribuir para avanços técnicos nas uniões estruturais de madeira.
- O comportamento da madeira em situações adversas como terremotos e ventos fortes.
- Aprimoramentos nos padrões de qualidade e nos processos de certificação serão apresentadas, considerando criteriosamente aspectos ambientais, sociais e econômicos.
- O impacto do envelhecimento na durabilidade e resistência da madeira em estruturas, com propostas para medidas de manutenção e restauração, incluindo tratamentos específicos, visando prolongar a vida útil das estruturas de madeira.
- Análises de mercado visando compreender as tendências atuais no uso da madeira na construção civil, projetando futuras direções e inovações, considerando os fatores como sustentabilidade, demanda de mercado e avanços tecnológicos, oferecendo insights técnicos para profissionais e pesquisadores no campo de estruturas de madeira.

É crucial conduzir pesquisas adicionais sobre as espécies de madeiras brasileiras, com o propósito de avaliar sua aptidão como material estrutural na construção civil. É necessário analisar se essas espécies atendem às demandas específicas do setor da construção, além de verificar a eventual necessidade de tratamentos para conferir resistência a todas as intempéries e assim atender plenamente às exigências do setor construtivo.

Espera-se que este estudo, além de facilitar o processo de tomada de decisão sobre as estruturas das edificações, inspire novos estudos, a inovação e o uso racional dos recursos naturais, a preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

AFLALO, M. A madeira vem sendo usada de forma pouco nobre. [Entrevista cedida a] Maureen Bertol. **Madeira e Construção**, Curitiba, 10 mar. 2017. Disponível em: <https://madeiraeconstrucao.com.br/novo/noticias/a-madeira-vem-sendo-usada-de-formapouco-nobre/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

ALI, A. C. *et al.* Anatomical characteristics, properties and use of traditionally used and lesser-known wood species from Mozambique: a literature review. **Wood Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 453-472, 2008.

ALMEIDA, T. H. *et al.* New analytical approach for estimating density of Brazilian tropical woods based on fundamental concepts. **Scientia Forestalis**, n. 124, p. 686-695, 2019.

ALMEIDA, F. W.; YAMASHITA, A. C. Arquitetura Indígena. **Revista de Ciências Exatas e da Terra**. UNIGRAN, v2, n.2, 2013.

AMER, M. *et al.* Mechanical properties of clonal eucalyptus wood. **International Journal of Thermophysics**, v. 42, p. 1-15, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-1**: Projetos de estruturas de madeira Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-2**: Projetos de estruturas de madeira Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-3**: Projetos de estruturas de madeira Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-4**: Projetos de estruturas de madeira Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização de peças estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2022d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-5**: Projetos de estruturas de madeira Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-6**: Projetos de estruturas de madeira Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-7**: Projetos de estruturas de madeira Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022g.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15066**: Madeira e pasta celulósica – Determinação das dimensões de fibras – Método de microscopia óptica. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143**: standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Philadelphia, PA (US), 2014.

BAWCOMBE, J. et al. The quality of Douglas fir grown in the United Kingdom. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials**, v. 168, n. 3, p. 99-109, 2015.

BEKTAŞ, İ.; TUTUŞ, A.; GÜLTEKİN, G. The effect of sapwood and heartwood differences on mechanical properties of fast-growing tree species. **Drvna industrija**, v. 71, n. 3, p. 261-269, 2020.

BRASIL, W. W. F. **Relatório Anual**. 2018.

BROKĀNS, A. The effect of timber properties on the behaviour of bending elements under loading. **ReseaRch foR RuRal Development**, v. 2, 2013.

BURGERS, A. *et al.* Timber grading of *Pinus uncinata*, a lesser known pine species from the pyrenean mountain range. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 21, n. 2, p. 261-276, 2019.

CALIL JUNIOR., C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, p. 71-77, 1997, Campina Grande. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/58bg3vn8xXTLhwwgm375XTk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 mar. 2022.

CALIL JÚNIOR, C.; BARALDI, L.T.; STAMATO, G. C.; FERREIRA, N. S. S. **Estruturas de madeira**. São Carlos: USP – Departamento de Engenharia de Estruturas, 2000. 101p.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: **Embrapa Florestas**, 2003. v. 1, p. 717-725.

CEN. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1995-1-1 EUROCODE 5**: 2004: Design of timber structures. Parte 1 – 1: General – common rules and rules for buildings. Bruxelas; CEN, 2004.

CHEUNG, A. B.; PINTO, E. M.; CALIL JUNIOR, C. Confiabilidade estrutural de vigas de madeiras submetidas à flexão em condições normais e em situação de incêndio. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 12, n. 29, p. 1-12, 2011.

CHEN, J. *et al.* Experimental buckling performance of eucalyptus-based oriented oblique laminated strand lumber columns under centric and eccentric compression. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120072, 2020.

CHRISTOFORO, A. L. *et al.* Full characterization of *Calycophyllum multiflorum* wood specie. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 637-643, 2017.

CHRISTOFORO, A. L. *et al.* Evaluation of the *Peltophorum vogelianum* Benth. wood species for structural use. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 763-768, 2019.

CHRISTOFORO, A. L. *et al.* Estimation of wood toughness in Brazilian tropical tree species. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 232-237, 2020.

COMIÇÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 461: Determinación del peso específico aparente**. Buenos Aires, 1972

COMIÇÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 462: Método de determinación de la contracción**. Buenos Aires, 1972.

COMIÇÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 463: Maderas. Método de Determinación dei Cizalhamento Paralelo al Grano**. Buenos Aires, 1972

CONCU, G. *et al.* Grading of maritime pine from Sardinia (Italy) for use in cross-laminated timber. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials**, v. 171, n. 1, p. 11-21, 2018.

CUNHA, C. *et al.* Mechanical characterization of Iroko wood using small specimens. **Buildings**, v. 11, n. 3, p. 116, 2021.

DALLA COSTA, H. W. *et al.* Propriedades mecânicas de três espécies de rápido crescimento submetidas a campo de apodrecimento. **Advances in Forestry Science**, v. 9, n. 2, p. 1745-1750, 2022.

DERIKVAND, M. *et al.* Characterisation of physical and mechanical properties of unthinned and unpruned plantation-grown *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden lumber. **Forests**, v. 10, n. 2, p. 194, 2019.

DEVORE, J. L.; CORDEIRO, M. T. A. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. Cengage Learning Edições Ltda., 2014.

ENGENHO E ARTE. 18 andares em madeira, a mais alta torre construída em madeira. **Engenho e Arte**. Portugal. 12, agosto, 2020. Disponível em: <https://www.engenhoarte.info/post/18-andares-em-madeira-a-mais-alta-torre-constru%C3%ADda-em-madeira>. Acesso em: 24 maio 2024.

ESPINDOLA, L. da R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-113504/pt-br.php>. doi:10.11606/T.102.2017.tde-04092017-113504. Acesso em: 06 set. 2022.

ESTÉVEZ-CIMADEVILA, J. *et al.* Experimental analysis of pretensioned CLT-glulam T-section beams. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2018, 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 789: estruturas de madeira-métodos de teste-determinação das propriedades mecânicas de painéis derivados de madeira**. Brussels, 2004.

- EVISON, D. Survey of key decision-makers involved in the construction of multi-storey timber buildings in Christchurch during 2013 and 2014. **Timber Design Journal**, v. 22, n. 4, p. 15-22, 2015.
- FERRARI, A. M. W.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F. O emprego da madeira na busca pela sustentabilidade na construção civil. *In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA PARA O MEIO AMBIENTE*, 2010, Bento Gonçalves. **Resumos [...]**. Bento Gonçalves: Universidade de Caxias do Sul, 2010.
- FLORENÇA, I. *et al.* Evaluation of the wood strength class using the experimental approach. **Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura**, v. 63, n. 2, 2017.
- FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC). **Estatuto FSC Brasil**. São Paulo, 2019.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2017.
- LIBERAL, Rede. Estrutura de madeira da feira de artesanato desaba em Paragominas, no PA. **Rede Liberal - Globo [online]**. Pará. 2023
- GOMES, G. Arquitetura do açúcar. *In: BICCA, B. E. P.; BICCA, P. R. S. (org). Arquitetura na formação do Brasil*. Brasília: UNESCO, 2006. p.82-125.
- GOMES, J. J. *et al.* Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para o uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 537-542, 2007.
- GONÇALVES, F. G. *et al.* Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, p. 501-509, 2009.
- HAAG, V. *et al.* Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 22, n. 1, p. 23-36, 2020.
- HAMDAN, H. *et al.* Anatomical, physical, and mechanical properties of four pioneer species in Malaysia. **Journal of Wood Science**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2020.
- HUSSEIN, M. M.; NASSAR, K.; DARWISH, M. Mechanical properties of Egyptian casuarina wood. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, n. 12, p. 04019293, 2019.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Síntese descrição de biomas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 07 set. 2023.
- IWUOHA, S. E.; SEIM, W.; ONYEKWELU, J. C. Mechanical properties of *Gmelina arborea* for engineering design. **Construction and Building Materials**, v. 288, p. 123123, 2021.

- JESUS EUFRADE JUNIOR, H. *et al.* Potential of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil. **Journal of Wood Science**, v. 61, n. 4, p. 384-390, 2015.
- LAHR, F. A. R. *et al.* Physical-mechanical characterization of *Eucalyptus urophylla* wood. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 900-906, 2017.
- LAHR, F. A. R. *et al.* Wood utilization of *Eucalyptus grandis* in structural elements: densities and mechanical properties. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 642-647, 2018.
- LEVER ARCHITECTURE. Framework. **Lever Architecture**. Los Angeles. 2024
Disponível em: <https://leverarchitecture.com/projects/framework>. Acesso em: 24 maio 2024.
- LIMA, T. F. P. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira Tatajuba (*Bagassa guianensis*) proveniente de duas diferentes regiões brasileiras. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, p. e12185, 2018.
- LÚCIO, A. D. *et al.* Variância e média da massa de frutos de abobrinha-italiana em múltiplas colheitas. **Horticultura Brasileira**, v. 26, pág. 335-341, 2008.
- MARASIGAN, O. S.; RAZAL, R. A.; CARANDANG, W. M. Physical and Mechanical Properties of Stems and Branches of Falcata [*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & JW Grimes] Grown in Caraga, Philippines. **Philippine Journal of Science**, v. 151, n. 2, p. 575-586, 2022.
- MARINI, L. J. *et al.* Estimativa da resistência à tração nas madeiras de dez espécies de eucalipto em função de parâmetros anatômicos e da densidade aparente. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, 2022.
- MARTINS, C. *et al.* Assessment of Bending Properties of Sawn and Glulam Blackwood in Portugal. **Forests**, v. 11, n. 4, p. 418, 2020.
- MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal vascular brasileiro**, v. 16, p. 88-91, 2017.
- MORAES NETO, S. P. *et al.* Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do distrito federal. **Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa**, v. 251, 2009.
- MORANDO, T. C. *et al.* Characterization of the wood species *Qualea albiflora* for structural purposes. **Wood Research**, v. 64, n. 5, p. 769-776, 2019.
- NOGUEIRA, M. C. J. A. *et al.* Characterization of *Eucalyptus maidenii* timber for structural application: physical and mechanical properties at two moisture conditions. **South-east European forestry: SEEFOR**, v. 9, n. 2, p. 141-146, 2018.
- NOGUEIRA, M. C. J. A. *et al.* Physical and mechanical properties of *Eucalyptus saligna* wood for timber structures. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 233-239, 2019.
- NOGUEIRA, M. C. J. A. *et al.* Sixteen properties of *Eucalyptus tereticornis* wood for structural uses. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 449-457, 2020.

NOGUEIRA, M. C. J. A. *et al.* Characterization of *Corymbia citriodora* wood for construction. **Holos**, v. 1, p. 1-11, 2021.

NORDIC STRUCTURES. T3 bayside east. **Nordic Structures**. Québec. 2023. Disponível em: <https://www.nordic.ca/en/projects/structures/t3-bayside-east>. Acesso em: 24 maio 2024.

OPAZO-VEGA, A.; ROSALES-GARCÉS, V.; OYARZO-VERA, C. Non-destructive assessment of the dynamic elasticity modulus of eucalyptus nitens timber boards. **Materials**, v. 14, n. 2, p. 269, 2021.

PEREIRA, A. J. DO R. *et al.* **Caracteres tecnológicos de 25 espécies de madeiras do Nordeste do Brasil**. SUDENE. Recife, 1970.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000.

RAPOSO, P. *et al.* Characterization of the mechanical behaviour of wooden construction materials from “quinta lobeira de cima”. **International Journal of Structural Integrity**, v. 9, n. 3, p. 396-410, 2018.

RAMAGE, M. H. *et al.* The wood from the tress: The use of timber in construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 333-359, 2017. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/114040/1/1-s2.0-S1364032116306050-main.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2022.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da arquitetura no Brasil**. 11 ed. São Paulo: Perspectiva. 2006.

RIALA, M.; ILOLA, L. Multi-storey timber construction and bioeconomy—barriers and opportunities. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 29, n. 4, p. 367-377, 2014.

RÖDEL, N. M. C. **Contribuição ao estudo do ecodesign na seleção de materiais para construção de residenciais unifamiliares em ambientes urbanos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5036>. Acesso em: 28 fev. 2022.

SANTOS, I. C.; ASAKAWA, G. N.; BRANDÃO, L. P. M. PARÂMETRO GLOBAL DE CORRELAÇÃO ENTRE RE EMBUTIBILIDADE. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 2, pág. 157-160, 2016.

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/FAEC-84KQ4X>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SANTOS MARQUES, 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**, v. 36, n. 2, p. 373-380, 2012.

SEGUNDINHO, P. G. A. *et al.* Analysis of the natural vibration frequency test method to obtain the modulus of elasticity of wood structural components. **Revista Arvore**, v. 36, p. 1155-1162, 2012.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 25 set. 2022.

SHIGUE, E. K. **Difusão da construção em madeira no Brasil**: agentes, ações e produtos. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-03092018-094051/pt-br.php>. doi:10.11606/D.102.2018.tde-03092018-094051. Acesso em: 5 maio 2022.

SILVA, R. D. **Plantando Casas**: estudo da cadeia produtiva para habitação de interesse social em madeira de Pinus spp no Paraná – Brasil. 2010. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002397329>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SRIVARO, S. *et al.* Characterization of coconut (Cocos nucifera) trunk's properties and evaluation of its suitability to be used as raw material for cross laminated timber production. **Construction and Building Materials**, v. 254, p. 119291, 2020.

STACHERA, Jr. T. Avaliação de emissões de CO2 na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais [...]**. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_090_554_12351.pdf. Acesso em: 28 fev. 2022.

SUNDARARAJ, R. *et al.* Natural durability of timbers under Indian environmental conditions—An overview. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 103, p. 196-214, 2015.

TAVARES, S. **Algumas madeiras pernambucanas da família Chrysobalanaceae**. Tese (Concurso). Escola de Engenharia de Pernambuco da Universidade do Recife. Escola Industrial Agamenon Magalhães. Recife, 1957.

TENORIO, C.; MOYA, R.; CAMACHO, D. Physical and mechanical properties of plywood panels manufactures with tropical plantation species for structural use. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 317-325, 2012.

TOMAZELI, A. J. *et al.* Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. **Tecno-lógica**, v. 20, n. 1, p. 20-25, 2016.

TOPALOGLU, E. *et al.* Changes in wood properties of chestnut wood structural elements with natural aging. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 23, 2021.

TRIANOSKI, R.; DE MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de cedro australiano cultivado em Corupá, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 435-441, 2014.

UNICAMP. Universidade Estadual de Campinas. Ponte do Tacoma. Disponível em: <https://www.ime.unicamp.br/~apmat/ponte-de-tacoma/>. São Paulo, 2020. Acesso em: 18 de nov. 2023.

VALLE TAGER, G. M. *et al.* Selected mechanical properties of four Central American wood species. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, p. 699-702, 2014.

WHEELER, E. A. *et al.* (Ed.). **IAWA list of microscopic features for hardwood identification**. 1989.

YORESTA, F. S. Physical and Mechanical Properties of Black Wood (Ebony) as a Construction Material. **LANGKAU BETANG: JURNAL ARSITEKTUR**, v. 2, n. 1, p. 22-28, 2015.

ZANI, A. C. **Arquitetura em madeira**. EdueL. Londrina, 2013.

ZANUNCIO, A. J. V. *et al.* Characterization of eucalyptus clones subject to wind damage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 969-976, 2017.

APÊNDICE A – ENTREVISTA COM ESPECIALISTA

Roteiro da entrevista com o especialista

Nome do entrevistado:

Data da entrevista:

Local:

Responsável entrevista:

Contato:

Arquivo de áudio/vídeo:

Pergunta 1 – Como se interessou pela área de madeiras estruturais na construção civil?

Pergunta 2 – Como está o mercado da construção civil pernambucano em relação às madeiras nativas?

Pergunta 3 – Há estudos sobre as propriedades mecânicas das madeiras nativas do estado?

Pergunta 4 – Há laboratórios para tais estudos nas Universidades do estado?

Pergunta 5 – Há habitações em madeiras em Pernambuco?

Pergunta 6 – Porque o sistema construtivo com madeira, deixou de ser quase que 100% explorado no país?

Pergunta 7 – O que falta em Pernambuco e no Brasil, para que o uso da madeira na construção volte a ser mais utilizado?

Pergunta 8 – Quais as dificuldades desse sistema construtivo no Brasil?

Pergunta 9 – Como ver o uso da madeira na construção civil como principal material e os impactos globais que o planeta vem enfrentando?

Pergunta 10 – Como imagina o futuro da construção civil com o uso das estruturas de madeira?

**ANEXO A – LIVRO ALGUMAS MADEIRAS PERNAMBUCANAS DA FAMÍLIA
*CHRYSOBALANACEAE***

SÉRGIO TAVARES
ENG. AGRÔNOMO

ALGUMAS MADEIRAS PERNAMBUCANAS DA FAMÍLIA *CHRYSOBALANACEAE*

1957

ARTE-GRÁFICAS
ESCOLA INDUSTRIAL AGAMENON MAGALHÃES
RECIFE-PERNAMBUCO

https://drive.google.com/drive/folders/1446BhtbLD_cyoLY9yNCqUR3AXn8G6fuP?usp=sharing

Figura 10 – QR Code do Anexo A



**ANEXO B – LIVRO CARACTERES TECNOLÓGICOS DE 25 ESPÉCIES DE
MADEIRAS DO NORDESTE DO BRASIL**

**SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE
SUDENE**

**CARACTERES TECNOLÓGICOS DE 25 ESPÉCIES DE MADEIRAS DO NORDESTE
DO BRASIL**

**A. J. DO RÊGO PEREIRA
J. M. CABRAL DE VASCONCELLOS
S. TAVARES
E. J. DE SOUZA TAVARES**

**SEPARATA DO BOLETIM DE
SUDENE – VOL.**

**RECIFE
1970**

https://drive.google.com/drive/folders/1446BhtbLD_cyoLY9yNCqUR3AXn8G6fuP?usp=sharing

Figura 11 – QR Code do Anexo B



ANEXO C - RESULTADOS MÉDIOS DAS ESPÉCIES DE MADEIRAS OBTIDOS DA RSL

Neste anexo, encontra-se os quadros que foram adaptados pela autora, com os resultados médios obtidos da RSL.

Quadro 35 – Espécie Australiana

| | | |
|-----------------|---|--------------------|
| Norma | | ASTM D 143 |
| País | | Austrália |
| Ano | | 2019 |
| Espécies | | E. nitens pulpwood |
| Ensaio | Densidade (kg/m³) | 523,6 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 42,8 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 4,1 |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 3,4 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 53 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 10377,7 |

Fonte: Adaptado a partir de Derikvand *et al.* (2019)

Quadro 36 – Espécies Chilenas

| | | |
|-----------------|--|--|
| Norma | | ASTM D6874 EN 408 NCh 1198 NCH 1970 |
| País | | Chile |
| Ano | | 2021 |
| Espécies | | Eucalyptus nitens |
| Ensaio | Módulo de elasticidade paralela às fibras (MPa) | 11500 |
| | Módulo de elasticidade obtido por vibração longitudinal (MPa) | 12500 |
| | Módulo de elasticidade obtido por vibração transversal (MPa) | 10450 |

Fonte: Adaptado a partir de Opazo-Vega; Rosales-Garcés; Oyarzo-Vera (2021)

Quadro 37 – Espécies Chinesas

| | | |
|-----------------|--|-----------------------------|
| Norma | | ISO 3129-2012 ASTM D5764 |
| País | | China |
| Ano | | 2020 |
| Espécies | | Eucalyptus Strand Wood |
| Ensaio | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 11,8 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 67 |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 112 |
| | Flexão estática (MPa) | 111 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 16472 |

Fonte: Adaptado a partir de Chen *et al.* (2020)

Quadro 38– Espécies Costarriquenhas

| Norma | | PS 1-95; PS 1-09; ASTM D1037; ASTM D2395; ASTM D2559; ASTM D3043; ASTM D3500; ASTM D3501; ASTM D4442; ASTM D5751; AS/NZS 2269 | | |
|----------|---|---|----------------|-----------------|
| País | | Costa Rica | | |
| Ano | | 2012 | | |
| Espécies | | Tectona grandis | Acacia mangium | Gmelina arborea |
| Ensaio | Teor de umidade (%) | 9,86 | 10,57 | 12,4 |
| | Densidade a 12% (kg/m ³) | 680 | 620 | 520 |
| | Dureza (kg) | 326,77 | 243,59 | 223,47 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 35,7 | 41,93 | 23,05 |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 40,33 | 31,19 | 45,38 |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 0,88 | 0,68 | 0,66 |

Fonte: Adaptado a partir de Tenorio; Moya; Camacho (2012)

Quadro 39 – Espécies Croatas

| Norma | | TS 4176; TS 2595; TS 2474; TS 2478; TS 2476; TS 3459; TS 2477; TS 2479 | | | |
|----------|---|--|-------------------|-------------------|---------------|
| País | | Croácia | | | |
| Ano | | 2019 | | | |
| Espécies | | Eucalito / drvo eukalipta | Madeira de choupo | Pinheiro vermelho | Pinho escocês |
| Ensaio | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 9,1 | 4 | 4,5 | 6,3 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 37,8 | 37,4 | 45,1 | 39,3 |
| | Tração normal as fibras (MPa) | - | 2,2 | 2,1 | 2,5 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 94,1 | 48,2 | 68,5 | 74,9 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | - | 4179,1 | 6118 | 6539,3 |
| | Módulo dinâmico de elasticidade (MPa) | 0,085 | 0,035 | 0,027 | 0,047 |

Fonte: Adaptado a partir de Bektaş; Tutuş; Gültekin (2020)

Quadro 40 – Espécies Egípcias

| Norma | | ASTM D143 ASTM D2555 ASTM D2915 | |
|----------|---|---------------------------------------|--------------------------|
| País | | Egito | |
| Ano | | 2019 | |
| Espécies | | Casuarina Glauca | Casuarina Cunninghamiana |
| Ensaio | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 32,219 | 11,43 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 7,44 | 4,98 |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 162,9 | - |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 5,97 | - |
| | Flexão estática (MPa) | 62,06 | 32,36 |
| | Elasticidade de flexão estática (MPa) | 8418 | 4193 |
| | Módulo de elasticidade à tração perpendicular às fibras (MPa) | 176,98 | - |
| | Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | 716,44 | - |
| | Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | 5083,06 | 1728,85 |
| | Módulo de elasticidade à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 172,18 | 87,27 |

Fonte: Adaptado a partir de Hussein; Nassar; Darwish (2019)

Quadro 41 – Espécies Espanholas

| Norma | | EN 14080; ETA 13/0642; ETA 14/0349; EN 338; prEN 10138-4; EN 408, 2010+A1; ETA 05/0123 | | ISBN 978-3-319-30953-8 |
|--|---|--|-------------|---------------------------------------|
| País | | Espanha | | |
| Ano | | 2018 | | 2019 |
| Espécies | | Quercus robur | Picea abies | Populus × euramericana (Dode) Guinier |
| Ensaio | Densidade (kg/m ³) | 690 | 420 | - |
| | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 4 | 2,5 | - |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 45 | 22 | 34,4 |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 23 | 14 | - |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 0,6 | - | - |
| | Flexão estática (MPa) | 33 | 24 | - |
| | Módulo de cisalhamento paralelo às fibras (MPa) | 850 | 460 | - |
| | Módulo de elasticidade paralela às fibras (MPa) | 14400 | 12500 | - |
| Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | - | - | 8780 | |

Fonte: Adaptado a partir de Estévez-Cimadevila *et al.* (2018)

Quadro 42 – Espécies Espanhola e Francesa

| Norma | | NF EN-338; NF EN-384; NF B 52-001-1; EN-408; NF B51-007 |
|----------|---|---|
| País | | Espanha e França |
| Ano | | 2019 |
| Espécies | | Pinheiro da montanha (Pinus uncinata) |
| Ensaio | Densidade (kg/m ³) | 512 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 48 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 9076 |

Fonte: Adaptado a partir de Burgers *et al.* (2019)

Quadro 43 – Espécies Filipinas

| Norma | | ASTM: D143 |
|----------|--|---|
| País | | Filipinas |
| Ano | | 2022 |
| Espécies | | Falcata (Falcataria molucanna (Miq.) Barneby & JW Grimes) |
| Ensaio | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 4,12 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 18,46 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 2,36 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 35,44 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 4910 |

Fonte: Adaptado a partir de Marasigan; Razal; Carandang (2020)

Quadro 44 – Espécies Guatemalenses

| Norma | | EN 408 | | | |
|----------|---|---|--|------------------------------|--|
| País | | Guatemala | | | |
| Ano | | 2014 | | | |
| Espécies | | Amapola (Pseudobombax ellipticum) | Manchiche (Lonchocarpus castilloi) | Pucte (Bucida buceras) | Santamaria (Calophyllum brasiliense) |
| Ensaio | Teor de umidade (%) | 11 | 8 | 8 | 8 |
| | Densidade (kg/m ³) | 240 | 750 | 820 | 460 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 23 | 82 | 65 | 51 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 3 | 16 | 25 | 9 |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 33 | 206 | 170 | 83 |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 1,5 | 6,4 | 8,3 | 8,9 |
| | Flexão estática (MPa) | 34 | 156 | 135 | 92 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 6100 | 20000 | 15000 | 12500 |
| | Módulo de elasticidade à tração perpendicular às fibras (MPa) | 130000 | 740000 | 856000 | 938000 |
| | Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | 4100 | 19100 | 17000 | 10600 |
| | Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | 5300 | 19300 | 16200 | 11100 |
| | Módulo de elasticidade à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 427000 | 2221000 | 4234000 | 1164000 |

Fonte: Adaptado a partir de Valle tager *et al.* (2014)

Quadro 45 – Espécies Indonésias

| Norma | País | Ano | Espécies | Ensaio | | | | | |
|---------------|-----------|------|--|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------|---|
| | | | | Teor de umidade (%) | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | Tração paralela às fibras (MPa) | Flexão estática (MPa) | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) |
| ASTM D 143-94 | Indonésia | 2015 | Madeira Preta Ébano (Diospyros celebica) | 12,9 | 11,73 | 84,49 | 227,419 | 162.42 | 17693.73 |
| | | | Shorea leavifolia | - | 10,08 | 66,68 | - | 121.9 | 18338.44 |
| | | | Shorea eleptica | - | 9,48 | 71,59 | - | 151.51 | 19515.23 |
| | | | Maranthes corymbesa | - | 6,61 | 60,8 | - | 126.11 | 16671.30 |
| | | | Cortar a aglaia | - | 7,53 | 70,7 | - | 134.45 | 15592.57 |
| | | | Bijuga intsia | - | 10,2 | 76,2 | - | 144.94 | 15494.51 |
| | | | Dalbergia latifolia | - | 8,84 | 60,51 | - | 113.95 | 11277.65 |
| | | | Eusideroxylon zwa-geri | - | 11,51 | 71,98 | - | 140.33 | 18044.24 |
| | | | Trichadenia philippinensis | - | 15,89 | 61,72 | - | 100.4 | 15465.09 |
| | | | Elateriospermum feito | - | 11,65 | 7,72 | - | 109.48 | 16543.82 |
| | | | Dillenia grandifolia | - | 9,51 | 12,85 | - | 102.48 | 17455.84 |

Fonte: Adaptado a partir de Yoresta (2015)

Quadro 46 – Espécies Italiana

| | | |
|-----------------|---|---|
| Norma | | UNI EN 14358; UNI EN 338; UNI EN 15228; UNI EN 384; UNI EN 408; UNI 11035-1; UNI 11035-2; UNI EN 14081-1; UNI EN 1995-1-1; UNI EN 16351 |
| País | | Itália |
| Ano | | 2016 |
| Espécies | | Pinho marítimo da Sardenha |
| Ensaio | Teor de umidade (%) | 12,34 |
| | Densidade (kg/m³) | 501,69 |
| | Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | 5589,13 |
| | Módulo dinâmico de elasticidade (MPa) | 8163,01 |

Fonte: Adaptado a partir de Concu *et al.* (2018)

Quadro 47 – Espécies Letãs

| | | |
|-----------------|--|------------------------|
| Norma | | LVS EN 408; LVS EM 384 |
| País | | Letônia |
| Ano | | 2013 |
| Espécies | | Pinus Sylvestris |
| Ensaio | Densidade (kg/m³) | 515,65 |
| | Dureza (kg) | 32,63 |
| | Elasticidade de flexão estática (MPa) | 90,9 |

Fonte: Adaptado a partir de Brokāns (2013)

Quadro 48 – Espécies Malaios

| | | | | | | | |
|-----------------|--|--|-------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------|
| Norma | | Norma Britânica 373:1957 | | | | | |
| País | | Malásia | | | | | |
| Ano | | 2020 | | | | | |
| Espécies | | Batai (Paraserianthes moluccana) | Ludai (Sapium baccatum) | Mahang (Macaranga gigantea) | Sesendok (Endospermum malaccense) | Rubberwood (Hebea brasiliensis) | Eucalyptus Grandis |
| Ensaio | Tangencial (%) | 3 | 2,4 | 2,4 | 2,7 | - | - |
| | Radial (%) | 2,4 | 1,1 | 1,5 | 1,7 | - | - |
| | Densidade (kg/m³) | 293 | 438 | 493 | 514 | 503-553 | 517 |
| | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 5,8 | 7,6 | 8,7 | 10,1 | 12,5 | 8 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 22,9 | 32 | 32,4 | 38,7 | 33,6 | 52 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 36,9 | 65,9 | 74 | 79,5 | 81,3 | 84 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 143 | 7582 | 8056 | 9209 | 8564 | 8412 |

Fonte: Adaptado a partir de Hamdan *et al.* (2020)

Quadro 49 – Espécies Marroquinas

| | | | |
|-----------------|---|----------------------------|----------------------------------|
| Norma | | NF B 51-007 NF B 51-008 | |
| País | | Marrocos | |
| Ano | | 2021 | |
| Espécies | | Eucalipto (E. grandis) | Eucalipto (E. cama ldulensis) |
| Ensaio | Densidade a 12% (kg/m³) | 582 | 605 |
| | Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | 17322 | 17980 |

Fonte: Adaptado a partir de Amer *et al.* (2021)

Quadro 50 – Espécies Nigerianas

| | | |
|--|---|------------------------------|
| Norma | | EN 384; EN 408; DIN 52188 |
| País | | Nigéria |
| Ano | | 2021 |
| Espécies | | Gmelina arborea |
| Ensaio | Densidade (kg/m³) | 452 |
| | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 6,3 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 34,02 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 4,51 |
| | Tração paralela ao grão (MPa) | 67,91 |
| | Flexão estática (MPa) | 55,64 |
| | Módulo de cisalhamento paralelo às fibras (MPa) | 771,25 |
| | Elasticidade de flexão estática (MPa) | 12,34 |
| | Módulo de elasticidade paralela às fibras (MPa) | 11,84 |
| | Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | 11,027 |
| Módulo de elasticidade à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 419,42 | |

Fonte: Adaptado a partir de Iwuoha; Seim; Onyekwelu (2021)

Quadro 51 – Espécies Peruanas

| | | |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| Norma | | EN 350-1(1994); CEN/TS 15083-1(2005) |
| País | | Peru |
| Ano | | 2020 |
| Espécies | | Cedrelinga cateniformis |
| Ensaio | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 38 |
| | Flexão estática (MPa) | 70 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 10900 |

Fonte: Adaptado a partir de Haag *et al.* (2020)

Quadro 52 – Espécies Portuguesas

| Norma | | EN 13183-2; EN 408 EN 384; EN 14.080 | NP-614; NP-616 NP-618; NP-619 | | EN 338; EN 1912; BS 5756; EN 14081-1; EN 408; EN 384; ISO 3129; ISO 3130; ISO 3131; EN 1310 |
|----------|--|---|----------------------------------|----------|---|
| País | | Portugal | Portugal | | Portugal |
| Ano | | 2020 | 2018 | | 2021 |
| Espécies | | Madeira negra portuguesa | Castanheiro | Carvalho | Iroko |
| Ensaio | Teor de umidade (%) | 11,5 | 11,2 | 12,4 | 13,1 |
| | Densidade (kg/m ³) | 646 | 593,11 | 798,53 | - |
| | Densidade a 12% (kg/m ³) | 647 | - | - | 743,12 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | - | 50,48 | 38,34 | - |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | - | 36,04 | 20,17 | - |
| | Flexão estática (MPa) | 68,6 | 74,05 | 19,09 | - |
| | Força de dobra paralela às fibras (MPa) | 65,2 | - | - | 105,3 |
| | Elasticidade de flexão estática (MPa) | - | - | - | 9,95 |
| | Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | - | 6966 | 8179 | - |
| | Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | - | 6695 | 10837 | - |
| | Módulo dinâmico de cada placa (MPa) | 14,104 | - | - | 15880 |

Fonte: Adaptado a partir de Cunha *et al.* (2021); Martins *et al.* (2020); Raposo *et al.* (2018)

Quadro 53 – Espécies Britânicas

| Norma | | BS 373 |
|----------|---|---------------|
| País | | Reino Unido |
| Ano | | 2015 |
| Espécies | | Abeto Douglas |
| Ensaio | Densidade (kg/m ³) | 478 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 77 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 10000 |

Fonte: Adaptado a partir de Bawcombe *et al.* (2015)

Quadro 54 – Espécies Romenas

| Norma | | LY/T 2054; GB/T 50329-2012; LY/T 2054; GB/T 26899-2011 |
|----------|---|---|
| País | | Romênia |
| Ano | | 2017 |
| Espécies | | Choupo amarelo híbrido (Liriodendron sino-americanum) |
| Ensaio | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 37,61 |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 25,45 |
| | Flexão estática (MPa) | 109,8816 |
| | Módulo de elasticidade obtido por flexão estática (MPa) | 9133,29 |

Fonte: Adaptado a partir de Florenta *et al.* (2017)

Quadro 55 – Espécies Tailandesas

| | | | |
|-----------------|--|-------------------------------------|---------|
| Norma | | ASTM D 1037; ASTM D 143; ASTM C 177 | |
| País | | Tailândia | |
| Ano | | 2016 | |
| Espécies | | Coqueiro (<i>Cocos nucifera</i>) | |
| | | 30 anos | 60 anos |
| Ensaio | Radial (%) | 2 | 1,7 |
| | Densidade (kg/m³) | 534 | 731 |
| | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 6,9 | 10,6 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 32 | 52 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 52 | 83 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 6381 | 7920 |

Fonte: Adaptado a partir de Srivaro *et al.* (2020)

Quadro 56 – Espécies Turcas

| | | |
|-----------------|--|---|
| Norma | | ISO 15686-1; ISO 13061-1; ISO 13061-2; ISO 13061-3; ISO 13061-4; ISO 13061-17 |
| País | | Turquia |
| Ano | | 2021 |
| Espécies | | Castanea sativa Mill (madeira de castanheiro) |
| Ensaio | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 87,35 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 95,49 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | 10762,67 |

Fonte: Adaptado a partir de Topaloglu *et al.* (2021)

Quadro 57 – Espécies Brasileiras

| | | | | | |
|-----------------|--|---|---------------|---------------|---------------|
| Norma | | NBR 7190; ASTM E1876; ASTM D 198; ASTM C215 | | | |
| País | | Brasil | | | |
| Ano | | 2012 | | | |
| Espécies | | Eucalyptus sp. | Pinus oocarpa | Pinus oocarpa | Pinus oocarpa |
| Ensaio | Densidade aparente seca (g/cm³) | 0,872 | 0,531 | 0,612 | 0,602 |
| | Módulo de elasticidade obtido por vibração longitudinal (MPa) | 17147 | 10455 | 14809 | 14142 |
| | Módulo de elasticidade obtido por vibração transversal (MPa) | 18808 | 10304 | 15408 | 14614 |
| | Módulo de elasticidade obtido por flexão estática (MPa) | 16368 | 9443 | 13118 | 13185 |

Fonte: Adaptado a partir de Segundinho *et al.* (2012)

Quadro 58 – Espécies Brasileiras

| Norma | | NBR 7190 | | | | |
|---|--|--|------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| País | | Brasil | | | | |
| Ano | | 2015 | 2017 | 2017 | 2018 | 2018 |
| Espécies | | Seringueira (Hevea brasiliensis) | Calycophyllum multiflorum | Eucalyptus urophylla | Qualea albiflora | Eucalyptus grandis |
| Ensaio | Tangencial (%) | - | 6,64 | - | 9,34 | - |
| | Radial (%) | - | 4,02 | - | 4,72 | - |
| | Teor de umidade (%) | 12 | 12 | 12 | - | - |
| | Densidade aparente seca (g/cm ³) | - | - | 0,74 | - | 118 |
| | Densidade (kg/m ³) | 541 | 770 | - | - | - |
| | Densidade a 12% (kg/m ³) | 662 | - | - | 850 | - |
| | Tenacidade (N.m) | - | 14,24 | - | 118,4 | 11,7 |
| | Dureza normal às fibras (MPa) | - | 65 | 6,43 | 74,2 | - |
| | Dureza paralela às fibras (MPa) | - | 101 | 5,73 | 111,1 | - |
| | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 9,43 | - | 13,9 | 17,13 | 11,3 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 49,83 | 55 | 46 | 70,93 | 40,1 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 11,24 | 12 | 6,5 | - | 4,4 |
| | Resistência ao rompimento (MPa) | - | 1,4 | - | 0,57 | - |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 76,45 | 104 | 34,7 | 91 | 70,3 |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 4,23 | 7 | 4,2 | 2,85 | 2,6 |
| | Flexão estática (MPa) | - | 103 | 87,7 | 113,1 | 71,9 |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | - | - | 13416,7 | - | - |
| | Elasticidade de flexão estática (MPa) | - | 11457 | - | - | 12086,4 |
| | Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | - | 12920 | 15382,2 | 18738 | 14576,3 |
| | Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | 12,61 | 11188 | 13391,7 | 19143 | 12696,7 |
| Módulo de elasticidade à compressão perpendicular às fibras (MPa) | - | 647 | 640,7 | - | 443,2 | |
| Módulo de elasticidade obtido por flexão estática (MPa) | - | - | - | 18436 | - | |

Fonte: Adaptado a partir de Christoforo *et al.* (2017); Jesus Eufraide Junior *et al.* (2015); Lahr *et al.* (2017); Lahr *et al.* (2018); Morando *et al.* (2019)

Quadro 59 – Espécies Brasileiras

| Norma | | NBR 7190 | | | | |
|---|--|--------------------|--|-------------------------|---------------------|---------------------|
| País | | Brasil | | | | |
| Ano | | 2019 | 2019 | 2020 | 2020 | 2021 |
| Espécies | | Eucalyptus saligna | Guarucuia (Peltophorum vogelianum Benth) | Eucalyptus tereticornis | Corymbia citriodora | Eucalyptus maidenii |
| Ensaio | Tangencial (%) | - | 8,09 | - | - | - |
| | Radial (%) | - | 4,13 | - | - | - |
| | Teor de umidade (%) | - | - | 12 | 12 | 12 |
| | Densidade aparente seca (g/cm ³) | - | 0,92 | 0,9 | 0,78 | 0,74 |
| | Densidade (kg/m ³) | 590 | - | - | - | - |
| | Densidade a 12% (kg/m ³) | 580 | - | - | - | - |
| | Tenacidade (N.m) | 13,3 | 12,7 | 14,4 | 21,3 | 15,3 |
| | Dureza normal às fibras (MPa) | 6,33 | 77 | - | 10,78 | - |
| | Dureza paralela às fibras (MPa) | 6,77 | 96 | - | 9,9 | - |
| | Cisalhamento paralela às fibras (MPa) | 14 | 20 | 16,2 | 18 | 17,2 |
| | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | 46,8 | 64 | 57,7 | 62,1 | 48,3 |
| | Resistência à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 4,8 | - | 5,7 | 6,4 | 3,7 |
| | Resistência ao rompimento (MPa) | 0,88 | 1 | - | 0,97 | - |
| | Tração paralela às fibras (MPa) | 95,5 | 75 | 116 | 123,6 | 83,7 |
| | Tração normal as fibras (MPa) | 4,1 | 5,6 | 4,6 | 3,9 | 4,8 |
| | Flexão estática (MPa) | 91,6 | 95 | 131 | 124,5 | 225 |
| | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa) | 91,6 | - | - | - | - |
| | Módulo de elasticidade da flexão estática (MPa) | - | - | 17464,4 | - | - |
| | Elasticidade de flexão estática (MPa) | 13,313 | 15002 | - | 19317,8 | 16024,4 |
| Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (MPa) | 15,981 | 14370 | 18508,6 | 6293,8 | 18932,2 | |
| Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MPa) | 15,261 | 16214 | 17285,3 | 18114 | 14431 | |
| Módulo de elasticidade à compressão perpendicular às fibras (MPa) | 478 | - | 596,4 | 626,9 | 368 | |

Fonte: Adaptado a partir de Christoforo *et al.* (2019); Lahr *et al.* (2017); Nogueira *et al.* (2019); Nogueira *et al.* (2020); Nogueira *et al.* (2021)

Quadro 60 – Espécies Brasileiras

| Norma | País | Ano | Espécies | Ensaio | | |
|-----------------------------------|--------|------|--|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | Densidade aparente seca (g/cm ³) | Densidade (kg/m ³) | Densidade a 12% (kg/m ³) |
| NBR 7190 | Brasil | 2019 | Cambará Rosa - <i>Erisma</i> sp. | 0,64 | 510 | 680 |
| | | | Cedro - amargo - <i>Cedrela</i> sp. | 0,47 | 420 | 500 |
| | | | Cedro doce - <i>Pachira quinata</i> | 0,48 | 420 | 500 |
| | | | Canafístula - <i>Cassia ferruginea</i> | 0,84 | 720 | 860 |
| | | | Catanudo - <i>Calophyllum</i> sp. | 0,78 | 640 | 800 |
| | | | Ang. Amargoso - <i>Vatairea fusca</i> | 0,75 | 620 | 770 |
| | | | Ang. Araroba - <i>Vataireopsis araroba</i> | 0,67 | 540 | 690 |
| | | | Castelo - <i>Gossypiospermum praecox</i> | 0,74 | 620 | 770 |
| | | | Mandioqueira - <i>Qualea albiflora</i> | 0,83 | 670 | 860 |
| | | | Tatajuba - <i>Bagassa guianensis</i> | 0,93 | 720 | 950 |
| | | | Ang. Vermelho - <i>Dinizia excelsa</i> | 1,12 | 890 | 1130 |
| | | | Champanhe (cumarú) - <i>Dipteryx</i> sp. | 1,08 | 910 | 1090 |
| | | | Itaúba - <i>Mezilaurus Itauba</i> | 0,9 | 780 | 910 |
| | | | Umirana | 0,68 | 590 | 720 |
| | | | Guaiçara - <i>Luetzelburgia auriculata</i> | 1,08 | 880 | 1090 |
| | | | Cafeteria - <i>Andira</i> sp | 0,63 | 560 | 670 |
| | | | Copaíba - <i>Copaifera langsdorffii</i> | 0,67 | 540 | 690 |
| | | | Guarucaia - <i>Parapiptadenia rígida</i> | 0,91 | 790 | 920 |
| | | | Branquilha - <i>Sebastiania brasiliensis</i> | 0,78 | 710 | 810 |
| Catiuba - <i>Qualea paraensis</i> | 1,13 | 940 | 1150 | | | |

Fonte: Adaptado a partir de Almeida *et al.* (2019)

Quadro 61 – Espécies Brasileiras

| Norma | País | Ano | Espécies | Ensaio | | | |
|----------------|--------|------|--------------------------|--------------------------------|------------------|---|-----------------------|
| | | | | Densidade (kg/m ³) | Tenacidade (N.m) | Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) | Flexão estática (MPa) |
| NBR 7190 | Brasil | 2020 | Angelim Amoroso | 770 | 96 | 59,9 | 89,2 |
| | | | Angelim Araroba | 670 | 69 | 50,8 | 75,4 |
| | | | Angelim Ferro | 1170 | 174 | 79,5 | 132 |
| | | | Angelim Pedra | 690 | 88 | 59,2 | 92,2 |
| | | | Angelim Pedra Verdadeiro | 1130 | 198 | 77,5 | - |
| | | | Angico Preto | 890 | 146 | 72,5 | 120,3 |
| | | | Branquilha | 810 | 92 | 48,5 | 82,9 |
| | | | Cafearana | 680 | 74 | 57,5 | 93,7 |
| | | | Cambará Rosa | 670 | 33 | 34,5 | 63,2 |
| | | | Casca Grossa | 790 | 122 | 58,5 | 106,7 |
| | | | Castelo | 760 | 140 | 54,8 | 103 |
| | | | Catanudo | 800 | 131 | 50,6 | 83,1 |
| | | | Cedro Amargo | 510 | 46 | 39,1 | 66,9 |
| | | | Cedro Doce | 500 | 53 | 31,5 | 56,6 |
| | | | Cedrona | 570 | 45 | 41,3 | 60,5 |
| | | | Copíba | 700 | 59 | 50,2 | 79,9 |
| | | | Cupiúba | 850 | 67 | 53,7 | 78,6 |
| | | | Cutiúba | 1150 | 162 | 79 | 126,9 |
| | | | Garapa | 920 | 144 | 73,4 | 118,9 |
| | | | Guaicara | 1090 | 228 | - | - |
| | | | Guarucaia | 920 | 127 | 62,4 | 95,6 |
| | | | Ipê | 1060 | 150 | 76,2 | 122,6 |
| | | | Itaúba | 910 | 145 | 69 | 116,6 |
| | | | Jatobá | 1080 | 202 | 93,5 | 161,3 |
| | | | Louro Preto | 680 | 67 | 56,9 | 92,7 |
| | | | Maçaranduba | 1140 | 197 | 82,9 | 136,3 |
| | | | Mandioqueira | 850 | 119 | 70,8 | 113,1 |
| | | | Oitica Amarela | 760 | 134 | 69,9 | 107,5 |
| | | | Oiuchu | 930 | 174 | 77,4 | 122,5 |
| | | | Paul-óleo | 700 | 61 | 52,4 | 80 |
| Piolho | 830 | 145 | 61,9 | - | | | |
| Quarubana | 540 | 49 | 37,8 | 67,4 | | | |
| Rabo de Arraia | 720 | 74 | 57,5 | 79,3 | | | |
| Sucupira | 1100 | 172 | 93,7 | 146,5 | | | |
| Tatajuba | 940 | 97 | - | 110,6 | | | |
| Umirana | 710 | 52 | 53,3 | 65,6 | | | |

Fonte: Adaptado a partir de Christoforo *et al.* (2020)

ANEXO D – DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS SELECIONADOS POR PAÍSES

Quadro 62 – Distribuição dos artigos

| Artigo | Autor e ano | País | Norma | Objetivos | Resultados |
|--------|---|-----------|------------|---|--|
| 1 | Derikvand <i>et al.</i> , 2019 | Austrália | ASTM D 143 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira serrada <i>Eucalyptus nitens</i> e desenvolver modelos de regressão linear simples usando densidade e teor de umidade para prever as propriedades mecânicas. | A mudança no teor de umidade após a secagem em estufa convencional das amostras selecionadas aleatoriamente em cada tratamento de teste não foi alta o suficiente para afetar significativamente as propriedades mecânicas. Houve variações relativamente grandes nos valores de densidade que se correlacionaram significativamente com mudanças nas propriedades mecânicas. A presença de nós aumentou a resistência ao cisalhamento tanto paralelo quanto perpendicular ao grão e reduziu significativamente a resistência à tração da madeira. Dessa forma, construiu um perfil de propriedades do material para a madeira <i>E. nitens</i> , podendo ser usado para modelagem numérica de produtos estruturais. |
| 2 | Segundinho <i>et al.</i> , 2012 | Brasil | NBR 7190 | Avaliar a eficácia de métodos de ensaio baseados em frequências naturais de vibração e compará-los com resultados obtidos em flexão estática para obtenção de propriedades elásticas de componentes de madeira de reflorestamento comumente utilizados na construção civil. | Os resultados obtidos apresentaram boa correlação em relação aos obtidos pelo método mecânico de flexão estática, principalmente quando se utilizam as frequências naturais das vibrações longitudinais. A utilização da frequência longitudinal tem se mostrado confiável e prática, sendo, portanto, recomendada para a determinação do módulo de elasticidade de peças de madeira. |
| 3 | Morando <i>et al.</i> , 2019 | Brasil | NBR 7190 | Caracterizar a espécie lenhosa <i>Qualea albiflora</i> (Mandioqueira) e possibilitar seu uso para fins estruturais. | Os resultados permitiram classificar a espécie <i>Qualea albiflora</i> na classe de resistência C60, espécie de madeira indicada para uso em construção, segundo a NBR 7190. Após caracterização, foram validados por meio de modelos de regressão (linear, logarítmica, exponencial e geométrica), que a densidade aparente não pode ser usada para estimar outras propriedades físicas e mecânicas. |
| 4 | Christoforo <i>et al.</i> , 2020 | Brasil | NBR 7190 | Avaliar, por meio de modelos de regressão exponencial e polinomial, a possibilidade de estimar a tenacidade em função da densidade aparente, compressão paralela à resistência dos grãos e módulo de ruptura na flexão estática. | Apresentam significância e representatividade de todos os ajustes investigados, dentre os quais uma função polinomial cúbica é a mais indicada para estimativas de tenacidade da madeira. |
| 5 | Nogueira <i>et al.</i> , 2019 | Brasil | NBR 7190 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas mais importantes da madeira <i>Eucalyptus saligna</i> para construção civil, conforme NBR 7190. | Todos os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente de acordo com o teste t com nível de significância de 5%. Além disso, as resistências características foram determinadas para classificar nas classes de resistência recomendadas pela norma. A partir destes resultados foi possível concluir que o <i>Eucalyptus saligna</i> pode ser utilizado como elemento estrutural na construção. |
| 6 | Lahr <i>et al.</i> , 2017 | Brasil | NBR 7190 | Determinar as treze principais propriedades mecânicas da madeira de <i>Eucalyptus urophylla</i> para dois diferentes teores de umidade, 12% e 30% (madeira verde). | Todos os resultados obtidos foram processados estatisticamente com um teste t com diferença significativa 5% para avaliar o efeito do teor de água nas características avaliadas. Dozes propriedades mecânicas foram significativamente afetadas pelo teor de água, e seu padrão comportamental consistiu em aumentar os valores das propriedades com a diminuição do teor de água. |
| 7 | Jesus Eufrede Junior <i>et al.</i> , 2015 | Brasil | NBR 7190 | Avaliar o potencial tecnológico da madeira de dois dos principais clones comerciais de <i>Hevea brasiliensis</i> no Brasil, após o período de extração do látex. | A seringueira tem aplicações na construção civil de pequeno e médio porte, construção leve e indústria moveleira, podendo ser vista como uma alternativa para reduzir a demanda por madeira de espécies florestais nativas no mercado brasileiro. |
| 8 | Nogueira <i>et al.</i> , 2020 | Brasil | NBR 7190 | Avaliar o efeito da redução do teor de umidade de 30% para 12% nas propriedades físicas e mecânicas do <i>Eucalyptus teleticornis</i> , utilizando documentos brasileiros e americanos para aumentar o potencial estrutural da madeira e auxiliar engenheiros e arquitetos na construção civil. | Os resultados apresentaram uma redução de umidade, a densidade aparente e onze propriedades de resistência mostraram estatisticamente mudanças como módulo de ruptura (flexão estática, compressões paralelas e perpendiculares), módulo de elasticidade (compressão perpendicular e flexão estática), tensão de cisalhamento, clivagem tangencial e paralela e durezas perpendiculares. Então, a madeira de <i>Eucalyptus tereticornis</i> poderia ser mais bem aproveitada se for aplicada para usos de construção estrutural. |
| 9 | Lahr <i>et al.</i> , 2018 | Brasil | NBR 7190 | Investigar as principais propriedades mecânicas da <i>Eucalyptus grandis</i> , visando reforçar suas aplicações construtivas em estruturas de madeira. | Os resultados mostram que a densidade básica não foi significativamente afetada pela variação do teor de umidade. Das quatorze propriedades mecânicas avaliadas, sete das sofreram aumentos significativos com a redução o teor de umidade, que consiste no módulo de ruptura em as compressões, tração e flexão estática; módulo de elasticidade na flexão estática e na normal compressão nas fibras e cisalhamento. E que a madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> apresenta grande potencial para diversas aplicações, especialmente em áreas rurais e construção civil. |
| 10 | Nogueira <i>et al.</i> , 2018 | Brasil | NBR 7190 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas da espécie <i>Eucalyptus maidenii</i> , de acordo com as normas NBR 7190 e a ASTM D-143. | Metade das propriedades mecânicas apresentaram mudanças significativas em suas resistências com a redução da umidade analisada. Os resultados obtidos indicam a utilização da <i>Eucalyptus maidenii</i> proveniente de florestas plantadas para fins estruturais na construção civil. |

| Artigo | Autor e ano | País | Norma | Objetivos | Resultados |
|--------|---|------------|--|--|---|
| 11 | Christoforo <i>et al.</i> , 2017 | Brasil | NBR 7190 | Determinar, com o auxílio da NBR 7190, as propriedades físicas e mecânicas da madeira da espécie <i>Calycophyllum multiflorum</i> . | Os resultados das propriedades mecânicas são compatíveis com o desempenho de outras espécies utilizadas na construção, indicando o potencial de utilização da madeira <i>Calycophyllum multiflorum</i> no projeto estrutural. |
| 12 | Christoforo <i>et al.</i> , 2019 | Brasil | NBR 7190 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira <i>Peltophorum vogelianum Benth.</i> , com base na NBR 7190, estimar a resistência e rigidez em função da densidade aparente por análise de variância, e a rigidez em função de sua resistência. | As propriedades mecânicas de <i>Peltophorum vogelianum Benth.</i> , foram consideradas adequadas para fins estruturais em comparação com outras utilizadas para o mesmo fim, e foi classificado na classe C50 de plantas dicotiledôneas, evidenciando seu potencial uso para fins estruturais. |
| 13 | Nogueira <i>et al.</i> , 2021 | Brasil | NBR 7190 | Avaiar a madeira de <i>Corymbia citriodora</i> para promover o uso construtivo eficaz por meio da caracterização do material. | Das quatorze propriedades mecânicas e duas propriedades físicas estimadas. Sete propriedades mostraram melhorias visíveis e influências na resistência a partir da redução da umidade e mecanicamente, a madeira de <i>Corymbia citriodora</i> pode ser aplicada de forma eficiente na construção civil, pois esses resultados seguiram as tendências apontadas pela literatura. |
| 14 | Almeida <i>et al.</i> , 2019 | Brasil | NBR 7190 | Desenvolver uma equação analítica para estimar a densidade aparente da madeira (ρ_{ap}) com base em quatro parâmetros fundamentais, como teor de umidade (MC), ponto de saturação das fibras (FSP), densidade básica (ρ_{bas} – relação entre massa seca e volume saturado), e densidade seca (ρ_0 – razão entre massa seca e volume seco). | Em um conjunto de vinte tipos de madeiras tropicais brasileiras foi avaliado para verificar a previsibilidade da equação proposta. A Análise de Variância ao nível de significância de 5% evidenciou equivalência dos resultados experimentais e estimados de ρ_{12} , revelando uma alta precisão de predição da abordagem proposta. |
| 15 | Opazo-Vega; Rosales-Garcés; Oyarzo-Vera, 2021 | Chile | ASTM D6874 EN 408 NCh 1198 NCH 1970 | Avaliar o módulo de elasticidade dinâmico (Exd) de tábuas de madeira de <i>Eucalyptus nitens</i> por meio de ensaios não destrutivos baseados em vibração. | A correlação positiva encontrada entre o módulo de elasticidade global estático e dinâmico sugere que as técnicas não destrutivas baseadas em vibração podem ser utilizadas como uma alternativa confiável para avaliação da rigidez à flexão de tábuas de <i>Eucalyptus nitens</i> com diferentes tipos de defeitos. Os resultados deste estudo suportam a ideia de que as tábuas de madeira de <i>Eucalyptus nitens</i> podem ser utilizadas como elementos estruturais promovendo construções mais sustentáveis. Porém, como é comum que essas madeiras apresentem um número significativo de defeitos, é fundamental selecionar apenas aquelas com alta rigidez à flexão. |
| 16 | Chen <i>et al.</i> , 2020 | China | ISO 3129-2012 ASTM D 5764 | Determinar as propriedades mecânicas básicas da espécie de crescimento rápido <i>Eucalyptus Strand Wood</i> (ESWood). | Os resultados dos testes e análises apresentados fornecem conhecimento para apoiar as aplicações desse material à base de eucalipto de crescimento rápido em construções de edifícios. |
| 17 | Tenorio; Moya; Camacho, 2012 | Costa Rica | PS 1-95 PS 1-09 ASTM D1037 ASTM D 2395 ASTM D 2559 ASTM D 3043 ASTM D 3500 ASTM D 3501 ASTM D 4442 ASTM D 5751 AS/NZS 2269 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados fabricados com lâminas de <i>Gmelina arborea</i> , <i>Tectona grandis</i> e <i>Acacia mangium</i> provenientes de plantios florestais para uso estrutural. | Os resultados mostraram que as pranchas produzidas com árvores de <i>Tectona grandis</i> em geral apresentam propriedades físicas e resistência superiores às de <i>Gmelina arborea</i> e <i>Acacia mangium</i> . De acordo com os Estados Unidos Voluntary Products Standard PS 1-95 e PS 1-09, é possível produzir placas de grau estrutural 3 com <i>Gmelina arborea</i> e grau estrutural 2 com <i>Tectona grandis</i> e <i>Acacia mangium</i> , que podem ser usadas na fabricação de elementos estruturais. |
| 18 | Bektaş; Tutuş; Gültekin, 2020 | Croácia | TS 4176 TS 2595 TS 2474 TS 2478 TS 2476 TS 3459 TS 2477 TS 2479 | Revelar a diferença entre as propriedades mecânicas do alborno e do cerne das espécies <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus brutia</i> , <i>Populus usbekistanica</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> . | A análise do teste t mostrou que todas as propriedades mecânicas mencionadas do alborno e do cerne das árvores de teste foram separadas umas das outras como significativas. Os resultados do estudo revelaram que as diferenças entre a resistência do alborno e do cerne devem ser consideradas quando as espécies de madeira são usadas em edifícios e outras áreas sensíveis. |
| 19 | Hussein; Nassar; Darwish, 2019 | Egito | ASTM D 143 ASTM D 2555 ASTM D 2915 | Determinar as propriedades mecânicas para as duas espécies mais comuns de <i>Casuarina</i> no Egito, que são <i>Glauca</i> e <i>Cunninghamiana</i> . | Os resultados mostram que as propriedades da espécie <i>Glauca</i> da árvore <i>Casuarina</i> são promissoras, pois são resilientes o suficiente para permitir seu uso em uma variedade de aplicações estruturais. Mas a espécie de <i>Cunninghamiana</i> de árvores <i>Casuarina</i> mostraram alta variabilidade e inconsistência em seus resultados após os três primeiros testes. |

| Artigo | Autor e ano | País | Norma | Objetivos | Resultados |
|--------|---|------------------|---|--|--|
| 20 | Estévez-Cimadevila <i>et al.</i> , 2018 | Espanha | EN 14080 ETA 13/0642 ETA 14/0349 EN 338 prEN 10138-4 EN 408 2010+A1 ETA 05/0123 | Estudar o comportamento à flexão de vigas das espécies <i>Picea abies</i> e <i>Quercus robur</i> . | Desmonstraram uma queda de 3,7% na rigidez das espécies <i>Picea abies</i> e um ligeiro aumento nas espécies <i>Quercus robur</i> . |
| 21 | Burgers <i>et al.</i> , 2019 | Espanha e França | NF EN-338 NF EN-384 NF B 52-001-1 EN-408 NF B51-007 | Apresentar uma abordagem baseada em medições de escala de madeira e escala de madeira clara usando a espécie <i>Pinus uncinata</i> . | Os resultados na madeira apresentam uma diferença importante entre a classificação visual e mecânica para esta espécie em vista das propriedades mecânicas consideradas. Os resultados obtidos também mostram possíveis melhorias e limitações da regulamentação atual na classificação da madeira de pinus da montanha para uso estrutural. |
| 22 | Marasigan; Razal; Carandang, 2020 | Filipinas | ASTM D 143 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira da espécie <i>Falcataria moluccana (Miq.) Barneby & J.W. Grimes</i> . | Os resultados mostraram diferenças insignificantes na maioria das propriedades entre os tipos de madeira de <i>F. moluccana</i> , a madeira do galho pode ser usada para aplicações semelhantes à madeira do tronco, como para construção leve, folheado não estrutural e compensado; para cabos de ferramentas, caixas e outros utensílios domésticos; e para celulose e papel. A utilização da madeira do ramo de <i>F. moluccana</i> , portanto, pode aumentar a oferta de matéria-prima para a indústria madeireira local. |
| 23 | Valle tager <i>et al.</i> , 2014 | Guatemala | EN 408 | Apresentar as propriedades mecânicas de quatro espécies de madeira da América Central, <i>Pseudobombax ellipticum</i> , <i>Manchiche Lonchocarpus castilloi</i> , <i>Bucida buceras</i> e <i>Calophyllum brasiliense</i> . | Os resultados mostrou que as propriedades do material não são estritamente proporcionais à densidade, pois também espécies com menor densidade podem superar espécies com maior densidade sob certos tipos de carregamento. |
| 24 | Yoresta, 2015 | Indonésia | ASTM D 143 | Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de ébano como material de construção, com base no código ASTM D 143. | Concluiu que a madeira de ébano é classificada na Classe de Resistência I devido ao PKKI 1961, portanto, pode ser recomendada para uso em construção pesada, como pontes e estruturas de edifícios. |
| 25 | Concu <i>et al.</i> , 2018 | Itália | UNI EN 14358 UNI EN 338 UNI EN 15228 UNI EN 384 UNI EN 408 UNI 11035-1 UNI 11035-2 UNI EN 14081-1 UNI EN 1995-1-1 UNI EN 16351 | Apresentar os resultados preliminares de um programa experimental que visa explorar o possível uso da madeira da Sardenha como material estrutural. | Os resultados demonstraram que é possível usar o pinho bravo cultivado na Sardenha para produzir painéis de madeira laminada cruzada para uso na construção. |
| 26 | Brokāns, 2013 | Letônia | LVS EN 408 LVS EN 384 | Determinar as propriedades mecânicas da madeira macia de espécie <i>Pinus Sylvestris</i> . | Os resultados mostram que os principais fatores que afetam significativamente o comportamento das vigas de madeira durante o carregamento em condições climáticas naturais são o módulo de elasticidade (MoE), a densidade da madeira e o número de anéis anuais por cm de madeira. |

| Artigo | Autor e ano | País | Norma | Objetivos | Resultados |
|--------|--------------------------------|-------------|---|---|---|
| 27 | Hamdan <i>et al.</i> , 2020 | Malásia | BS 373 | Avaliar as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas de quatro espécies pioneiras, ou seja, <i>Paraserianthes moluccana</i> , <i>Sapium baccatum</i> , <i>Macaranga gigantea</i> e <i>Endospermum malaccense</i> . | Com base no estudo básico da propriedade, <i>batai</i> , <i>ludai</i> , <i>mahang</i> e <i>sesendok</i> podem ser adequados para celulose e papel, madeira compensada, construção leve, móveis, acabamento interno e utilidade geral. |
| 28 | Amer <i>et al.</i> , 2021 | Marrocos | NF B 51-007 NF B 51-008 | Avaliar os parâmetros mecânicos das espécies de madeira <i>E. grandis</i> e <i>E. camaldulensis</i> . | Os resultados obtidos mostram que a madeira de <i>E. camaldulensis</i> apresenta alta tensão de ruptura, maior módulo de elasticidade estático tanto na flexão quanto na tração axial e maior módulo de elasticidade dinâmico. Adicionalmente, <i>E. camaldulensis</i> tem um menor valor de módulo de elasticidade na compressão axial. |
| 29 | Iwuoha; Seim; Onyekwelu, 2021 | Nigéria | EN 384 EN 408 DIN 52188 | Apresentar um extenso estudo sobre o processo de aquisição, preparação, testes e todas as análises envolvidas na determinação das propriedades mecânicas da <i>Gmelina arborea</i> para o projeto de estruturas portantes. | Verificou-se que as propriedades do material das espécies de madeira dura se comparam bem com as das espécies europeias de madeira macia e mostram um bom potencial para uso como material de construção. |
| 30 | Haag <i>et al.</i> , 2020 | Peru | EN 350-1 CEN/TS 15083-1 | Realizar estudos anatômicos, topoquímicos e físico-mecânicos da madeira para caracterizar as propriedades da madeira da espécie <i>Cedrelinga cateniformis</i> . | Os resultados revelam que os métodos escolhidos são ideais para caracterizar as características da madeira. Em resumo, a madeira de <i>Cedrelinga cateniformis</i> pode ser classificada como ideal para uma determinada área de aplicações externas. |
| 31 | Martins <i>et al.</i> , 2020 | Portugal | EN 13183-2 EN 408 EN 384 EN 14.080 | Apresentar o potencial da espécie <i>Blackwood - Acacia melanoxylon R. Br.</i> , com enfoque em aplicações na construção. | Destacam-se as vigas de MLC confeccionadas com <i>Acacia melanoxylon R. Br.</i> , tiveram propriedades melhores em relação à madeira serrada, com destaque para a resistência à flexão, com melhora de 29%. Isso comprova a significativa capacidade e potencial dessas espécies para serem usadas em produtos de construção com fins estruturais, como madeira serrada e laminada. |
| 32 | Raposo <i>et al.</i> , 2018 | Portugal | NP-614 NP-616 NP-618 NP-619 | Estudar o comportamento dos vários elementos que compõem as estruturas antigas (alvenaria e madeira de duas espécies distintas: castanheiro e carvalho) de forma a desenvolver medidas de avaliação de acordo com as características dos materiais originais. | Os resultados deste estudo mostram a semelhança entre os valores experimentais e empíricos para as espécies de madeira estudadas. |
| 33 | Cunha <i>et al.</i> , 2021 | Portugal | EN 338 EN 1912 BS 5756 EN 14081-1 EN 408 EN 384 ISO 3129 ISO 3130 ISO 3131 EN 1310 | Verificar as propriedades mecânicas do Iroko - <i>Milicia excelsa</i> . | Os resultados obtidos mostram uma boa correlação entre a densidade e as propriedades de flexão e a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas. |
| 34 | Bawcombe <i>et al.</i> , 2015 | Reino Unido | BS 373 | Estudar as propriedades mecânicas e anatômicas da madeira da espécie Abeto Douglas. | Os resultados para todas as propriedades mostraram alta variabilidade em idades mais jovens, estabilizando-se à medida que as árvores amadureceram. A análise dos resultados também demonstrou melhorias potenciais na qualidade e rendimento da madeira que podem ser alcançadas por meio da implementação de práticas silviculturais, como cobertura florestal contínua. |
| 35 | Florenta <i>et al.</i> , 2017 | Romênia | LY/T 2054 GB/T 50329 LY/T 2054 GB/T 26899 | Apresentar os resultados de um programa experimental que enfoca as propriedades da madeira da espécie choupou amarelo híbrido (<i>Liriodendron sino-americanum</i> necessárias para o projeto de elementos estruturais de construção em madeira). | Com os resultados foi possível classificar a madeira como C18 de acordo com as normas LY/T 2054, GB/T 50329-2012, LY/T 2054 e GB/T 26899-2011 e que os valores experimentais devem ser normalizados aos valores característicos correspondentes a 12% de umidade previstos nas normas. |
| 36 | Srivarao <i>et al.</i> , 2020 | Tailândia | ASTM D 1037 ASTM D 143 ASTM C 177 | Avaliar as características anatômicas, propriedades físicas, mecânicas e térmicas da madeira da espécie <i>Cocos nucifera</i> para ser utilizada como matéria-prima para a produção de madeira laminada cruzada (CLT). | Destacam-se que uma determinada densidade, a madeira de coco apresentou estabilidade dimensional, propriedades mecânicas e de isolamento equivalentes ou superiores em comparação com as madeiras estruturais usadas no painel CLT. |
| 37 | Topaloglu <i>et al.</i> , 2021 | Turquia | ISO 15686-1 ISO 13061-1 ISO 13061-2 ISO 13061-3 ISO 13061-4 ISO 13061-17 | Investigar as propriedades da madeira de elementos de madeira antigas de espécie <i>Castanea sativa</i> não impregnados com nenhum produto químico protetor | Os resultados apresentaram que não houve alteração na estrutura anatômica dos antigos elementos de madeira. A caracterização da banda infravermelha por transformada de Fourier de espécimes de madeira velha revelou que as hemiceluloses se degradaram e a estrutura da lignina mudou na superfície de quase todos os espécimes. E que as madeiras velhas não danificadas por fungos e insetos podem ser avaliadas para reutilização. |

ANEXO E - ENSAIOS DAS ESPÉCIES DO NORDESTE BRASILEIRO

Quadro 63 – Ensaio das espécies do Nordeste do Brasil

| Nomes vulgares Classificação Botânica | Características físicas | | | | | Características mecânicas | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------|------------|-------------------|---------------------------|--|----------------|--------------------------------|---------------------------------|--|---------------|-------------|------------------------|--------------------|--------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|------|
| | Peso específico aparente (15% um) (D) g/cm ³ | Retratibilidade | | | | Compressão axial | | | | Flexão estática | | | Módulo de elasticidade | | | | Choque (madeira seca ao ar) | | | Cisalhamento Kg/cm ² | Dureza janka Kg/cm ² | Tração normal às fibras Kg/cm ² | Fendilhamento kg/cm ² | |
| | | Contrações em % | | | Coef. de ret. Volumétrica | Limite de resistência kg/cm ² | | Coef. De influência da unid. % | Coef. De qualid. 100 d a 15% um | Limite de resistência kg/cm ² | | Relação l/f | Compressão verde | | Flexão verde | | Trabalho absorvido | Coefic. De resiliência | Cota dinâmica r/d ² | | | | | |
| | | Radial | Tangencial | Volumétrica total | | Madeira verde | Madeira 15% um | | | Madeira verde | Madeira verde | | Módulo | Limite de proporc. | Módulo | Limite de proporc. | | | | | | | | |
| Amarelo Gengibre | 0,59 | 2,9 | 5,4 | 8,6 | 0,43 | 358 | 430 | 4,91 | 7,3 | 679 | 836 | 35,2 | 107.686 | 236 | 91723 | 610 | 1,33 | 0,21 | 0,66 | 103,8 | 310 | 30,9 | 6,52 | |
| <i>Plathymenia foliolosa Benth.</i> | * | - | 1,2 | 3 | 6,5 | - | - | - | - | - | - | 33,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | 113,1 | 421 | 39,9 | 5,7 |
| Bacurí | 0,83 | 4,58 | 8,11 | 13,4 | 0,72 | 437 | 504 | 3,6 | 6,1 | 987 | 1115 | 32 | 167.898 | 383 | 129.908 | 1.025 | 3,95 | 0,61 | 0,89 | 103 | 709 | 63,3 | 8,4 | |
| <i>Platonia insignis Mart.</i> | * | - | 2,93 | 4,82 | 9,3 | - | - | - | - | - | - | 28,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | 122 | 815 | 45 | 9 |
| Camagari | 0,8 | 5,96 | 11,16 | 18,5 | 0,67 | 411 | 580 | 4,67 | 7,5 | 837 | 1179 | 32 | 178.303 | 243 | 127.866 | 673 | 2,44 | 0,4 | 0,71 | 97,1 | 514 | 35,2 | 6,47 | |
| <i>Caraipa densifolia Mart.</i> | * | - | - | 10,1 | - | - | - | - | - | - | - | 27,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 145,3 | 725 | 50,8 | 8,46 |
| Carne de vaca / Rins de boi | 1,02 | 4,4 | 12,6 | 18,8 | 0,65 | 516 | 690 | 5,3 | 6,8 | 1049 | 1439 | 29,5 | 190.123 | 350 | 121.342 | 710 | 4,86 | 0,77 | 0,89 | 120,9 | 743 | 64,8 | 8,8 | |
| <i>Roupata cearenses Sleum.</i> | * | - | 3,87 | 7,5 | 10,2 | - | - | - | - | - | - | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - | 135,8 | 903 | 68,3 | 11,9 |
| Carne de vaca / Rins de boi | 1,03 | 4,9 | 14,1 | 18,8 | 0,62 | 498 | 671 | 3,92 | 6,5 | 984 | 1310 | 36,7 | 191.698 | 326 | 136.097 | 738 | 4,11 | 0,65 | 0,91 | 124,1 | 788 | 69 | 8,6 | |
| <i>Roupata cearenses Sleum.</i> | * | - | 2,8 | 6,5 | 9,4 | - | - | - | - | - | - | 34,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 138 | 953 | 64 | 11,4 |
| Cega machado | 1,01 | 4,39 | 5,36 | 16,1 | 0,78 | 517 | 660 | 2,28 | 6,5 | 907 | 1634 | 47,3 | 191.346 | 267 | 144.406 | 813 | 4,7 | 0,7 | 0,69 | 104 | 925 | 47,7 | 8,1 | |
| <i>a kunthiana Hook. f.</i> | * | - | 2,59 | 2,97 | 10,9 | - | - | - | - | - | - | 33,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 125 | 1132 | 72,5 | 8 |
| Embirindiba | 0,84 | 3 | 7,6 | 14,5 | 0,53 | 485 | 565 | 1,32 | 6,7 | 981 | 1266 | 32,2 | 150.048 | 370 | 126.875 | 1.011 | 3,79 | 0,59 | 0,32 | 112 | 730 | 51,8 | 12,3 | |
| <i>Terminalia sp.</i> | * | - | 2,2 | 5,2 | 9,1 | - | - | - | - | - | - | 38,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 122,4 | 1027 | 62,4 | 7,7 |
| Gararoba / Araroba | 0,94 | 5,47 | 9,25 | 15,6 | 0,85 | 596 | 770 | 1,5 | 8,2 | 1247 | 1569 | 31 | 241.751 | 395 | 181.080 | 1.121 | 4,99 | 0,78 | 0,92 | 112 | 796 | 60,9 | 7,7 | |
| <i>Aspidosperma timae Woodson</i> | * | - | - | 9,6 | - | - | - | - | - | - | - | 29,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 120,6 | 886 | 73,4 | 8,8 |
| Ingá porco | 0,61 | 3,7 | 7,67 | 12,4 | 0,8 | 396 | 451 | 2,16 | 7,4 | 820 | 886 | 31,9 | 156.856 | 199 | 126.177 | 667 | 3,2 | 0,49 | 1,32 | 106,1 | 598 | 47 | 6,4 | |
| <i>Sclerobium densiflorum Benth.</i> | * | - | 2,29 | 4 | 8,2 | - | - | - | - | - | - | 29,9 | - | - | - | - | - | - | - | - | 120 | 507 | 46 | 6,4 |
| Jatobá | 1,08 | 4,45 | 8,06 | 11,2 | 0,7 | 629 | 770 | 3,4 | 7,22 | 1393 | 1690 | 30,5 | 246.678 | 571 | 175.788 | 1329 | 5,1 | 0,81 | 0,69 | 144 | 1064 | 94 | 10 | |
| <i>Hymenaea sp.</i> | * | - | 3,28 | 6,24 | 7,9 | - | - | - | - | - | - | 40,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 177 | 1608 | 82,6 | 10,3 |
| Jitá preto | 0,86 | 4,28 | 7,03 | 10,1 | 0,5 | 529 | 619 | 1,79 | 7,2 | 1187 | 1358 | 30,2 | 167.796 | 355 | 115.638 | 867 | 2,9 | 0,59 | 0,8 | 124 | 998 | 65,6 | 9,5 | |
| <i>Cassia apoicouita Aubl.</i> | * | - | 2,87 | 4,64 | 6,8 | - | - | - | - | - | - | 30,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 147 | 1075 | 67,5 | 9,1 |
| Laranjinha | 1,06 | 7,3 | 13,4 | 22 | 0,9 | 502 | 608 | 3,52 | 5,74 | 1330 | 1535 | 24,9 | 215.947 | 322 | 173.335 | 925 | 6,19 | 0,96 | 0,85 | 160 | 996 | 82 | 11 | |
| <i>Hortia arborea Engler.</i> | * | - | 4,5 | 6,8 | 10,7 | - | - | - | - | - | - | 26,9 | - | - | - | - | - | - | - | - | 180 | 1070 | 100 | 13 |
| Louro babão | 0,61 | 4,5 | 8,9 | 13,5 | 0,56 | 357 | 450 | 2,43 | 7,4 | 745 | 987 | 27,9 | 148.282 | 238 | 114.020 | 733 | 4,99 | 0,78 | 2,09 | 91,9 | 378 | 30,3 | 5,6 | |
| <i>Ocotea sp.</i> | * | - | 2,8 | 4,9 | 7,9 | - | - | - | - | - | - | 24,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 119,5 | 433 | 43 | 6,6 |
| Maçaranduba | 0,95 | 5,4 | 10,1 | 14,1 | 0,6 | 590 | 669 | 1,75 | 7 | 1367 | 1523 | 26,1 | 196.901 | 316 | 165.331 | 1004 | 6,6 | 1,03 | 1,14 | 131 | 970 | 75,1 | 8,7 | |
| <i>Manilkara salzmanii (Al. DC) Lam. Vel aff</i> | * | - | 3 | 5,87 | 8,4 | - | - | - | - | - | - | 27,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 166 | 1300 | 86 | 11 |
| Mamajuda | 0,84 | 5,18 | 8,25 | 13,9 | 0,63 | 486 | 569 | 1,2 | 6,8 | 1040 | 1148 | 29,7 | 198.149 | 303 | 135.535 | 892 | 2,5 | 0,4 | 0,56 | 119,1 | 793 | 64 | 8,6 | |
| <i>Sloanea obtusifolia (Moric.) Schum.</i> | * | - | 3,45 | 5,01 | 8,2 | - | - | - | - | - | - | 31,6 | - | - | - | - | - | - | - | - | 162,1 | 839 | 97,7 | 11,4 |

| Nomes vulgares Classificação Botânica | Características físicas | | | | | Características mecânicas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----------------|------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------|-------------|------------------------|--------------------|--------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|
| | Peso específico aparente (15% um) (D) g/cm³ | Retratibilidade | | | | Compressão axial | | | | Flexão estática | | | Módulo de elasticidade | | | | Choque (madeira seca ao ar) | | | Cisalhamento Kg/cm² | Dureza janka Kg/cm² | Tração normal às fibras Kg/cm² | Fendilhamento kg/cm² |
| | | Contrações em % | | | Coef. de ret. Volumétrica | Limite de resistência kg/cm² | | Coef. De influência da unid. % | Coef. De qualid. 100 d a 15% um | Limite de resistência kg/cm² | | Relação l/f | Compressão verde | | Flexão verde | | Trabalho absorvido | Coefic. De resiliência | Cota dinâmica r/d² | | | | |
| | | Radial | Tangencial | Volumétrica total | | Madeira verde | Madeira 15% um | | | Madeira verde | Madeira verde | | Módulo | Limite de proporc. | Módulo | Limite de proporc. | | | | | | | |
| Muricí | 0,77 | 3,9 | 8,9 | 13,2 | 0,5 | 324 | 392 | 1,93 | 5,1 | 743 | 896 | 36,5 | 128.012 | 172 | 103.786 | 600 | 1,5 | 0,22 | 0,37 | 114,8 | 590 | 57,1 | 9 |
| <i>Byrsonima sericea DC.</i> | * | - | 2,5 | 4,9 | 7,7 | - | - | - | - | - | - | 35,7 | - | - | - | - | - | - | - | 134 | 626 | 76,4 | 11 |
| Paparauba amarela | 0,64 | 3 | 5,8 | 10,6 | 0,5 | 239 | 360 | 3,64 | 5,6 | 655 | 751 | 30,4 | 125.518 | 182 | 96.536 | 520 | 1,32 | 0,21 | 0,5 | 77 | 305 | 38,3 | 6,2 |
| <i>Simaba paraenses Ducke</i> | * | - | 2 | 3,2 | 6,7 | - | - | - | - | - | - | 32,4 | - | - | - | - | - | - | - | 85 | 426 | 43 | 5,6 |
| Pau d'arco | 1,07 | 4,88 | 8,4 | 16,7 | 0,8 | 779 | 809 | 1,27 | 7,56 | 1861 | 2099 | 19,5 | 212.295 | 490 | 180.123 | 1517 | 1,72 | 0,26 | 0,24 | 174 | 1471 | 84 | 10,2 |
| <i>Tabebuia sp.</i> | * | - | 3,32 | 11,8 | - | - | - | - | - | - | - | 22,6 | - | - | - | - | - | - | - | 193 | 1761 | 102 | 11,3 |
| Pau santo | 1,26 | 3,74 | 8,5 | 12 | 0,7 | 874 | 865 | 3,74 | 6,86 | 1799 | 1979 | 25,4 | 250.375 | 569 | 199.760 | 1.638 | 6,7 | 1,04 | 0,65 | 166 | 1358 | 85,3 | 11,2 |
| <i>Zollernia paraenses Hub.</i> | * | - | 2,34 | 4,4 | 7,2 | - | - | - | - | - | - | 32,3 | - | - | - | - | - | - | - | 196 | 1291 | 103 | 11,6 |
| Pitiá de lagoa | 0,74 | 4,2 | 9 | 17,3 | 0,7 | 434 | 502 | 2,66 | 6,8 | 911 | 1170 | 37,2 | 165.642 | 389 | 124.526 | 1.054 | 5,32 | 0,84 | 1,53 | 96,3 | 425 | 27,1 | 6,2 |
| <i>Symphonia globulifera L. Fil.</i> | * | - | 2,4 | 5,2 | 9,7 | - | - | - | - | - | - | 33 | - | - | - | - | - | - | - | 91,1 | 429 | 35,6 | 7,4 |
| Prafa | 0,45 | 3,34 | 5,42 | 7,2 | 0,5 | 228 | 293 | 2,44 | 6,51 | 550 | 669 | 21,2 | 97.920 | 175 | 71.522 | 393 | 1,14 | 0,18 | 0,89 | 68,5 | 333 | 32,4 | 3,6 |
| <i>Simaruba amara Aubl</i> | * | - | 1,08 | 2,92 | 5,7 | - | - | - | - | - | - | 38,1 | - | - | - | - | - | - | - | 65,9 | 332 | 32 | 4,5 |
| Sapucaia | 1,01 | 7,5 | 10,9 | 16,8 | 0,7 | 540 | 706 | 1,08 | 6,93 | 1198 | 1604 | 34 | 193.673 | 416 | 157.268 | 1.104 | 6,62 | 1,02 | 1 | 130 | 866 | 77 | 12,2 |
| <i>Lecythis pisonis Cambess</i> | * | - | 4,8 | 5,9 | 8,8 | - | - | - | - | - | - | 25,5 | - | - | - | - | - | - | - | 136 | 963 | 69 | 9,9 |
| Sucupira mirim | 1,02 | 5,21 | 7,85 | 17 | 0,79 | 651 | 700 | 2,49 | 6,9 | 1108 | 1274 | 39,8 | 182.431 | 429 | 151.434 | 1.162 | 3,34 | 0,52 | 0,5 | 117,2 | 1178 | 81 | 15,3 |
| <i>Bowdichia virgilioides H.B.K</i> | * | - | 3,4 | 5,05 | 10 | - | - | - | - | - | - | 38,8 | - | - | - | - | - | - | - | 136,8 | 1178 | 70,3 | 7,9 |
| Tauari | 0,95 | 3,94 | 9,76 | 15,6 | 0,64 | 444 | 550 | 1,89 | 5,7 | 886 | 1130 | 29,2 | 189.304 | 316 | 128.485 | 954 | 5,3 | 0,84 | 0,93 | 113 | 700 | 54,4 | 7,9 |
| <i>Eschweilera coriácea Mart. Vel. aff.</i> | * | - | 2,21 | 4,16 | 7,5 | - | - | - | - | - | - | 25 | - | - | - | - | - | - | - | 140 | 917 | 69,7 | 12,2 |
| Urucuba | 0,68 | 4,1 | 5,9 | 11,8 | 0,6 | 417 | 523 | 4,03 | 7,7 | 909 | 928 | 31,2 | 155.642 | 271 | 112.387 | 620 | 1,49 | 0,23 | 0,51 | 111 | 516 | 56,1 | 6,2 |
| <i>Virola gardneri (DC) Warb.</i> | * | - | 2,3 | 3,6 | 7,8 | - | - | - | - | - | - | 34,8 | - | - | - | - | - | - | - | 135,8 | 752 | 54,3 | 6 |
| Visgueiro | 0,59 | 1,7 | 7,49 | 12,3 | 0,49 | 291 | 409 | 4,43 | 6,9 | 676 | 853 | 32,6 | 108.549 | 212 | 89.495 | 517 | 1,35 | 0,21 | 0,58 | 106,4 | 369 | 52 | 6,98 |
| <i>Parkia pendula Benth</i> | * | - | 1,1 | 5,15 | 8,6 | - | - | - | - | - | - | 37,1 | - | - | - | - | - | - | - | 108 | 370 | 65 | 6,6 |