



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

MARCOS WILLIAN GOMES SANCHES

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA SIMPLIFICADA DE 3 (TRÊS) ESPÉCIES DE
MADEIRA SERRADA NATIVAS DA REGIÃO AMAZÔNICA**

MACAPÁ - AP

2024

MARCOS WILLIAN GOMES SANCHES

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA SIMPLIFICADA DE 3 (TRÊS) ESPÉCIES DE
MADEIRA SERRADA NATIVAS DA REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Amapá.

Orientador: Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira

Coorientador: Prof. Me. Neilson Oliveira da Silva

MACAPÁ - AP

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1469

S211c Sanches, Marcos Willian Gomes.
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA SIMPLIFICADA DE 3 (TRÊS) ESPÉCIES DE MADEIRA
SERRADA NATIVAS DA REGIÃO AMAZÔNICA / Marcos Willian Gomes Sanches. - Macapá,
2024.
1 recurso eletrônico. 144 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá.
Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Macapá, 2024.
Orientador: Adenilson Costa de Oliveira.
Coorientador: Neilson Oliveira da Silva.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Ensaio mecânico. 2. Madeira serrada. 3. Caracterização simplificada. I. Oliveira, Adenilson
Costa de, orientador. II. Silva, Neilson Oliveira da, coorientador. III. Universidade Federal do
Amapá. IV. Título.

CDD 23. ed. – 674.02

SANCHES, Marcos Willian Gomes Sanches. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA SIMPLIFICADA DE 3 (TRÊS) ESPÉCIES DE
MADEIRA SERRADA NATIVAS DA REGIÃO AMAZÔNICA. Orientador: OLIVEIRA, Adenilson Costa de. Coorientador: SILVA,
Neilson Oliveira da. 2024. 144 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Engenharia Civil.
Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2024.

MARCOS WILLIAN GOMES SANCHES

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA SIMPLIFICADA DE 3 (TRÊS) ESPÉCIES DE
MADEIRA SERRADA NATIVAS DA REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
como requisito parcial para a obtenção de grau
de Bacharel em Engenharia Civil, pela
Universidade Federal do Amapá.

Data de aprovação: 18/03/2024

Banca Examinadora:

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira
Orientador – UNIFAP

Prof. Me. Neilson Oliveira da Silva
Coorientador – IFAP

Prof. Me. Heldio Jose Carneiro de Souza
Examinador Interno – UNIFAP

Prof. Me. Jair José dos Santos Gomes
Examinador Interno – UNIFAP

DEDICATÓRIA

À minha família, em especial as mulheres da minha vida, minha avó materna Maria Joana (*in memoriam*), minha mãe Maria do Socorro e irmã Jéssica Sanches, que sempre apoiaram, incentivaram e lutaram para que eu pudesse ter uma das maiores heranças que se pode ter: o conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter iluminado e guiado meu caminho, dado saúde e resiliência para seguir firme durante todos os anos de graduação.

À minha família, que pôde me proporcionar um ensino de qualidade e os recursos necessários para a realização deste sonho, que é o ensino superior, em especial a minha mãe Maria do Socorro, pelo seu amor incondicional, por ser meu maior exemplo de determinação, força e valores, atuando em duplo papel de mãe e pai e exercendo a ambos de forma sublime, a minha irmã Jéssica Sanches, por ser uma grande incentivadora dos meus estudos, pelos momentos felizes e aprendizados, ao meu irmão Eulálio Sanches, por ser um ombro amigo nos dias difíceis e por me lembrar da importância de resistir a caminhada independente das intemperes, ao meu sobrinho Vicente que foi enorme fonte de força e amor, que quero dá muito orgulho. E a todos os familiares, que de alguma forma contribuíram e torceram pelo meu sucesso, a todos vocês, meu muito obrigado!

Aos professores do curso de Engenharia Civil da UNIFAP por todo conhecimento, em especial ao meu orientador, Professor Me. Adenilson Costa de Oliveira por sua disponibilidade, atenção e responsabilidade, que sempre foi um espelho profissional e acadêmico, que me ajudou a prosseguir e aperfeiçoar sempre. Também citarei aqui professores e amigos, que tem um espaço especial em meu coração e memória nesses anos de graduação, os professores Me. Luis Henrique Rambo, Me. Heldio Carneiro, Me. Jair José dos Santos Gomes, Me. Fabio Dias, Dr. Alex Rodrigues, que em diversos momentos contribuíram e enriqueceram minha caminhada acadêmica e não me deixaram desistir desse sonho. Ao Professor Me. Dennis Pureza pelo primeiro incentivo nesse tema durante à disciplina de Estruturas de Madeiras, sendo fundamental nessa empreitada.

Ao professor e coorientador desse trabalho Me. Neilson Oliveira da Silva, juntamente com os professores e técnicos do laboratório do Instituto Federal do Amapá – IFAP, que me auxiliaram e ajudaram na parte laboral dessa pesquisa e foram fundamentais dando o suporte necessário para a conclusão dessa. À minha banca de Trabalho de Conclusão de Curso, que fazem parte do encerramento desse ciclo da graduação.

Aos colegas da turma 2016 da UNIFAP pelos inúmeros apoios e momentos inesquecíveis durante toda a graduação, em especial ao meu grupo fiel de trabalhos e

apresentações, que levarei para a vida: Francisco, Jaddy, Jucilene, Lucas Rocha, Raissa Dias e Raigo Lima, que foram essenciais nessa caminhada, que sonharam comigo esse passo importante e que serei eternamente grato pela amizade e apoio e todos aqueles que estiveram de forma integral nesses anos de trabalhos e foram amigos para todas as horas, que tive enorme honra e carinho de encontrar na minha jornada acadêmica, aos amigos Maria Michely, Larissa Almeida, Dyego Amaral, Fernando Brito, Eva Maria, Vitória Figueiredo e Pablo Henrique que me ajudaram em vários momentos na caminhada acadêmica e profissional, compartilhando junto desses experiências de trabalho e vida e que sempre me incentivaram sendo inspirações e suporte. À colega e amiga de curso Joquebede Batista que ajudou bastante quanto à aquisição e preparação das peças de madeira. Aos projetos de extensão e escritório modelo que foram essenciais, nesses últimos anos, para os primeiros passos e amadurecimento profissional. De modo geral, a todos amigos e colegas que me ajudaram até aqui. A todos vocês: Obrigado!

“A diversidade promove a tolerância. Quando você não encontra pessoas diferentes, não percebe coisas, não percebe o quanto tem em comum com elas.”

(Malala Yousafzai)

RESUMO

A Floresta Amazônica é berço de uma riqueza imensurável de fauna e flora, quanto sua flora, sabe-se pouco ainda da diversidade de espécies que hoje ela possui, no entanto, a sua exploração madeireira e uso na construção civil ganha cada vez mais destaque e protagonismo, apesar do desconhecido. Esse trabalho busca realizar uma análise comparativa das resistências de espécies nativas da região norte de madeira serrada, por meio da aplicação da ABNT NBR 7190-3 (2022), será realizado um ensaio mecânico de caracterização simplificada entre as espécies: ACAPU - *Vouacapoua americana* Aubl.; ANGELIM-VERMELHO – *Dinizia excelsa* Ducke e PRACUÚBA - *Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae. Objetiva-se determinar através de ensaio de compressão paralelo às fibras, de densidade aparente e umidade para assim determinar a tensão de ruptura das amostragens das espécies, estimar a resistência característica dos corpos de prova, a densidade aparente, umidade para correção de 12%, definir a classe de resistência e comparar esses valores, através da aplicação de equações e tratamentos estatísticos definidos pela norma. Realizou-se a coleta das amostras em uma madeireira da cidade de Macapá-AP, na AV. Canal do Jandiá, a preparação das peças seguiu a metodologia normativa e os ensaios ocorreram no IFAP campus Macapá, laboratório de compressão Triaxial, com auxílio de uma EMIC DL30000 N para o ensaio de compressão e de uma estufa com temperatura de $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Após os ensaios, os dados foram tratados e calculados e assim definidas a densidade aparente das amostras com valores: $\rho_{12} = 0,97\text{ g/cm}^3$ para Acapu, $\rho_{12} = 1,02\text{ g/cm}^3$ para Angelim-vermelho, $\rho_{12} = 1,04\text{ g/cm}^3$ para a Pracuúba com umidades encontradas após a secagem em estufa de $U_{\%} = 8,10\%$, $U_{\%} = 10,14\%$ e $U_{\%} = 10,88\%$, respectivamente. Quanto a resistência característica paralela às fibras para as amostras após a correção de umidade e aplicação das relações existentes entre as propriedades mecânicas nos valores: $f_{c0,k} = 70,35\text{ MPa}$ para o Acapu, $f_{c0,k} = 62,53\text{ MPa}$ para o Angelim-vermelho e $f_{c0,k} = 53,42\text{ MPa}$ para a Pracuúba, através das análises feitas foi possível classificar conforme a norma a classe de resistência das espécies de madeira como D60 para o Acapu e Angelim-vermelho e D50 para a Pracuúba.

Palavras-chave: Ensaio mecânico. Madeira serrada. Caracterização simplificada. Acapu. Angelim-vermelho. Pracuúba. Construção civil.

ABSTRACT

The Amazon Forest is home to an immeasurable wealth of fauna and flora. As for its flora, we still know a little about the diversity of species it has today, however, its logging and use in civil construction is gaining more and more prominence. and protagonism, despite the unknown. This search work carried out a comparative analysis of the resistance of species native to the northern region of sawn wood, through the application of ABNT NBR 7190-3 (2022), a simplified mechanical characterization test between the species will be carried out: ACAPU - *Vouacapoua americana* Aubl.; ANGELIM-VERMELHO – *Dinizia excelsa* Ducke and PRACUÚBA - *Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae. The objective is to determine, through a specification test parallel to the fibers, the apparent density and humidity to determine the rupture tension of the species samples, estimate the characteristic resistance of the specimens, the apparent density, humidity for a correction of 12%, define a resistance class and compare these values, through the application of equations and statistical treatments defined by the standard. Samples were collected at a lumber yard in the city of Macapá-AP, in AV. Canal do Jandiá, the preparation of heavy parts, the normative methodology and the tests carried out at the IFAP campus Macapá, Triaxial update laboratory, with the aid of an EMIC DL30000 N for the specification test and an oven with a temperature of $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. After the tests, the data were processed and calculated and the apparent density of the samples was defined with values: $\rho_{12} = 0,97\text{ g/cm}^3$ for Acapu, $\rho_{12} = 1,02\text{ g/cm}^3$ for Angelim-vermelho, $\rho_{12} = 1,04\text{ g/cm}^3$ for Pracuúba with humidity found after oven drying of $U_{\%} = 8,10\%$, $U_{\%} = 10,14\%$ e $U_{\%} = 10,88\%$, respectively. Regarding the characteristic resistance parallel to the fibers for the samples after humidity correction and application of the existing relationships between the mechanical properties in the values: $f_{c0,k} = 70,35\text{ MPa}$ for Acapu, $f_{c0,k} = 62,53\text{ MPa}$ for Angelim-vermelho and $f_{c0,k} = 53,42\text{ MPa}$ for Pracuúba, through the analyzes carried out it was possible to classify the resistance class of wood species as D60 for Acapu and Angelim- red and D50 for Pracuúba.

Keywords: Mechanical test. Lumber. Simplified characterization. Acapu. Red Angelim. Pracuúba. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Extensão do bioma Amazônia	25
Figura 2: Extensão da Amazônia Legal	26
Figura 3: Cobertura vegetal da Amazônia Brasileira até 2007	27
Figura 4: Pólos madeireiros da Amazônia Legal, 2001	28
Figura 5: Zonas Madeireiras da Amazônia Legal, 1998	29
Figura 6: Vegetação do estado do Amapá.....	32
Figura 7: Foto da madeira da espécie acapu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.)).....	36
Figura 8: Foto da madeira da espécie angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.)).....	37
Figura 9: Foto da madeira da espécie pracuúba (<i>Mora paraensis</i> Ducke <i>Caesalpiniaceae</i>)....	38
Figura 10: Madeira do grupo botânico Gimnosperma: Pinheiro-do-Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>).....	40
Figura 11: Grupo botânico Angiosperma monocotiledôneas: Carvalho-alvarinho <i>Quercus robur</i> L.....	41
Figura 12: Desenho esquemático da anatomia de um tronco de uma árvore.....	44
Figura 13: Esquema de corte tangencial de um tronco, na produção de tábuas.....	45
Figura 14: Desenho esquemático da anatomia de uma conífera (não pinácea)	46
Figura 15: Desenho esquemático da anatomia de uma folhosa	47
Figura 16: Eixos principais das madeiras.....	50
Figura 17: Umidade das madeiras	51
Figura 18: Teor de umidade de equilíbrio da madeira em ambientes	52
Figura 19: Variação de Resistência da Madeira com Grau de Umidade	52
Figura 20: Diagrama de Kollmann.....	54
Figura 21: Retração da madeira	55
Figura 22: Comportamento da madeira em contato com o fogo.....	56
Figura 23: Nós em uma peça de madeira	57
Figura 24: Fendas em uma peça de madeira	58
Figura 25: Gretas ou ventas em uma peça de madeira.....	59
Figura 26: Abaulamento em uma peça de madeira.....	59
Figura 27: Arqueamento em uma peça de madeira.....	60
Figura 28: Características de retração e distorção de peças através da posição nos anéis de crescimento.....	60
Figura 29: Uso de madeira amazônica no estado de São Paulo em 2001	62

Figura 30: Esquema de corte de troncos	65
Figura 31: Diagrama de valores de resistência global da madeira, em função do esforço instalado.....	67
Figura 32: Curva tensão na direção das fibras e na direção perpendicular às fibras, em peça sem defeitos	68
Figura 33: Peças de madeiras solicitadas aos esforços de compressão	68
Figura 34: Ensaio de compressão paralelo as fibras	69
Figura 35: Ensaio de compressão paralelo as fibras	70
Figura 36: Tipos de cisalhamento na madeira.....	70
Figura 37: Tipos de cisalhamento na madeira.....	71
Figura 38: Fluxograma de caracterização da resistência e rigidez das madeiras	77
Figura 39: Indústrias madeireiras da Av. Canal do Jandiá	79
Figura 40: A – Indicação do Mapa do Brasil. B – Indicação do estado do Amapá, com enfoque ao município de Porto Grande. C – Região de extração das amostras da espécie Angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.)) proveniente de serraria.	80
Figura 41: A – Indicação do Mapa do Brasil. B – Indicação do estado do Pará, com enfoque ao município de Portel. C – Região de extração das amostras da espécie Acapu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.)) proveniente de serraria de membros da comunidade.	81
Figura 42: A – Indicação do Mapa do Brasil. B – Indicação do estado do Pará, com enfoque ao município de Anajás. C – Região de extração das amostras da espécie Pracuúba (<i>Mora paraensis</i> Ducke <i>Caesalpinaceae</i>) proveniente da região extrativista Terra Grande Pracuúba.	82
Figura 43: Esquema para extração de corpos de prova das peças.....	83
Figura 44: A- Escolha das peças para os lotes. B - Preparo das peças para desempenar.....	85
Figura 45: A- Máquina para desempenar e plainar os esteios. B - Plainagem e desempenamento dos esteios de Acapu. C - Plainagem e desempenamento dos esteios de Angelim. D - Plainagem e desempenamento dos esteios da Pracuúba.....	85
Figura 46: A - Motosserra para corte dos esteios. B - Uso de trena para marcação do corte de comprimento. C - Corte das peças para os três lotes. D - Padronização dos lotes	86
Figura 47: A- Serra circular de mesa. B - Padronização das dimensões de 11 x 11 cm.....	87
Figura 48: A - Corte das seções 6 x 6 cm do Acapu. B - Corte das seções 6 x 6 cm do Angelim. C - Corte das seções 6 x 6 cm da Pracuúba. D - Todas as peças dos lotes com seção 6 x 6 cm	87

Figura 49: A - Corte para retirar o testemunho da parte central da peça de cada lote. B - Corpos de prova das três espécies para ensaio de compressão paralela às fibras	88
Figura 50: Corpos de prova para ensaio de compressão paralelo às fibras.....	89
Figura 51: Corpos de prova sendo cortados por serra circular de mesa.....	89
Figura 52: Corpos de prova sendo lixados em lixadeira de mesa	90
Figura 53: Corpos de prova sendo lixados por lixadeira de mão	90
Figura 54: Corpos de prova para determinação da umidade da madeira	91
Figura 55: Corte para produção dos corpos de prova do ensaio de umidade e densidade	92
Figura 56: Corpos de prova das três espécies para ensaio de compressão paralela às fibras, umidade e densidade básica e aparente	92
Figura 57: Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira	94
Figura 58: Equipamento para ensaio de tração EMIC DL 30000 N do laboratório do IFAP .	95
Figura 59: EMIC DL30000 N do laboratório do IFAP	95
Figura 60: Programa TESC	96
Figura 61: Paquímetro digital.....	96
Figura 62: A – Escolha das peças sem defeitos para ensaio de compressão paralelo às fibras. B – Identificação e ordenação das amostragens de cada espécie a ser ensaiada. C – Medição das dimensões do provete para realização do ensaio.	97
Figura 63: A – Paquímetro digital. B – Balança digital de precisão. C – Bandejas de alumínio. D – Estufa para secagem	100
Figura 64: A – Registro do CP 1 de Acapu após o rompimento do provete. B – Registro do CP 2 de Acapu após o rompimento do provete. C – Registro do CP 3 de Acapu após o rompimento do provete. D – Registro do CP 4 de Acapu após o rompimento do provete. E - Registro do CP 5 de Acapu após o rompimento do provete. F - Registro do CP 6 de Acapu após o rompimento do provete	103
Figura 65: A – Registro do CP 1 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. B – Registro do CP 2 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. C – Registro do CP 3 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. D – Registro do CP 4 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. E - Registro do CP 5 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. F - Registro do CP 6 de Acapu após o rompimento do provete	105
Figura 66: A – Registro do CP 1 de Pracuúba após o rompimento do provete. B – Registro do CP 2 de Pracuúba após o rompimento do provete. C – Registro do CP 3 de Pracuúba após o rompimento do provete. D – Registro do CP 4 de Pracuúba após o rompimento do provete. E -	

Registro do CP 5 de Pracuúba após o rompimento do provete. F - Registro do CP 6 de Pracuúba após o rompimento do provete	106
Figura 67: Amostras das três espécies ensaiadas após o ensaio de compressão paralelo às fibras de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba	108
Figura 68: A – corpos de prova para o ensaio de umidade antes do processo de secagem. B – Pesagem com auxílio de balança digital das massas de cada corpo de prova numerado. C – Controle da estufa para secagem das peças em temperatura controlada de 103 °C. D – Pesagem dos corpos de prova após completo os 4 ciclos de estufa para determinação de umidade.....	109
Figura 69: A – corpos de prova para o ensaio de densidade aparente antes do processo de secagem. B –Pesagem com auxílio de balança digital das massas de cada corpo de prova numerado. C – Medição das dimensões dos corpos de prova do ensaio de densidade aparente. D – Controle da estufa para secagem das peças em temperatura controlada de 103 °C. E – Conclusão dos 4 ciclos de estufa, sendo retirados com equipamentos de proteção. F – Pesagem e medição das dimensões dos corpos de prova após completo os 4 ciclos de estufa.	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Origem da matéria-prima florestal na Amazônia Legal	30
Tabela 2: Número de alertas originais por sistema e por bioma em 2020	31
Tabela 3: Precificação média das espécies florestais utilizadas por micro serrarias de várzea no estado do Amapá	33
Tabela 4: Precificação média praticada pelas serrarias localizadas no entorno da BR-210 (Perimetral Norte) em florestas de terra firme.....	35
Tabela 5: Desenho esquemático da anatomia de uma folhosa	48
Tabela 6: Classe de Umidade	53
Tabela 7: Dimensões comerciais de peças de madeira.....	65
Tabela 8: Dimensões dos principais produtos de madeira serrada.....	66
Tabela 9: Determinação da tensão de ruptura das amostras da espécie Acaçu caracterizadas através de ensaio de compressão paralelo às fibras.....	104
Tabela 10: Determinação da tensão de ruptura das amostras da espécie Angelim-vermelho caracterizadas através de ensaio de compressão paralelo às fibras	106
Tabela 11: Determinação da tensão de ruptura das amostras da espécie Pracuíba caracterizadas através de ensaio de compressão paralelo às fibras.....	107
Tabela 12: Valores das pesagens após a passagem dos corpos de prova das amostras de Acaçu, Angelim-vermelho e Pracuíba pelo processo de secagem pela estufa	111
Tabela 13: Valores de Umidade das amostras das espécies Acaçu, Angelim-vermelho e Pracuíba	113
Tabela 14: Valores de Densidade aparente das amostras da espécie Acaçu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.)).....	114
Tabela 15: Valores de Densidade aparente das amostras da espécie Angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.)).....	115
Tabela 16: Valores de Densidade aparente das amostras da espécie Pracuíba (<i>Mora paraensis</i> Ducke Caesalpiniaceae).....	116
Tabela 17: Resultados dos ensaios de Umidade e de Densidade Aparente para as amostras das três espécies ensaiadas.....	117
Tabela 18: Valores obtidos, do ensaio simplificado da madeira Acaçu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.)).....	118
Tabela 19: Valores obtidos, do ensaio simplificado da madeira Angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.)).....	118

Tabela 20: Valores obtidos, do ensaio simplificado da madeira Pracuúba (<i>Mora paraensis</i> Ducke Caesalpiniaceae).....	119
Tabela 21: Resultados do cálculo de resistência característica para as três espécies ensaiadas	122
Tabela 22: Classe de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos.....	122
Tabela 23: Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil	123
Tabela 24: Resultados das resistências características das espécies	125
Tabela 25: Determinação da densidade aparente resultados do ensaio laboratorial através do uso de estufa nos corpos de prova da amostragem de Acapu.....	138
Tabela 26: Determinação da densidade aparente resultados do ensaio laboratorial através do uso de estufa nos corpos de prova da amostragem de Angelim-vermelho.....	139
Tabela 27: Determinação da densidade aparente resultados do ensaio laboratorial através do uso de estufa nos corpos de prova da amostragem de Pracuúba	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Corpo de Prova

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IFAP – Instituto Federal do Amapá

IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NBR – Normas Técnicas Brasileiras

PSF – Ponto de Saturação das Fibras

SAD – Sistema de Alerta de Desmatamento do IMAZON, na Amazônia

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá

SETRAP – Secretaria de Estado de Transporte

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Área inicial da seção transversal do corpo de prova que será comprimida, expressa em milímetros quadrados (mm^2);

a – Comprimento do corpo de prova, dado em centímetros (cm);

b – Largura do corpo de prova, dado em centímetros (cm);

$E_{c,0}$ – Módulo de elasticidade na compressão paralelo às fibras;

$E_{c,90}$ - Módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras;

E_{12} - Módulo de elasticidade à compressão para umidade padrão de 12%;

E_u - Módulo de elasticidade, com umidade qualquer;

ϵ – Deformação, dado em milímetro (mm);

F – Força, dado em quilonewton, (kN);

$F_{c0,max}$ - Máxima força de compressão que será aplicada em um dado corpo de prova durante o ensaio, expresso em Newtons (N);

$f_{c,0}$ – Resistência à compressão paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{t,0}$ - Resistência à tração paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{t0,k}$ - Resistência característica à tração paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{c,90}$ - Resistência à compressão perpendicular às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{c0,k}$ - Resistência característica à compressão paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{t,90}$ - Resistência à tração perpendicular às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{v,0}$ - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{v0,k}$ – Resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{e,0}$ - Resistência de embutimento paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{e0,k}$ - Resistência característica ao embutimento paralelo às fibras, em Mega pascal (MPa);

$f_{e,90}$ - Resistência de embutimento perpendicular às fibras, em Mega pascal (MPa);

f_{s0} - Resistência ao fendilhamento, em Mega pascal (MPa);

f_{st} - Resistência à flexão, em Mega pascal (MPa);

$f_{M0,k}$ - Resistência característica à flexão, em Mega pascal (MPa);

f_{12} - Resistência à compressão para umidade padrão de 12%, em Mega pascal (MPa);

f_u - Resistência à compressão para umidade dos corpos de prova, em Mega pascal (MPa);

f_m - Resistência média, em Mega pascal (MPa);

f_{el} - Tensão limite de proporcionalidade, dado em Mega pascal (MPa);

h - Altura do corpo de prova, dado em centímetros (cm);

l_0 - Medida inicial;

m_i - Massa inicial, dada em gramas (g);

m_s - Massa da madeira seca, dada em gramas (g);

m_{12} ; é a massa do corpo de prova a 12% de umidade, dados em quilogramas (kg);

N_u - Carga de ruptura, expresso em Newtons (N);

ρ_{ap} - Densidade aparente da madeira, em (g/cm³);

ρ_{12} - Densidade aparente, em g/cm³, ao teor de umidade de 12%;

$\rho_{U\%}$ - Densidade aparente, em g/cm³, ao teor de umidade U%;

t - Tempo, dado em segundos (s);

U - Umidade do corpo de prova, dado em porcentagem (%);

U_{amb} - Umidade relativa do ambiente, dado em porcentagem (%);

U_{eq} - Umidade de equilíbrio máximo da madeira, dado em porcentagem (%);

$V_{U\%}$ - Volume, do corpo de prova, ao teor de umidade U% e

V_{seca} - Volume, do corpo de prova, para madeira seca, U = 0%.

V_{12} ; é o volume do corpo de prova a 12% de umidade, em metro cúbico (m³).

X_{wk} - Valor característico;

X_m – Média aritmética;

Δl – Variação da peça;

ΔV – Retração Volumétrica, para a variação de umidade entre U% e 0%, em %;

σ_c – Tensão, dado em Mega pascal (MPa);

σ_u – Tensão de ruptura, dado em Mega pascal (MPa);

δ_V – Coeficiente de Retratabilidade volumétrica;

σ – Desvio-padrão;

δ – Coeficiente de variação;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVO GERAL	22
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3	JUSTIFICATIVA	23
1.4	PROBLEMA.....	24
1.5	HIPÓTESE	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	A AMAZÔNIA BRASILEIRA	25
2.1.1	O setor madeireiro da Amazônia	27
2.1.2	O setor madeireiro no Amapá	31
2.1.3	Espécies Estudadas	35
2.2	A BOTÂNICA, ANATOMIA E PROPRIEDADES DA MADEIRA	38
2.2.1	Classificação das madeiras	39
2.2.2	Estrutura de crescimento das madeiras	43
2.2.3	Propriedades físicas das madeiras	49
2.2.4	Defeitos das madeiras	57
2.3	PRODUTOS E PROPRIEDADES MECANICAS DA MADEIRA	61
2.3.1	Tipos de madeiras e seu uso na construção civil	61
2.3.2	Madeiras serradas	63
2.3.3	Propriedades mecânicas através de ensaios padronizados	66
2.3.4	Variação das propriedades mecânicas da madeira	75
3	METODOLOGIA	77
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL	79
4.1	SELEÇÃO DOS MATERIAIS E PREPARATIVOS INICIAIS	79
4.2	PREPARAÇÃO DA AMOSTRAGEM DO MATERIAL LENHOSO DAS ESPÉCIES.....	83

4.3	PROPRIEDADES FÍSICO MECÂNICAS DAS ESPÉCIES	93
4.3.1	Ensaio de compressão paralela às fibras das espécies ensaiadas	93
4.4	DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA	98
4.5	UMIDADE DA MADEIRA DAS ESPÉCIES	99
4.6	INSTRUMENTAÇÃO PARA OS ENSAIOS DE DENSIDADE APARENTE E UMIDADE	100
4.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	101
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
5.1	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELO ÀS FIBRAS	103
5.2	ENSAIO DE UMIDADE E DENSIDADE APARENTE	108
5.2.1	Análise estatística do ensaio de Umidade e Densidade Aparente.....	112
5.3	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO PARALELO ÀS FIBRAS E DAS RELAÇÕES EXISTENTES PARA VALORES CARACTERÍSTICOS.....	117
5.3.1	Determinação das resistências características das amostras das três espécies ensaiadas.....	120
5.4	DISCUSSÃO E ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ESPÉCIES	123
6	CONCLUSÃO	128
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	130
	REFERÊNCIAS	131
	ANEXO A – Relatórios de Ensaios (IFAP).....	135
	ANEXO B – Tabelas do ensaio de densidade aparente das espécies	138
	ANEXO C – Mapa de localização de micro serrarias nas regiões de várzea de Mazagão/AP.....	143
	ANEXO D – Mapa de localização das serrarias no decorrer da BR-210 (Perimetral Norte)	144

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como foco a determinação da resistência mecânica das amostragens de 3 espécies de madeira serrada nativas e comercializadas na região norte, utilizando-se para tal a ABNT NBR 7190-3 (2022), através do ensaio mecânico de caracterização simplificada das espécies: Acapu - *Vouacapoua americana* Aubl.; Angelim-vermelho – *Dinizia excelsa* Ducke e Pracuúba - *Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae, as quais são bastante empregadas na construção civil da cidade de Macapá- AP, contudo existem poucas informações sobre suas propriedades físico-mecânicas, esse trabalho buscará determinar esses valores e comparar os resultados entre as espécies com as referências existentes e os dados normativos para espécies de mesma classe.

É inquestionável que a floresta amazônica é detentora de uma vasta diversidade de espécies vegetais tropicais nativas, e por conta disso comumente torna-se alvo de intensas atividades exploratórias, particularmente daquelas espécies que são mais valiosas para o comércio ilegal. Esse cenário muitas vezes acontece sem ao menos se ter registros das características e propriedades dessas espécies, para Souza, D. R. *et al.*, (2006).

Diante disso, é necessário o investimento da comunidade científica em estudo e análise das propriedades físico-mecânico das espécies já comercializadas e exploradas na floresta amazônica e comumente empregada na construção civil, na região norte do Brasil. De acordo com SOUZA *et al.*, (2011) o acapu (*Vouacapoua americana* Aubl.) é uma das espécies de madeira com elevada procura na Amazônia, pertencente à família Leguminosae. Um dos fatores pela alta busca dessa espécie deve-se a sua excelente característica de trabalhabilidade. EMBRAPA (2004) pontua que o angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) é uma madeira muito pesada, pode ser bastante durável, de difícil trabalhabilidade e alta resistência mecânica, também da família Leguminosae. A pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae), por sua vez, para Remade (2024), como de fácil trabalhabilidade, tendo bastante resistência a ataque de fungos e insetos, assim como o Acapu. As espécies de dicotiledôneas estudadas são comumente empregadas na construção civil, em projetos navais, estacas, vigas e para a construção de pontes.

Tendo em vista essas características supracitadas e frente a exploração e comercialização crescente dessas espécies de madeiras pesadas, faz-se preciso o estudo dessas propriedades afim de se determinar numericamente as resistências e analisar esses valores, bem como comparar

entre si e outras espécies presentes na norma brasileira. Sendo para esse trabalho utilizada a ABNT NBR 7190-3 (2022) para a realização de ensaio mecânico para uma caracterização simplificada de amostras encontradas localmente na cidade de Macapá – AP, nas madeiras próximas ao Canal do Jandiá.

Objetiva-se encontrar resultados que possibilitem a determinação das densidades aparentes, tensões de rupturas, as resistências à compressão paralela às fibras, bem como a resistências características e classes de resistências das espécies ensaiadas, para análise e comparação entre as espécies existentes na norma brasileira dos resultados e entre os valores e empregos dessas espécies na construção civil pelas referências teóricas existentes, analisando se esses empregos são coerentes com os resultados obtidos. Buscando maior controle sobre os fatores que podem variar essas propriedades da madeira, conforme Pfeil W. (2003), os mais importantes vão da posição de onde se extrai a peça, os defeitos na peça de madeira, a umidade dos corpos de prova e o tempo de aplicação da carga, bem como seguir as medidas estabelecidas na padronização das peças que passarão pelos ensaios laboratoriais.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a resistência entre três espécies de madeiras nativas serradas através do ensaio de caracterização mecânica simplificada.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Através do ensaio mecânico de caracterização simplificada das três amostras de espécies escolhidas pretende-se:

- Determinar a tensão de ruptura de cada espécie ensaiada;
- Determinar a densidade aparente para as três espécies ensaiadas;
- Determinar através das relações presentes na norma para os valores característicos paralelo às fibras;
- Obter experimentalmente a classe de resistência de cada espécie conforme a norma ABNT NBR 7190-3 (2022);
- Comparar as resistências características das espécies ensaiadas com as da mesma família das espécies presentes na tabela da norma ABNT NBR 7190-3 (2022);
- Avaliar se a aplicação na construção civil empregada dessas espécies é compatível com os resultados obtidos nos ensaios mecânicos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que a madeira é uma das matérias-primas mais antigas utilizadas pelo homem desde a pré-história. Conforme Pfeil W. (2003) as obras mais importantes eram construídas através de pedra e madeira, até meados do século XIX, sendo esses materiais inúmeras vezes combinados, mesmo com grande aplicação, somente na segunda metade do século XX, que ocorrem os primeiros estudos de fato acerca das estruturas de madeiras, tendo bastante avanço após a II Guerra Mundial nos métodos precisos até hoje empregados em projetos com esse material. Nos dias atuais a aceitação da madeira como material da construção civil tornou-se possível economicamente e aceitável ecologicamente conforme as técnicas de reflorestamento, bem como a mínima perda nesses processos de produção.

Na Amazônia, é inegável a sua riqueza em fauna e flora, tendo inúmeras espécies de madeiras a serem exploradas, sendo o setor madeireiro o alavancador da economia de forma direta das dezenas de municípios, conduzida por IMAZON (2015), mesmo diante de mais fiscalização e de uma redução da extração predatória, com a aplicação de multas maiores e a realização de várias operações, principalmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e das crises econômicas de 2009. Nesse cenário, as florestas continuam sendo uma importante fonte de energia e riqueza em toda a humanidade, sendo a exploração e o processamento industrial da madeira uma das mais notáveis atividades econômicas da Amazônia, junto da agropecuária e mineração industrial, conforme D'Arace *et al.*, (2019, p. 16887).

Por vezes, mesmo diante desse papel protagonista na região norte dessa matéria-prima rica em diversidade, pouco se sabe dos comportamentos mecânicos das espécies da Amazônia utilizadas na construção civil, em sistemas estruturais e do real potencial e possibilidade de aplicação desses materiais, que se mostram competitivos para fins econômicos e aceitáveis ecologicamente se explorados de forma conscientes. Sendo necessários mais trabalhos que explorem essas propriedades mecânicas de modo a contribuir para a melhor utilização desse recurso nas obras de engenharia.

1.4 PROBLEMA

Frente ao contexto apresentado, encontra-se a seguinte problemática: Como realizar essa determinação e comparação do desempenho mecânico de espécies de madeiras nativas da região norte, tendo em vista a escassez de informações sobre o real desempenho e resistência mecânica dessas espécies utilizadas na construção civil?

1.5 HIPÓTESE

Parte-se da hipótese de que com a caracterização simplificada conforme a ABNT NBR 7190-3 (2022) as espécies ensaiadas apresentem resistência compatível com suas aplicações na construção civil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A AMAZÔNIA BRASILEIRA

O estudo do bioma Amazônia, segundo Lentini, M. *et al.*, (2005), tem a extensão através de nove países da América do Sul, com uma área total de 6,4 milhões de quilômetros quadrados. Em território brasileiro, abriga-se cerca de 63% ou aproximadamente 4 milhões de quilômetros quadrados. Os demais 37% distribuem-se entre os países: Peru (10%), Colômbia (7%), Bolívia (6%), Venezuela (6%), Guiana (3%), Suriname (2%), Equador (1,5%) e Guiana Francesa (1,5%), conforme figura 1:

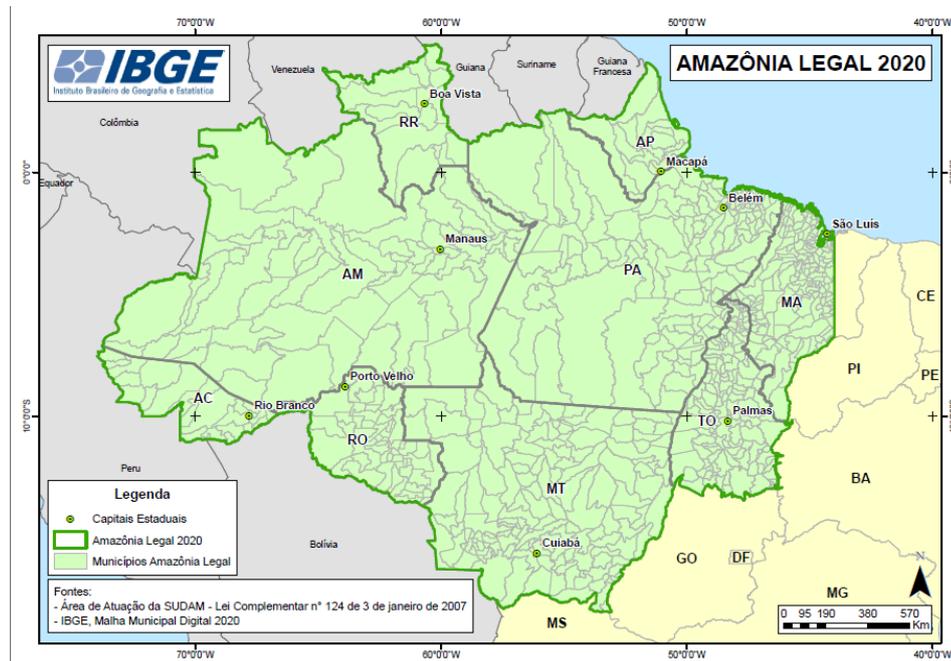
Figura 1: Extensão do bioma Amazônia



Fonte: CI (2004), citado por Lentini, M. *et al.*, (2005)

A Amazônia brasileira, como esclarece Moutinho, V., H., P. (2008), é uma região que se compreende através da bacia do rio Amazonas, com extensão aproximada de 3.800.000 km². A Amazônia Legal, por sua vez, segundo dados do IBGE (2021), através da Lei 5.173, de 1966, define que essa região tem abrangência entre os estados do Acre, Pará, e Amazonas, os territórios do Amapá, Roraima e Rondônia, bem como também, uma área de Mato Grosso a norte do paralelo 16°, de Goiás a norte e do Maranhão a oeste, com um total de 772 municípios. Atualmente, a Amazônia Legal ocupa cerca de 5.015.068,18 km², que corresponde a cerca de 58,9% do território brasileiro. Conforme o mapa da Amazônia Legal na figura 2, a seguir:

Figura 2: Extensão da Amazônia Legal

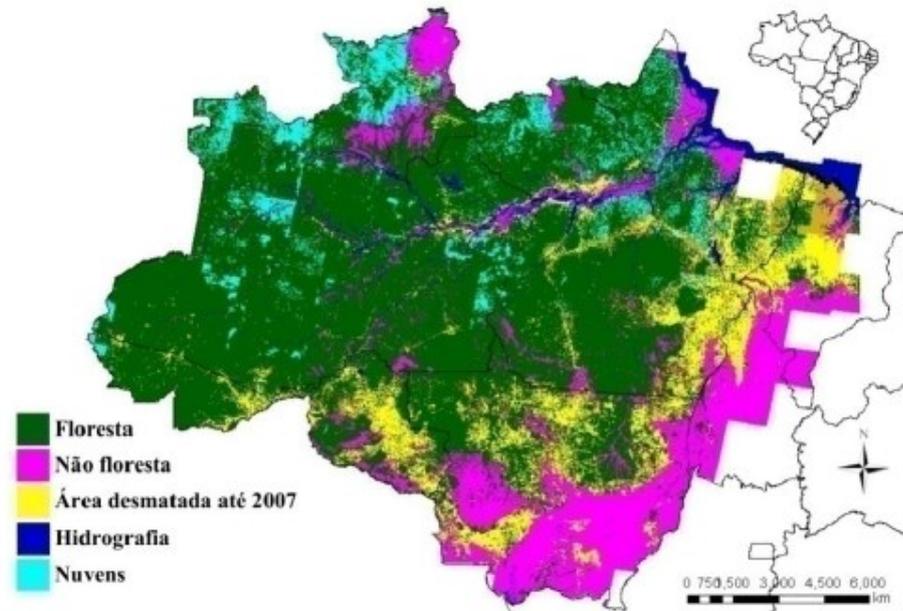


Fonte: IBGE (2021)

Sobre a Amazônia, Meireles, F. (2006) apud Moutinho, V., H., P. (2008), p.15, essa concentra cerca de 15% das águas doces superficiais não congeladas do mundo, possuindo a maior diversidade de fauna e flora do planeta, estima-se que possam ser encontradas cerca de $\frac{1}{4}$ de todas as espécies vivas no planeta nesse local. Na Amazônia, a sua diversidade de árvores varia de 40 a 300 espécies por hectare, enquanto na América do Norte essa variedade caía para 4 a 25 espécies por hectare, sendo assim urge a necessidade de serem realizados maiores estudos para classificar as espécies vegetais amazônica, que se encontra no estágio inicial.

A cobertura vegetal de suas florestas tem características densas, abertas e estacionais, cobrindo cerca de 64% da Amazônia Legal. As partes não-florestais, em que se predominam os cerrados, campos naturais e campinaranas, cobrem outros 22%, conforme Lentini, M. *et al.*, (2005), os demais 14% de cobertura vegetal foi desmatado até 2004. Bem como pode ser analisado na figura 3:

Figura 3: Cobertura vegetal da Amazônia Brasileira até 2007



Fonte: Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal – Prodes (2008) citado por Moutinho, V., H., P. (2008)

O entendimento desse rico bioma passa pelo conhecimento de sua vegetação e uso do solo, em que a situação fundiária, conforme Lentini, M. *et al.*, (2003), há uma enorme carência de dados para descrever a situação fundiária da Amazônia. Segundo IBGE (1996) apud Lentini, M. *et al.*, (2003), p.21, no Censo Agropecuário aproximadamente 24% do território da Amazônia tem declaração de propriedade privada, 29% desse território está protegido, nesse percentual estão também as Unidades de Conservação e Terras Indígenas. Os últimos 47% são terras de áreas devolutas e em disputa de litígio.

As áreas protegidas da Amazônia Legal, para Lentini, M. *et al.*, (2003), divide-se em cerca de 29% como áreas legalmente protegidas, da Amazônia Legal. Desse percentual, cerca de 20% são terras indígenas, 4% estão em Unidades de Uso Sustentáveis, sendo essas florestas nacionais e reservas extrativistas, outros 4% são Unidades de Proteção Integral, sendo Parques Nacionais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas e 0,5% são áreas militares.

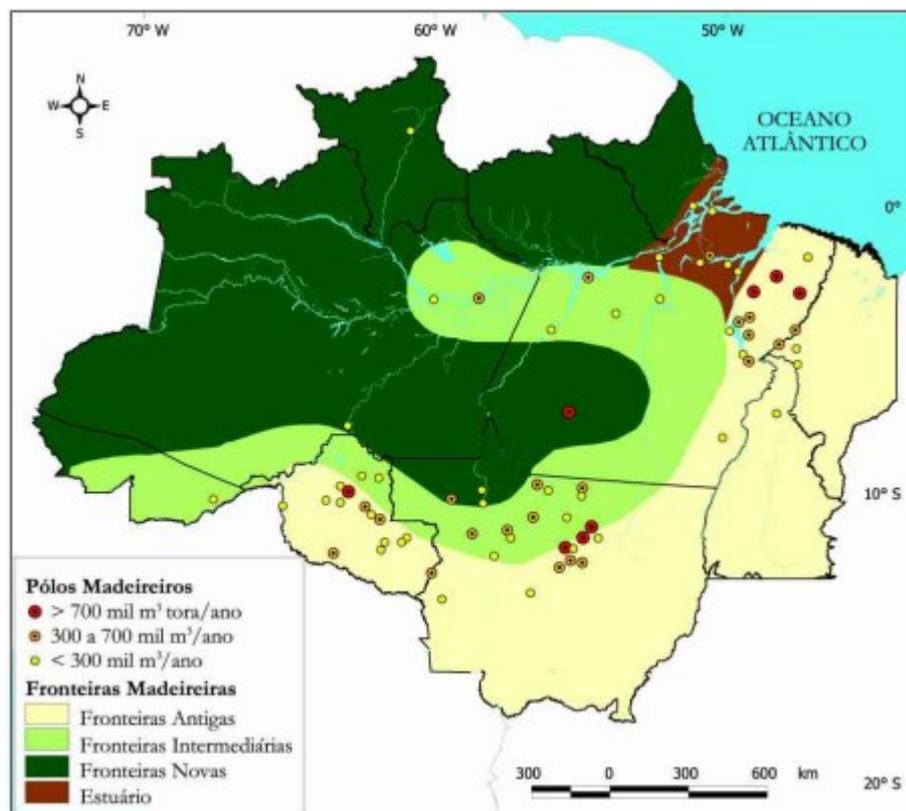
2.1.1 O setor madeireiro da Amazônia

Inicialmente, para o entendimento das Fronteiras Madeireiras da Amazônia, necessita-se classificar, conforme explica Veríssimo, A. *et al.*, (2002), de acordo com suas tipologias

florestais, podendo ser essa densa, aberta e de várzea, estágio de ocupação, as condições de acesso e os tipos de transportes. Veríssimo, A. *et al.*, (2002) apud Lentini, M. *et al.*, (2003), p.21, subdividi essas classificações como:

- Antigas: com idades variando de + 30 anos, situadas ao sul e leste da Amazônia, com condições de infraestruturas melhores;
- Intermediárias: idades entre 10 a 30 anos e com localizações próximas de Jacundá (PA), Marabá (PA) e Altamira (PA);
- Novas: com idade menores que 10 anos, situadas a oeste do estado do Pará e extremo noroeste de Mato Grosso;
- Estuarina: com exercício esporádico de exploração madeireira, mesmo que nos últimos 40 anos seja crescente essa prática, conforme expressa Veríssimo, A. *et al.*, (2002), podendo ser na figura 4:

Figura 4: Pólos madeireiros da Amazônia Legal, 2001



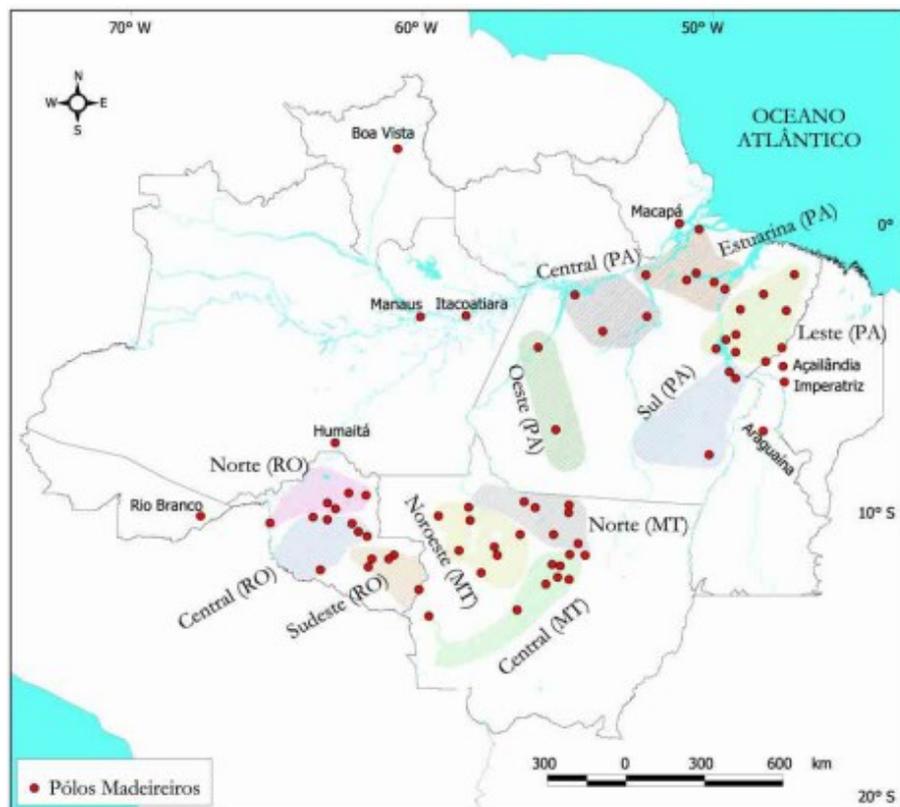
Fonte: Veríssimo, A. *et al.*, (2002), citado por Lentini, M. *et al.*, (2003)

Alguns dados trazidos por Lentini, M. *et al.*, (2003) valem destaque a produção e renda madeireira. Próximos aos anos 2000, a exploração madeireira realizada pelos mais de 70 pólos na Amazônia Legal era de cerca de 28,3 milhões de metros cúbicos em toras, que geram um

montante de 10,8 milhões em madeira processada, com rendimento de 2,5 bilhões. Naquele período em termos percentuais o estado do Pará detinha cerca de 40% dessa produção, enquanto o Amapá, junto a Acre, Amazonas, Roraima, Tocantins e Maranhão eram responsáveis por 7% dessa produção, vale destacar que cerca de 68% dessa produção foi de madeira serrada.

As zonas Madeireiras, segundo Lentini, M. *et al.*, (2003), estão divididas em onze zonas, dentro da Amazônia Legal, em que cinco delas encontram-se dentro do estado do Pará, tem-se três em Mato Grosso e outras três em Rondônia, nos demais estados, como o Amapá esses pólos são insuficientes para serem integrados em zonas madeireiras, assim como pode ser vista na figura 5:

Figura 5: Zonas Madeireiras da Amazônia Legal, 1998



Fonte: Veríssimo, A. *et al.*, (2002), citado por Lentini, M. *et al.*, (2003)

A origem da matéria-prima, no período de 1998, para Lentini, M. *et al.*, (2003), demonstram que aproximadamente 72% da madeira extraída na região amazônica é proveniente de áreas de terceiros, são elas terras privadas tituladas, privadas em disputa ou devolutas, já os demais 28% de matéria-prima é de áreas declaradas, assim como está na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Origem da matéria-prima florestal na Amazônia Legal

Estado	Origem da Matéria-Prima (% do total explorado)		
	Áreas Próprias	Áreas de Terceiros	Total (milhares de m ³)
Acre	3	97	200
Amapá	51	49	140
Amazonas	65	35	710
Maranhão	12	88	710
Mato Grosso	30	70	10.070
Pará	36	64	11.280
Rondônia	8	92	4.790
Roraima	-	100	240
Tocantins	19	81	120
Amazônia Legal	28	72	28.260

Fonte: Veríssimo, A. *et al.*, (2002), citado por Lentini, M. *et al.*, (2003)

O processo de exploração madeireira ganha um status de crescimento a partir da década de 70, frente a abertura de estradas ligando a Amazônia com o restante do Brasil, o salto de 1976 para 1998, conforme IMAZON (2015), esse processo de exploração de madeira na Amazônia gera no Brasil um status de liderança na produção e consumo de toras em todo o mundo.

Segundo Souza, D. R. *et al.* (2006) grande parte das florestas nativas da Amazônia estão sendo exploradas de forma não sustentável, sem qualquer forma de aplicação de critérios de sustentabilidade ou manejo florestal, culminando em perda significativa de cobertura florestal e de diversidade em espécies, mesmo que nem se tenha ainda dimensão dessa vasta variedade de espécies de flora e fauna. Os processos de intervenções em florestas naturais necessitam de planejamento e precedidos de inventário minucioso, os quais forneçam parâmetros como: diversidade, densidade, dominância, frequência e distribuição das espécies de forma espacial, valores ecológicos e outros.

Os sistemas de monitoramento para alertas de desmatamentos, que operam no Brasil em 2020, na Amazônia é a SAD/IMAZON, demonstram através de Azevedo, T. *et al.* (2020), que considerando as detecções feitas através do MapBiomias Alertas tiveram cerca de 351.971 alertas de desmatamentos em 2020, desses mais da metade, aproximadamente 52%, detectados apenas na Amazônia, como pode ser avaliado na tabela 2, a seguir:

Tabela 2: Número de alertas originais por sistema e por bioma em 2020

FONTE	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal	Total
DETER-CERRADO	263	836	10.911	40	-	96	12.146
DETER-B-AMAZONIA	44.673	-	81	-	-	15	44.769
GLAD	-	3.855	-	52.504	8.315	74.044	138.718
SAD	118.685		2.957	-	-	46	121.688
SAD-CAATINGA	-	8.049	4.270	292	-	-	12.611
SIRADX	20.556	-	533	-	-	-	21.089
Outros (testes)	-	-	10	940	-	-	950
TOTAL GERAL	184.177	12.740	18.762	53.776	8.315	74.201	351.971

Fonte: Azevedo, T. *et al.* (2020), adaptado

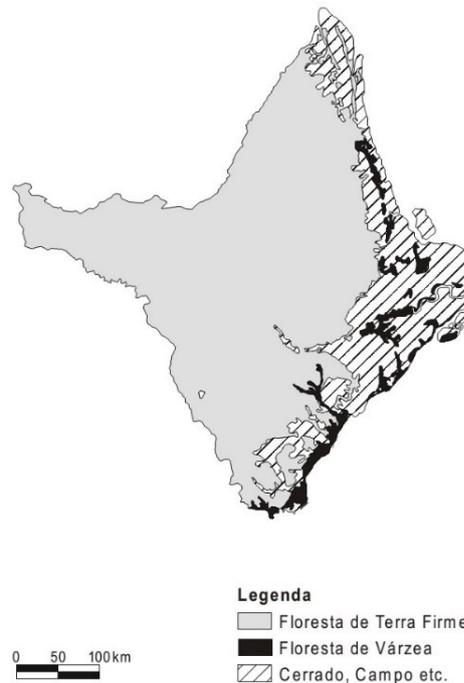
Esse percentual demonstra como o consumo e exploração predatório da Amazônia é crescente e preocupante, a maior parte dessa exploração 93% desse processamento da madeira ocorre em florestas de terra firme, que vai do arco leste do Pará, passa pelo norte de Mato Grosso indo até Rondônia, em que apenas 7% são provenientes de florestas de várzea, segundo IMAZON (2015).

2.1.2 O setor madeireiro no Amapá

O estado do Amapá, de acordo com IMAZON (2015), apresenta apenas 1% de participação no processo de produção madeireira regional, esse percentual embora pequeno é de extrema importância em uma prática de exploração predatória, tendo em vista que o Estado poderá planejar esse desenvolvimento do setor florestal, através do manejo florestal. O estado tem extensão territorial de 143.453 km², tem sua cobertura florestal feita por floresta ombrófilas de valor madeireiro de 75%, enquanto o cerrado e campos ocupam de 6 a 12%, respectivamente, ainda por IMAZON (2015), assim como pode ser visto na figura 6. Já as florestas de igapó e zonas de transição floresta-cerrado são em torno de 6%, as áreas desmatadas do Amapá não

chegam em 1% do Amapá, segundo dados INPE (2023), com quase 462,84 km² de área desmatada.

Figura 6: Vegetação do estado do Amapá



Fonte: IMAZON (2015)

O estado ainda apresenta precipitação anual de 2.000 a 3.000 mm com variações, sendo seu clima úmido, além de solos mais férteis nos manguezais, que representam 12% dos solos no estado, seu relevo tem variação na sua extensão territorial, sendo mais plano no sul, levemente ondulado na parte central e acidentado a noroeste, conforme IMAZON (2015), o estado ainda possui cerca de 30% do seu território como legalmente protegidas, sendo proibido o processo de exploração nas áreas indígenas, que correspondem a 8% do estado, além de 9% das áreas de reservas da natureza, desse montante. IMAZON (2015) aponta ainda a exploração madeireira com participação reduzida na economia do Estado, podendo no futuro ser uma das suas atividades de maior destaque.

2.1.2.1 Atividades madeireiras nas florestas de várzea

Entre as características das florestas de várzea, IMAZON (2015), destaca que essas são provenientes do estuário do Amazonas, sendo de áreas úmidas que inundam diariamente, visto que o regime de marés é regido pelo Oceano Atlântico, sendo essas várzeas áreas que somam 9.000 km² ou, aproximadamente, 6% do território do estado do Amapá, sendo um dos solos mais férteis da Amazônia devido a cíclica renovação de nutrientes, possuindo menor

diversidade de espécies quando comparadas a florestas de terra firme. IMAZON (2015) ainda aponta que das espécies extraídas hoje da Amazônia, cerca de 30 são provenientes de regiões de várzea enquanto 195 espécies são de terra firme.

O processo de comercialização de toras provenientes das florestas de várzeas é realizado em Macapá, segundo SEMA (2022), principalmente nas regiões do entorno do canal do Jandiá do bairro das Pedrinhas. O consumo mensal de madeira em toras dessa região feitas pelas micro serrarias variou de 7 a 70 m³, sendo as espécies que mais foram consumidas: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), macacaúba (*Platymiscium trinitatis* var. *duckei* (Huber) Klitg), pracuúba (*Mora paraenses* Ducke), pau mulato (*Callycophyllum spruceanum* Benth) e outras. IMAZON (2015) o rápido processo de urbanização ocorrido na população do estuário amazônico, em especial de Belém e Macapá, criou uma forte demanda desse tipo de matéria-prima para a construção civil para a população de baixa renda, vale lembrar que grande parte dessas micro serrarias estão localizadas no município de Mazagão, região de estuário, segundo SEMA (2022), como pode ser identificado no mapa de localização das micro serrarias, presente no anexo C, deste trabalho.

O preço médio apontado pela SEMA (2022) mostra que a precificação da madeira em pé das florestas de várzea, dependem da espécie e distância do local de extração até as micro serrarias, variando de R\$ 30,00 a R\$130,00 por m³, sendo esses preços variável a depender do acabamento da madeira serrada se bruta ou plainada, conforme a tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Precificação média das espécies florestais utilizadas por micro serrarias de várzea no estado do Amapá

Espécie (nome vulgar)	Espécie (nome científico)	Valor madeira em pé (R\$/m ³)		Madeira serrada (R\$/dúzia)	
		Mín.	Máx.	BRUTA	PLAINADA
	<i>Platymiscium</i>				
Macacaúba	<i>trinitatis</i> (Benth.)	-	130,00	200,00	220,00
	<i>Callycophyllum</i>				
Pau Mulato	<i>spruceanum</i> (Benth.)	30,00	65,00	60,00	70,00
Pracuúba	<i>Mora</i> <i>paraensis</i>	30,00	55,00	60,00	70,00

	(Ducke.)				
	Carapa				
Andiroba	guianensis	30,00	65,00	60,00	70,00
	(Aubl.)				

Fonte: IEF (2016) citado por SEMA (2022), adaptado

O processo de transporte dessa matéria-prima é realizado, conforme IMAZON (2015), através delas em toras de forma fluvial, chegando a ser em jangadas para peças que flutuam ou em balsas para toras densas, para as peças já serradas (tábuas) do ponto de processamento da peça até as estâncias é realizado em pequenas embarcações.

2.1.2.2 Atividades madeireiras nas florestas de terra firme

O processo de exploração madeireira, através de IMAZON (2015), indica uma tendência de crescimento nas últimas duas décadas na indústria madeireira para zonas de terra firme. Alguns dos apontamentos para esse aumento no consumo da produção justifica-se através da demanda de madeiras de média e alta densidade, que em geral se encontram nessas áreas, bem como melhorias nas estradas entre as florestas interfluviais e o estado.

É possível se aferir através da SEMA (2022) que mesmo compondo cerca de 80% do território do estado, o processo de exploração madeireira legal em florestas de terra firme é ainda baixo e realizada por serrarias, que se situam ao longo das rodovias BR-156 e BR-210 (Perimetral Norte), como pode ser visualizado no mapa de localização das serrarias, no anexo D, deste trabalho.

No Amapá, de acordo com IMAZON (2015) as espécies que são mais extraídas são madeiras de média e alta densidade, sendo elas: angelim vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)), angelim pedra (*Hymenolobium nitidum*), acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)), mandioqueira (*Qualea paraensis* (Ducke.)), maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke)Chevalier)), Ipê (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols.)) e outras. Além disso, a precificação dessa madeira em pé de florestas, conforme SEMA (2022), varia frente a exploração (corte, arraste e embarque) e transporte, oscilando de R\$30,00 a R\$80,00 por m³ e de acordo com o acabamento, em casos de madeiras serradas ou plainadas, assim como se visualiza na tabela 4. Os preços das madeiras em toras tiveram variação de R\$ 150 a R\$250 por m³, bem como ocorre em madeira plainada e serrada que oscila de R\$ 950 a R\$1.350 por m³.

Tabela 4: Precificação média praticada pelas serrarias localizadas no entorno da BR-210 (Perimetral Norte) em florestas de terra firme

Espécie (nome vulgar)	Espécie (nome científico)	Valor madeira em pé (R\$/m ³)		Madeira tora (R\$/m ³)		Madeira serrada (R\$/ m ³)	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Wild.)	30	80,00	150,00	250,00	950,00	1.350,00
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke)Chevalier)	30,00	80,00	150,00	250,00	950,00	1.080,00
Cupiauba	<i>Goupia glabra</i> (Aubl.)	30,00	80,00	150,00	250,00	950,00	950,00
Angelim pedra	<i>Hymenolobium</i> <i>petraeum</i> (Ducke.)	30,00	80,00	150,00	250,00	950,00	950,00
Angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.)	30,00	80,00	150,00	250,00	950,00	1.000,00

Fonte: IEF (2016) citado por SEMA (2022), adaptado

Vale ressaltar que IMAZON (2015) aponta ainda o processo de exploração madeireiro na terra firme como sendo seletivo, com extração de 25 a 30 espécies, além disso o processo de transporte dessas toras comumente pode ser realizado através de caminhões, que percorrem ente o ponto de exploração e as serrarias, sendo esse mesmo meio de transporte para realizar o deslocamento até as cidades de Macapá e Santana.

2.1.3 Espécies Estudadas

As três espécies utilizadas para esse estudo foram o acapu (*Vouacapoua americana* Aubl.), o angelim vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) e a pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae), que fazem parte do seletivo grupo de espécies da Amazônia que estão sendo explorados para consumo no mercado interno, para fins de peças estruturas.

2.1.3.1 Características Gerais da espécie acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.))

O acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)) pertence à família Leguminosae, uma angiosperma, também pode ser conhecida como acapu-do-igapó, angelim-da-folha-larga, ritangueira e outros Gonzaga (2006). A sua região de ocorrência é própria das matas de terra firme do Amazonas, Pará, Amapá e Guianas, chegando ao Maranhão, segundo Remade (2024).

Lorenzi (1998) traz algumas características morfológicas da espécie estudada como sua altura que varia entre 15 a 30 metros, dotada de copa arredondada, possui tronco ereto e cilíndrico, podendo apresentar algumas depressões características, sem sapopemas basais. Sua ocorrência preferencialmente no interior das matas primárias, em terrenos planos de solos argilosos bem supridos de umidade.

Remade (2024) acrescenta em sua descrição características como a coloração do cerne da madeira como pardo-avermelhado-escuro até quase negra, assim como se visualiza na figura 7 características da madeira acapu, que além do cerne, possui estrias de tons mais claros, com superfície irregularmente lustrosa. Gonzaga (2006) complementa que a madeira apresenta brilho moderado, tendo seu peso visto como de madeira pesada, dura ao corte, trabalhabilidade razoável, com textura mediana ao tato.

Figura 7: Foto da madeira da espécie acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.))



Fonte: Remade (2024)

A sua durabilidade natural, para Gonzaga (2006) é vista como muito resistente ao apodrecimento, bem como aos ataques de xilófagos, sendo quase impermeável à impregnação de preservante. Apresenta segundo Remade (2024) um comportamento durante a secagem de madeiras de secagem ao ar moderadamente difícil, pode ter pouca incidência de empenamentos.

2.1.3.2 Características Gerais da espécie angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.))

O angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) pertence à família Leguminosae, também recebe os nomes populares como: angelim-pedra-verdadeiro, angelim-falso, faveira-dura, faveira-ferro, faveira, faveiro-do-grande, entre outros Lorenzi (1992). A ocorrência da espécie é comum na região norte do Brasil, sendo encontrada com frequência em Estados como Acre, Rondônia, Amazonas, Pará e Roraima, podendo ser encontrada também nas Guianas, conforme Lorenzi (1992) e Remade (2024).

Remade (2024) descreve algumas características da madeira angelim-vermelho como sendo seu alburno em tom castanho-avermelhado, tendo o cerne marrom-avermelhado-claro, com pouca variação entre si e textura média. Lorenzi (1992) acrescenta que a espécie pode alcançar altura entre 50 a 60 metros, sendo seu tronco revestido por uma casca que apresenta descamação. Além disso, EMBRAPA (2004) traz outras características como brilho moderado, cheiro desagradável, durável em contato com o solo, difícil de se trabalhar, mas recebe acabamento esperado. Possui características anatômicas como vasos (poros) visíveis a olho nu, parênquima axial visível e difuso e predominantemente aliforme losangular, com raios pouco visíveis a olho nu em sua face transversal, suas fibras são libriformes, sendo não septadas e de parede grossa, pertencente a classificação das angiospermas. Assim como pode ser vista essas características na figura 8 do angelim-vermelho.

Figura 8: Foto da madeira da espécie angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.))



Fonte: Remade (2024)

Quanto a sua durabilidade Remade (2024) explica que essa espécie é muito pesada e de alta resistência mecânica. Sendo expressa como bastante durável, possui retratibilidade volumétrica mediana. No que tange ao seu comportamento a secagem o angelim-vermelho apresenta boa secagem ao ar, apresentando tendência moderada ao torcimento e leve colapso.

2.1.3.3 Características Gerais da espécie pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae)

A pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae) é pertencente à família Fabaceae Lindl., sendo encontrado nos Estados do Amapá, Amazonas, Roraima e Pará, Mora (2024). Recebe também os nomes de Paracuúba, Pracuúba-branca, Pracuúba-vermelha, tem região de ocorrência no Amazonas, Amapá, Pará e ainda disperso pelas demais regiões amazônicas. Remade (2024)

Coelho (2014) traz características como a altura que essa espécie pode atingir até 40 metros, tendo tronco com diâmetro de aproximadamente um metro, sustentado por sapopemas, possui folhas com pecíolo canaliculado em sua parte superior, suas flores são em espigas brancas aromáticas, da classe das angiospermas. Além disso, Remade (2024) descreve algumas características da madeira, tais como a coloração do alburno rosado, sendo seu cerne nos tons castanho avermelhado, possuindo textura média a grossa com aspecto fibroso, seus poros são visíveis a olho nu, pequenos e pouco numerosos, suas linhas vasculares são bem demarcadas. Assim como se pode verificar essas características na figura 9:

Figura 9: Foto da madeira da espécie pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae)



Fonte: Própria (2023)

Remade (2024) pontua ainda a trabalhabilidade dessa espécie como sendo moderadamente fácil de ser realizada e com ótimo recebimento de acabamento, sendo bastante resistente aos ataques de fungos e insetos.

2.2 A BOTÂNICA, ANATOMIA E PROPRIEDADES DA MADEIRA

A madeira sendo matéria-prima das árvores, é fundamental que se entenda brevemente a sua botânica, quanto à compreensão das famílias, gêneros e espécies. Segundo Gonzaga (2006), conhecer a anatomia da madeira e examinar os tecidos que as constituem pode trazer

informações quanto ao comportamento dessas peças. O nível de resistência a fungos e insetos xilófagos, o tipo de deformações e aos “trabalhos” que podem estar sujeitas. Características constitutivas quanto a sua disposição lenhosa, aspecto estão diretamente ligados a espécie que as originou.

Sendo resultado da uma transformação de um material proveniente de um organismo vivo e particularmente ortotrópico a madeira terá diversos fatores que interferirão no seu crescimento, para Correia (2009), tanto o tipo de solo, as condições de altitude, climáticas e outros geram variações significativas ao ponto de não ser possível encontrar numa árvore pontos distintos com características iguais. Sendo, dessa forma, um material complexo, estrutural e morfológicamente, sendo assim o conhecimento das suas propriedades físicas mecânicas imprescindível para sua correta utilização como material estrutural.

2.2.1 Classificação das madeiras

Conforme Gonzaga (2006), a botânica faz uso da classificação de Engler, em que as árvores se encontram na faixa de fanerógamas, ou seja, plantas superiores, que por sua vez se subdividem em dois grupos: as *gimnospermas* (com presença de sementes nuas) e *angiospermas* (sementes em “vasos” – os frutos). Assim sendo, através da geologia as angiospermas são mais recentes que as gimnospermas.

2.2.1.1 Gimnospermas

O termo Gimnosperma, segundo Valle *et al.*, (2012), vem do grego *gymno* que significa “nu”, “descoberto” e *sperma* seria “semente”, sendo essas árvores desprovidas da presença de frutos carnosos ou verdadeiros. A ordem desse grupo são as coníferas, por suas flores assemelham-se a “cones” ou “estróbilos”. Outra característica das coníferas é terem folhas em formato de agulha, ou a mais especificamente acículas, como as de pinus, semelhante a escamas, para Gonzaga (2006). Além disso, a presença dessas espécies conforme o autor vem desde o período carbonífero ou Era Paleozoica, ainda presente de forma significativa nas grandes florestas do Hemisfério Norte, onde recebem o nome de *softwoods* (madeiras macias), sendo intensamente exploradas para o consumo mundial.

Na América do Sul, em especial no Brasil, pode-se destacar as pinus e a araucária. A gimnosperma comum no país é o pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*), como pode-se ver na figura 10 abaixo, também conhecida como pinheiro-brasileiro, onde já teve destaque econômico, conforme Valle *et al.*, (2012) e Gonzaga (2006), essa espécie de Araucária tem

ocorrência nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, recebendo nomes vulgares de pinheirinho, pinho-bravo ou pinheiro-do-mato, vinda de duas famílias de coníferas nativas: a Podocarpaceae e Araucariaceae, atualmente, com pouca expressão nas florestas em decorrência da vertiginosa exploração.

Figura 10: Madeira do grupo botânico Gimnosperma: Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*)



Fonte: <https://www.agoraparana.com.br/geral/pinheiro-do-parana-esta-ameacado-em-extincao/>

2.2.1.2 Angiospermas

O termo vem do grego: *aggeoin*, que significa “vaso” ou “urna” e *sperma*, sendo a “semente”, para Valle *et al.*, (2012), esse grupo é o mais evoluído por apresentar raízes (tuberosas na maioria das vezes), caules, folhas latifoliadas (folhas largas), flores e frutos. Os frutos, por sua vez, desempenham o papel de proteção das sementes, fornecendo a essas as substâncias necessárias para sua nutrição, podendo enriquecer o solo onde essas sementes poderão germinar. Outra divisão pode ser estabelecida através do número de cotilédones existentes nas sementes, para Gonzaga (2006), essas são mais modernas e surgem no período cretáceo, dividindo-se em:

- Monocotiledôneas: Segundo Gonzaga (2006), são aquelas a qual o fruto não apresenta semente dividida. Em que apenas a família das Palmaceae tem produção de troncos arbóreos, ou seja, coqueiros, árvores onde não se tem como fim a madeira propriamente.

Conforme Correia (2009), exemplos como bambus e palmeiras possuem madeira bastante fibrosa e com baixa resistência estrutural.

- Dicotiledôneas: Já essas possuem sementes divididas em dois cotilédones, são conhecidas como “folhosas”, tendo perda de folhas entre as estações do outono e inverno. Gonzaga (2006) ainda diz que no Brasil esse grupo corresponde a quase totalidade da produção madeireira, com várias espécies. Aos olhos do autor ao mesmo tempo que se trata de uma riqueza dada a diversidade de espécies, é uma oportunidade ao fomento da devastação de grandes áreas florestais, em busca de espécies com pouca disponibilidade e grande demanda no comércio. O termo a essas espécies de árvores, no Hemisfério Norte é *hardwoods* ou madeiras duras. Correia (2009), aponta que o grupo das dicotiledôneas compreende não somente madeiras duras de alta qualidade, mas também aquelas de qualidade inferior, como exemplo: carvalhos, faias e choupo. Pois, de forma geral, o crescimento dessas espécies é lento, datando de aproximadamente 100 anos para alcançar a maturação, possuem características benéficas a sua durabilidade, sendo mais caras, por serem naturais de regiões tropicais. A figura 11 abaixo, traz um exemplo de dicotiledônea:

Figura 11: Grupo botânico Angiosperma monocotiledôneas: Carvalho-alvarinho *Quercus robus* L.



Fonte: <https://brigadadafloresta.abae.pt/carvalho-alvarinho/>

2.2.1.3 Classificação comercial da madeira

Essa classificação, para Gonzaga (2006), diferente da realizada pela botânica, leva em conta a linguagem informal realizada pelos trabalhadores em carpintaria, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil, são elas: Madeira de pinho; Madeira de lei; Madeira de qualidade dura e Madeira de qualidade macia.

- I Madeira de Pinho: O autor retrata essa de forma particular devido a singularidade de sua anatomia, por apresentar traqueídeos fibrosos, de paredes mais espessas na parte do lenho tardio e mais fino no lenho inicial. Apresentando resinas (breu), na faixa do lenho tardio, todas essas características anatômicas tornam as madeiras coníferas “doces” ao corte, ou seja, mais fácil no processo de manipulação e trabalho, geralmente são mais estáveis, não empenam com facilidade, mais fácil no processo de cortar e pregar.
- II Madeira de Lei: Gonzaga (2006) explica que historicamente esse termo vem do Brasil Colônia, por terem destino estratégico na construção naval, sendo assim protegidas por lei ou como “ordenações do reino”. Dentro desse subgrupo ainda existe a distinção de madeiras nobres, essas madeiras nobres apresentariam beleza distinta em cor e figura de face, excelente estabilidade e trabalhabilidade, geralmente sendo destinadas a uso em esculturas e móveis finos e acabamentos de interiores de iates, por exemplo. Algumas das madeiras nobres que se pode destacar são:
 - Jacarandá-da-bahia – *Dalbergia nigra*;
 - Pau-brasil (ou Pernambuco) – *Caesalpinia echinata*;
 - Mogno-brasileiro – *Swietenia macrophylla*.
- III Madeira de Qualidade Dura: Essas para Pfeil W. (2003) são aquelas que vem de árvores frondosas do grupo (dicotiledôneas, dentro das Angiospermas, que possuem folhagem achatadas e largas), essas espécies possuem crescimento lento, são exemplos de madeira duras: a Peroba, ipê, aroeira e outras. Podem ser também conhecidas como madeira de lei a depender de sua qualidade elevada.
- IV Madeira de Qualidade Macia: Pfeil W. (2003) explica que essas são provenientes de árvores coníferas (de classe Gimnosperma, com folhagem aciculada ou com escamas, com sementes em formato cônico), tem seu crescimento mais rápido e são exemplos desse grupo: pinheiro-do-paraná e

pinheiro-bravo. Essas árvores diferem das de qualidade dura por terem folhagem verde ao longo de todo o ano, enquanto as de folhagem frondosa perdem suas folhas no outono.

2.2.2 Estrutura de crescimento das madeiras

O entendimento da estrutura de crescimento da madeira só é possível quando se investiga a fisiologia das árvores, essa é na Biologia a responsável por descrever as funções orgânicas, processos ou atividades vitais como o crescimento, o ato de nutrição e o processo de respiração.

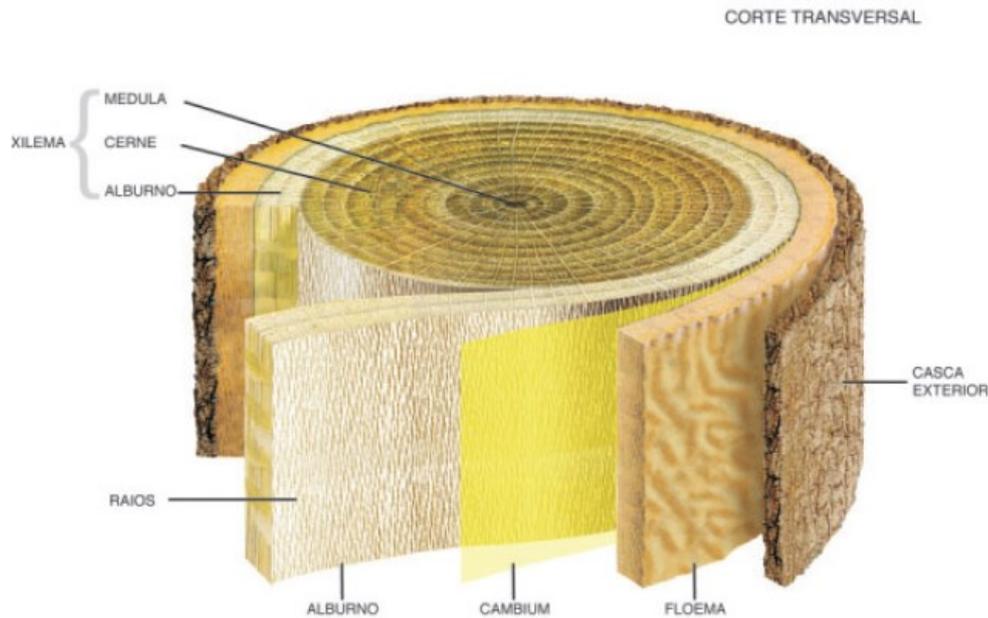
2.2.2.1 Estrutura macroscópica da madeira

Valle *et al.*, (2012), Pfeil W. (2003) e Gonzaga (2006) retratam que a árvore nada mais é que um produto da construção civil que tem seu crescimento verticalmente inicialmente, como uma adição de cones superpostos de camadas mais antigas. Transversal em corte o seu tronco apresentará camadas em forma de anéis de crescimento, isso se deve ao fato de os anéis apresentarem células em seu início e fim de camada com características de fácil identificação, podendo-se assim identificar anualmente essas camadas. Em climas temperados Gonzaga (2006) explica que esses anéis “anuais” se apresentam de duas formas:

- I Lenho inicial ou primaveril, sendo mais largos e com coloração mais clara;
- II Lenho do tipo tardio, ou lenho outonal, sendo mais compacto e rijos.

O termo de anéis de crescimentos pode não ser o mais adequado, para Gonzaga (2006), pela planta tem a capacidade de produzir falsos anéis em razão de estímulos externos fora da época de crescimento, em virtude de estímulos verânicos ou de chuvas em outono. No Brasil, por exemplo, chamar de “primaveris” ou de “outonais” não se adequa devido a sua variação climática. O autor ainda orienta a chamá-los por lenho inicial ou de início de calor, chuvas e ventos, que possibilitam o vergar das plantas, bombeando água do tronco para a parte superior da árvore, para lenho tardio, por ser de tempo mais lento ou calmo, em que se cai as folhas e se tem pouca chuva, tendo um crescimento transversal, mas não vertical, abaixo pode-se visualizar cada estrutura dessa anatomia do tronco, na figura 12:

Figura 12: Desenho esquemático da anatomia de um tronco de uma árvore



Os desenhos neste manual são apenas ilustrativos, não havendo qualquer rigor de escala [N. A.].

Fonte: Gonzaga (2006)

A seção transversal de um tronco de cone revela as seguintes camadas:

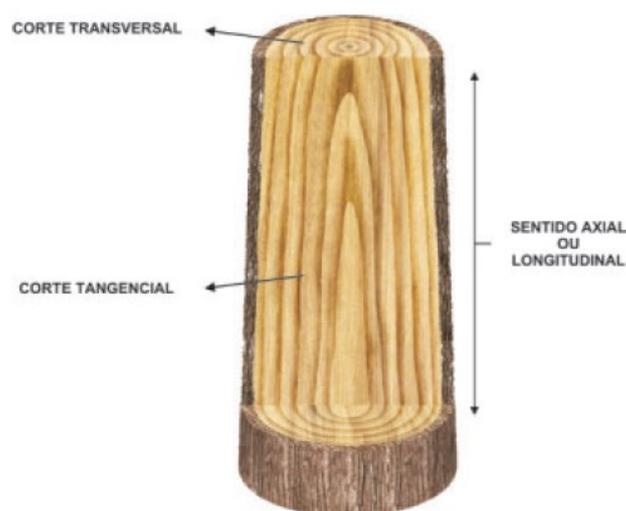
- I Casca externa: Correia (2009), aponta como a camada mais externa do tronco, sendo uma capa de espessura irregular, com duas seções distintas, sendo essas: a camada epidérmica, predominantemente formada por células mortas com função de proteção do lenho;
- II Floema: conhecida como casca interior para autores como Correia (2009), essa camada para Gonzaga (2006), por sua vez é formado por células vivas desempenha duplo papel, além de proteção, esse ainda tem atuação na condução da seiva elaborada pelas folhas, que permite o crescimento da árvore, diante desse processo de crescimento a casca tem seu processo de renovação feito;
- III Cambium/câmbio: é uma película de espessura microscópica, desempenha a função de crescimento da planta de forma diametral do tronco, Correia (2009), denomina essa camada de tecido merismático, por estar em processo de transformação celular;
- IV Xilema: é basicamente a madeira propriamente dita, para Gonzaga (2006), essa se divide em: alburno, brancal ou borne, para Valle *et al.*, (2012), o alburno é formado pela parcela mais jovem da madeira, sendo mais permeável, com menor

densidade, podendo ser mais suscetível a ataques de xilófagos ou fungos, apresentando menor resistência mecânica;

- V Cerne ou durâmen: Essa camada, por sua vez apresenta para Correia (2009) a camada mais interna, sendo constituído por tecido morto, que não possui função circulatória de substâncias. O autor ainda aponta que esse ao longo do tempo vai sendo engrossado com o passar das transformações que ocorrem nas células do borne, ou seja, com o espessamento da parede celular, com impregnações de algumas substâncias como: lenhina, resina, taninos e corantes. Assim, o cerne apresentará maior densidade, estabilidade e resistência frente a humidade ou de agentes biológicos, passando a ter função de sustentar o tronco. Gonzaga (2006), entretanto, aponta que quanto mais contrastado for o cerne, mais fraco e vulnerável será o alburno;
- VI Medula: Segundo Pfeil W. (2003) é um tecido macio, onde se verifica os primeiros crescimentos da madeira, nos ramos novos.

O processo de corte ainda pode se dá de forma longitudinalmente em relação ao tronco, conforme Gonzaga (2006), no processo de obtenção das tábuas é comum o processo de seccionamento dos anéis de crescimentos, formando os desenhos de cones nas faces das tábuas. Chamando esse corte de tangencial, conforme figura 13:

Figura 13: Esquema de corte tangencial de um tronco, na produção de tábuas



Fonte: Gonzaga (2006)

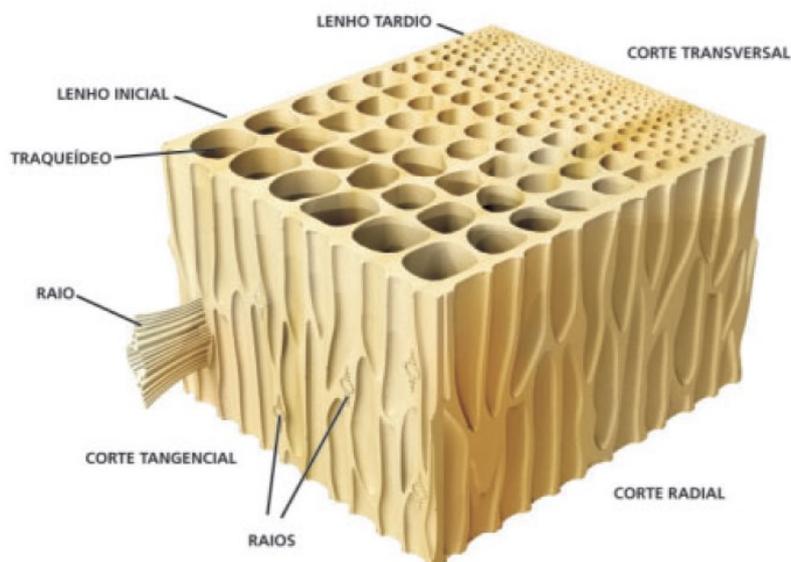
2.2.2.2 Estrutura microscópica da madeira

A complexidade microscópica da madeira e de seu heterogêneo comportamento físico-mecânico, segundo Correia (2009) pode ser entendida por meio do estudo das estruturas fibroanatômicas. Podendo ter leves variações entre espécies, pode-se considerar dois grupos com arranjos distintos, são esses: as Resinosas e as Folhosas. O autor esclarece que as Resinosas é um grupo que se constitui de 90 a 95% por células alongadas, chamadas de traqueídeos, tendo essas largura entre 2 a 5 mm e diâmetro de 10 a 50 μm , tendo formato afiado ou plano em seus extremos, essas estruturas podem assumir função de condução em época de crescimento ou de sustentação em fins de estação. Já as fibras das Folhosas possuem parede com maior espessura e de menor diâmetro no interior do que os traqueídeos das Resinosas. Por sua vez, essas assumem papel de suporte mecânico, formando um denso conjunto de fibras longitudinalmente distribuído, tem formato extremo pontiagudo e fechado.

Já autores como Gonzaga (2006) dispõe essas diferenças através da botânica pela distinção entre Coníferas e Folhosas, são essas:

- I Coníferas (Gimnosperma): Gonzaga (2006) explica que essas são mais simples em anatomia. Possuindo em seu xilema em quase 90% dele o traqueídeos, sendo as Coníferas as mesmas características microscópicas que as Resinosas descritas pelo Correia (2009). O autor ainda traz um desenho esquemático dessas particularidades microestruturas das coníferas, conforme figura 14, a seguir:

Figura 14: Desenho esquemático da anatomia de uma conífera (não pinácea)



Fonte: Gonzaga (2006)

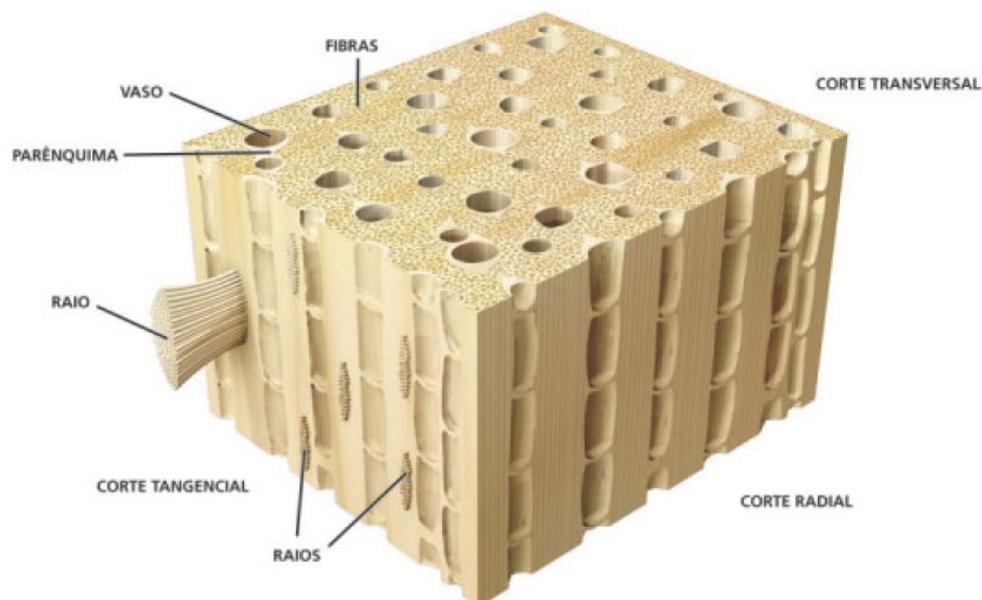
Em espécies como as araucárias essas estruturas dos traqueídeos chegam a medir até seis milímetros de comprimento. Sendo devido a esse fato consideradas árvores de fibras longas, sendo fornecedora de matéria-prima como papéis mais finos e de alta resistência.

II Folhosas (Angiospermas): As árvores presentes nesse grupo, para Gonzaga (2006), podem possuir significativas diferenças, quando se comparado ao das coníferas, possuindo uma especialidade de funções a cada microestrutura do seu tecido, de forma breve tem-se:

- Vasos/poros: células tubulares responsáveis por conduzir a seiva bruta;
- Fibras: células longas de parede espessa que tem função de suporte e sustentação;
- Parênquima axial: tecido de célula de parede de menor espessura, cuja função é ter duas formas de distribuição de seiva;
- Parênquima paratraqueal: associação de poros;
- Parênquima apotraqueal: é afastado dos vasos;
- Parênquima radial: função de armazenamento, transformação e condução transversal da seiva elaborada.

Todas essas microestruturas do tecido podem ser observadas com maior clareza na figura 15, abaixo, onde se analisa e observa as diferenças e particularidades entre s tecidos das coníferas e das folhosas:

Figura 15: Desenho esquemático da anatomia de uma folhosa



Fonte: Gonzaga (2006)

Algumas características como as fibras, cores e manchas e contrastes dos tecidos são apresentados por Gonzaga (2006), para as fibras, quanto mais fibrosas as espécies maiores será a contribuição para um aspecto mais bruto, mesmo em processo de aplainamento as tábuas dessas produções podem apresentar aspecto áspero na superfície, mesmo se aplainada e lixada, são exemplos de espécies com fibras dessa natureza:

- Angelim vermelho – *Dinizia excelsa*;
- Araçá – *Eugenia sp.*;
- Peroba-rosa – *Aspidosperma sp.*

Já a respeito dos contrastes entre os tecidos, em especial na família das leguminosas, que podem apresentar uma diferença clara entre a separação dos tecidos fibrosos e o parênquima axial, que de forma geral são mais porosos que o primeiro, em que esse possui cor escura e de aparência mais rígida. Essas diferenças de contraste, mais presentes próximos aos anéis de crescimento são visíveis em espécies como:

- Acapu-igapó – *Clathrotropis nítida*;
- Acapu – *Vouacapoua americana*;
- Sucupiras – *Diploptropis sp e Bowdichia*.

2.2.2.3 Estrutura molecular da madeira

Pfeil W. (2003) explica que a madeira é resultado de substâncias orgânicas, sendo os principais elementos que se pode encontrar nela, na tabela 5, a seguir:

Tabela 5: Desenho esquemático da anatomia de uma folhosa

Elemento	Porcentagem (%)
Carbono	50%
Oxigênio	44%
Hidrogênio	6%

Fonte: adaptado de YOUNG *et al.*, (1998) apud PFEIL W. (2003)

A madeira é composta predominantemente por celulose, aproximadamente 50%, que formam os filamentos que reforçam as paredes das fibras longitudinais, Pfeil W. (2003) ainda cita outros dois componentes importantes, as hemiceluloses e a lignina, uma constitui de 20 a 25% a madeira e a outra de 20 a 30%, respectivamente, sendo essa estrutura ainda composta de 0,2 a 1% de sais minerais, esses que são os alimentos dos tecidos vivos e são os responsáveis

na formação da cinza no ato da queima. As espécies ainda podem apresentar nas cavidades das suas células materiais tais como: resinas, óleos e ceras.

2.2.3 Propriedades físicas das madeiras

O estudo das propriedades físicas da madeira é de suma importância, pois essas propriedades têm a capacidade de interferir diretamente no desempenho e resistência das madeiras usadas estruturalmente, conforme Valle *et al.*, (2012).

Entre os fatores que podem ter essa influência nas características físicas tem-se:

- I A espécie da madeira;
- II Solo e clima da região de origem;
- III Fisiologia da espécie;
- IV Anatomia do tecido lenhoso;
- V Variações das composições químicas.

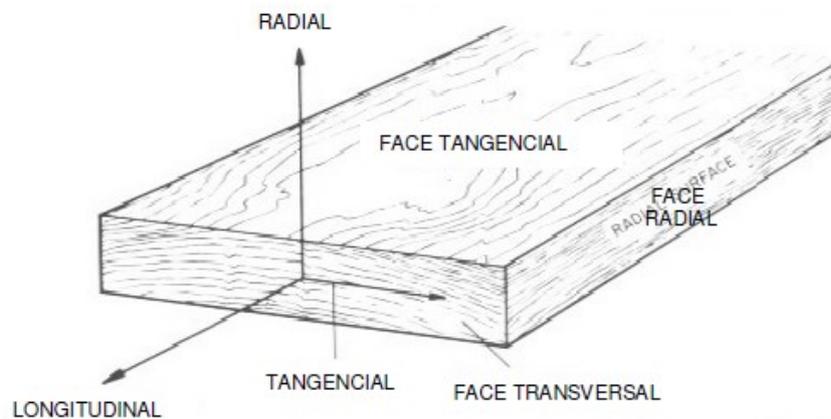
Visando o uso da madeira como um material da construção é importante ter conhecimento das seguintes características físicas:

- I Umidade;
- II Densidade;
- III Retratibilidade;
- IV Resistência a ação do fogo;
- V Durabilidade;
- VI Resistência química.

2.2.3.1 Anisotropia da madeira

Entre as características físicas que vale destaque, tem-se a anisotropia da madeira, por se tratar de um material ortotrópico, por possuir comportamento distinto a depender da direção que a fibra se orienta, variando suas propriedades em seus três eixos perpendiculares, como explicam Valle *et al.*, (2012) e Pfeil W. (2003), essas são as direções longitudinal, radial e tangencial, é importante frisar que é importante diferenciar as propriedades na direção longitudinal, ou seja, o sentido das fibras principais. Assim como na figura 16:

Figura 16: Eixos principais das madeiras



Fonte: Wilcox *et al.* (1991) apud Valle *et al.*, (2012)

2.2.3.2 Umidade

A umidade tem papel de elevada significância nas propriedades da madeira, segundo Pfeil W. (2003). Pode-se determinar o grau de umidade U como o peso de água contido na madeira, expresso por meio do peso da madeira seca através de estufa m_s , até que se alcance a estabilidade, conforme a equação 1, a seguir:

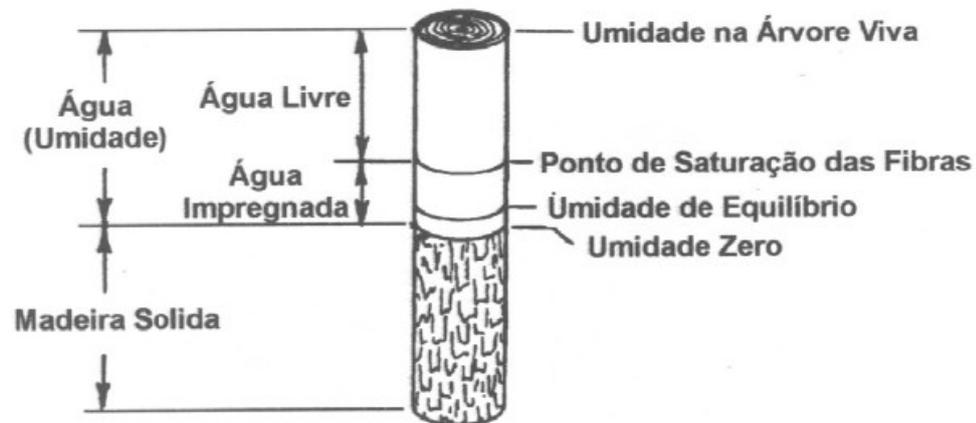
$$U_{\%} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde, m_i é o peso inicial da peça de madeira.

A norma brasileira para projetos de estrutura de madeira, ABNT NBR 7190-3 (2022), apresenta detalhadamente um roteiro do processo de ensaio para uma amostra de madeira, na determinação de sua umidade.

A água assume uma grande relevância para o crescimento e desenvolvimento da árvore, podendo no caso de madeiras verdes ser uma porção significativa dessa constituição, para Valle *et al.*, (2012). A água presente na constituição da madeira se apresenta de duas formas: como água livre, estando em cavidades denominadas (lumens) e como água impregnada, contida em paredes celulares. Assim como na figura 17, a seguir, onde se apresenta um esquema das concentrações de água na madeira:

Figura 17: Umidade das madeiras

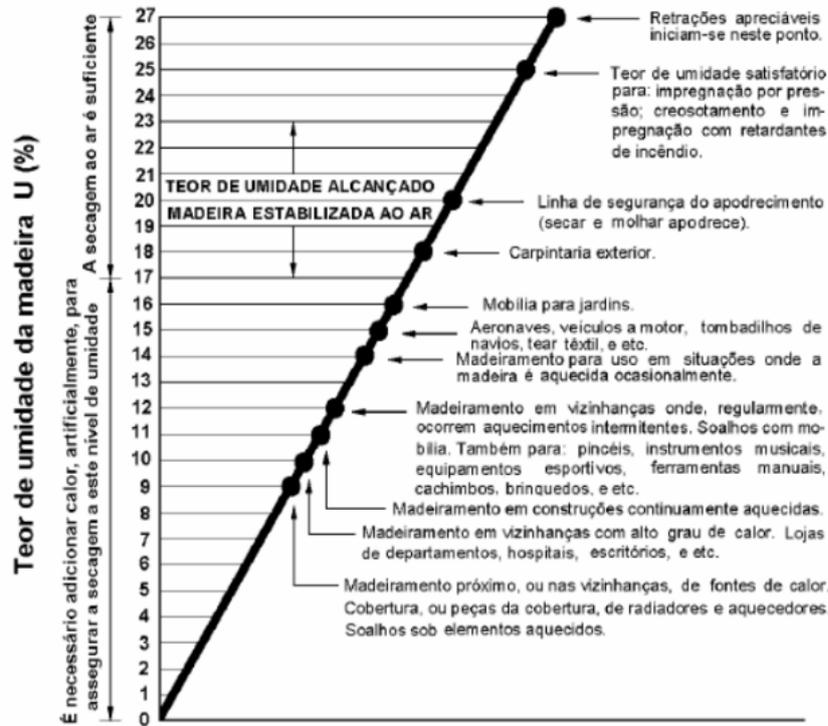


Fonte: Ritter (1990) apud Valle *et al.*, (2012)

Assim que realizado o processo de corte da madeira, uma das primeiras perdas de água que é notória é da água livre, presente no seu interior, para daí começar a perder a água impregnada, esse processo de perda sessa quando a umidade da madeira entra em processo de equilíbrio com a umidade e temperatura do ambiente em que ela está presente. O ponto de saturação, para Valle *et al.*, (2012), seria aquele onde o teor de umidade que se relaciona a água livre seja o mínimo e de água impregnada o máximo, alcançando assim o ponto de saturação das fibras (PSF). A norma brasileira estabelece a umidade de 12% como referência, para a realização de ensaios, tendo em vista a aplicação estrutural e classificação das espécies.

O teor de umidade de equilíbrio ainda pode variar em diversos ambientes a depender do local onde se aplica, conforme Dinwoodie (1981) apud Hara (2011), na figura 18:

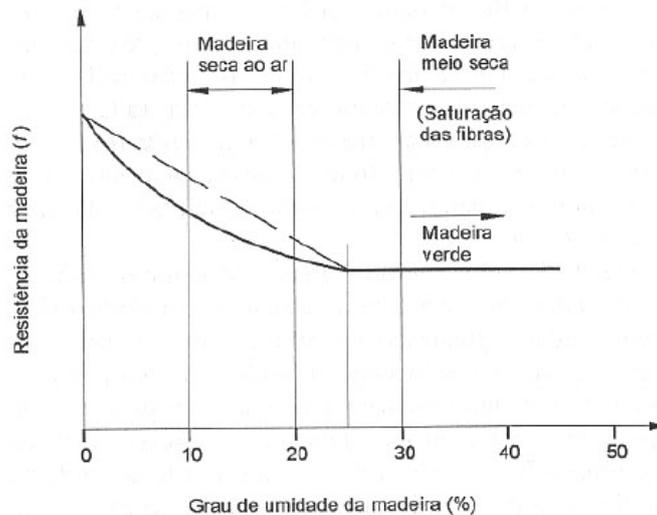
Figura 18: Teor de umidade de equilíbrio da madeira em ambientes



Fonte: Dinwoodie (1981) apud Hara (2011)

Outra correlação ainda pode ser feita através do teor de umidade, é a que se pode determinar através da figura 19, apresentada por Pfeil W. (2003), que estabelece essa relação com a resistência da madeira. Por meio da análise pode-se inferir que não há variação de resistência da madeira a partir do ponto PSF, mesmo que exista acréscimo de umidade.

Figura 19: Variação de Resistência da Madeira com Grau de Umidade



Fonte: Pfeil W. (2003)

A norma brasileira para projetos de estruturas de madeira estabelece ainda uma classe de umidade específica de referência, essa tabela auxilia no ajuste das propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais inseridas, conforme ABNT NBR 7190-1 (2022), segundo tabela 6, abaixo:

Tabela 6: Classe de Umidade

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio máxima da madeira U_{eq}
1	$U_{amb} \leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: ADAPTADO DA ABNT NBR 7190-1 (2022)

A condição-padrão de correção de umidade, de acordo com a ABNT NBR 7190-1 (2022) é de 12%, que corresponde à classe 1 de umidade, para a determinação de resistência e rigidez da madeira.

2.2.3.3 Densidade

A essa propriedade física a norma brasileira estabelece algumas diretrizes de cálculo para a sua determinação, sendo caracterizada a densidade aparente, essa pode ser definida como a razão entre massa e o volume com teor de umidade de 12%, expressos na ABNT NBR 7190-3 (2022), sendo expresso pela equação 2, abaixo:

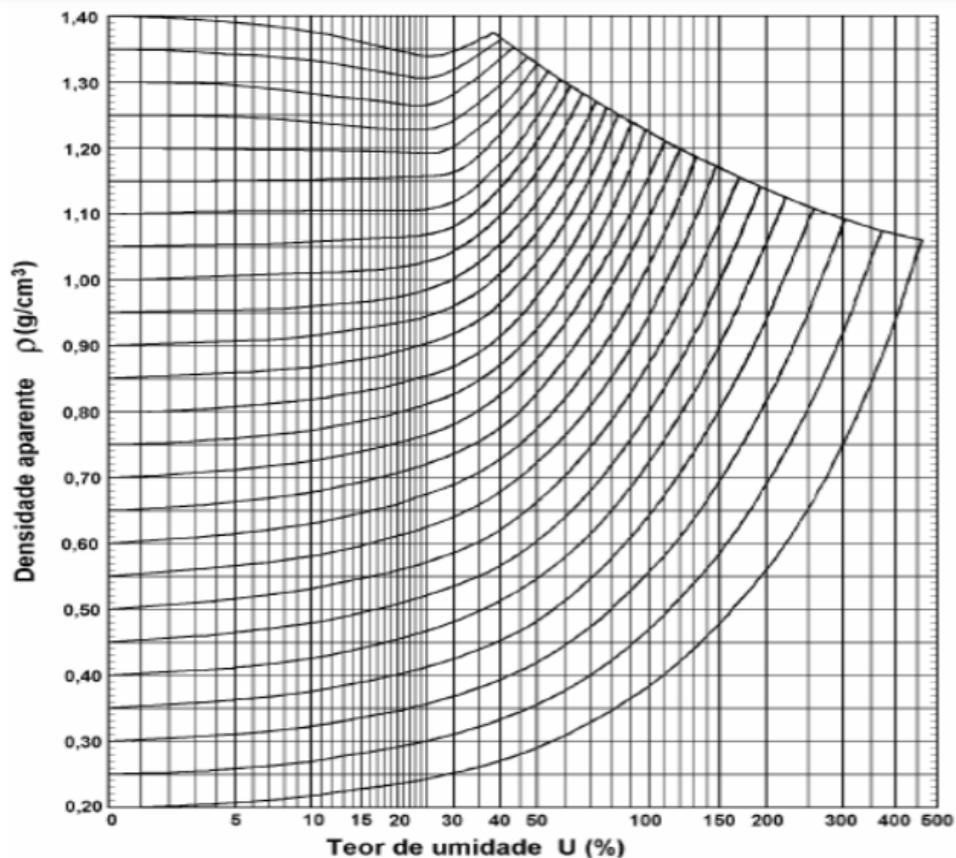
$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (2)$$

Onde:

m_{12} ; é a massa do corpo de prova a 12% de umidade, dados em quilogramas (kg);

V_{12} ; é o volume do corpo de prova a 12% de umidade, em metro cúbico (m³).

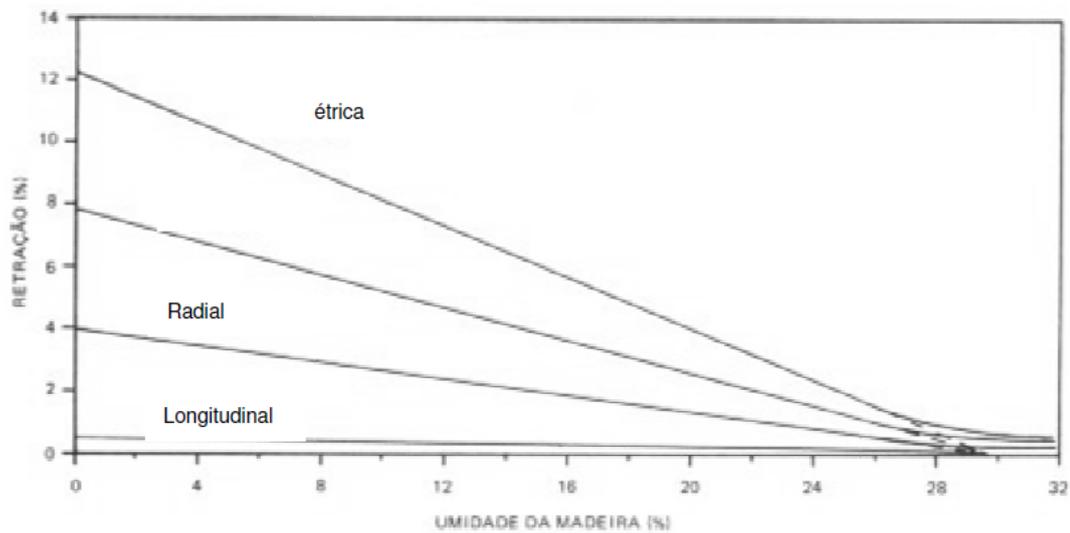
Segundo estudos de Kollmann e CÔTÊ (1984) apud Hara (2011), é apresentado o diagrama de Kollmann, que representa a variação de densidade aparente da madeira com o seu teor de umidade, através da análise desse diagrama ainda é possível aferir que a densidade aparente de determinadas espécies de madeira é maior nas madeiras de baixa densidade, quanto nas de alta densidade, conforme será apresentado na figura 20:

Figura 20: Diagrama de Kollmann

Fonte: Kollmann e Côtê (1984) apud Hara (2011)

2.2.3.4 Retratabilidade/ Retração da madeira

Pfeil W. (2003) explica que as madeiras passam pelo processo de retração ou inchamento com a variação do teor de umidade, entre 0% a 30%, onde ocorre o ponto de saturação das fibras, sendo essa variação dimensional praticamente linear, sendo a tangencial a mais importante delas. Valle *et al.*, (2012), explica na figura 21, abaixo, que existe uma sequência quando se fala de retração, em ordem decrescente tem-se a retração tangencial, com aproximadamente 10% de variação dimensional, que podem ocasionar em torção na peça, após tem a retração radial com 6% de variação, chega a gerar rachaduras nas peças de madeira e por último a retração longitudinal que possui cerca de 0,5% de variação dimensional.

Figura 21: Retração da madeira

Fonte: Valle *et al.*, (2012)

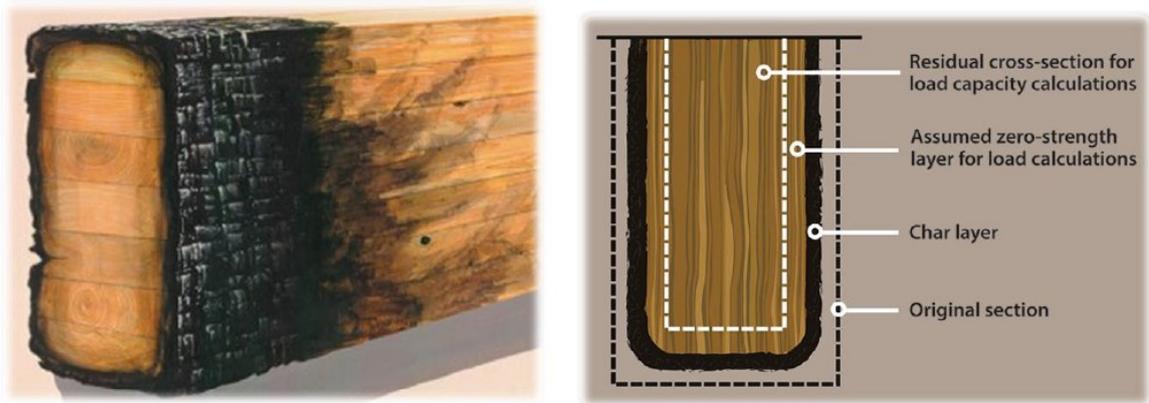
Esse processo de alteração das dimensões pode ocorrer de forma inversa, quando por exemplo a peça de madeira fica exposta a elevador teor de umidade, em que ocorrerá a absorção dessa água pelas dimensões e consequentemente o aumento dessas.

2.2.3.5 Resistência ao fogo

Valle *et al.*, (2012), esclarece que há um grande equívoco quanto a percepção da resistência da madeira ao fogo, sendo considerado por baixa resistência, entretanto o desconhecimento de suas propriedades em altas temperaturas de resistir a degradação pelo fogo acaba por descartar um material que quando bem dimensionado pode, segundo o autor ter resistência superior à de alguns materiais estruturais.

As peças de madeiras, para Guilherme (2019) e Valle *et al.*, (2012), quando em contato com o fogo torna-se um propagador das chamas, contudo com o passar do tempo a camada mais externa após passar pelo processo de carbonização acaba por se tornar um isolante térmico, conseguindo assim reter o calor e limitando a propagação ainda mais pelas demais camadas da peça, a região intermediária entre a porção carbonizada e a que se mantém íntegra é desconsiderada na resistência, assim como se visualiza na figura 22 que mostra esse comportamento ao longo das camadas da peça da madeira, diferente de outros materiais, como a exemplo de estruturas metálica a resistência mecânica acaba por ser diretamente afetada, a seguir é mostrada as camadas da madeira, após passagem pelo processo de carbonização.

Figura 22: Comportamento da madeira em contato com o fogo



Fonte: GUILHERME (2019)

Um fato curioso, exposto por Valle *et al.*, (2012), é que devido ao conhecimento dessas características da madeira, as normas preveem o seu comportamento em incêndios optam pelo uso de madeira nas estruturas devido a entender que mesmo após a queima ainda exista uma parcela da resistência da madeira íntegra que desempenhará o papel de resistência mecânica, fato que faz com que esses materiais sejam perfeitamente previsíveis.

2.2.3.6 Durabilidade

Essa característica se relaciona a biodeterioração da madeira, que é um material orgânico, em que há fatores que os beneficia ou não, são eles o tipo de espécie e suas características anatômicas, a região onde se encontra aquela espécie e se é retirada a peça da madeira, devido as diversas diferença entre cerne e alburno pode-se ter um material com maior propensão a ataques biológicos, fato que faz com que sejam cada vez mais difundidos o uso de tratamento preventivos afim de mitigar essa vulnerabilidade e prolongar a durabilidade dessa peça, segundo Valle *et al.*, (2012) e a ABNT NBR 7190-1 (2022).

2.2.3.7 Resistência Química

A madeira de forma geral apresenta bom desempenho frente a ataques químicos, para Valle *et al.*, (2012). Em alguns casos, seu uso na indústria acaba sendo opção devido a sua resistência, entretanto, em condições de exposição química, no caso de bases, por exemplo, essa pode reagir com a composição química do tecido da peça, principalmente com a lignina e a hemicelulose, formando manchas esbranquiçadas sobre a peça de madeira.

2.2.4 Defeitos das madeiras

Os defeitos podem comumente fazer parte de uma peça de madeira, devido ao seu caráter biológico, ela carrega consigo o material genético que determina suas características físicas e mecânicas, Valle *et al.*, (2012). As peças de madeira, que são materiais usados na construção civil podem apresentar diversos defeitos, esses podem ser em consequência de uma série de fatores, desde o processo de constituição do tronco ao processo de preparação da peça propriamente dita, segundo Pfeil W. (2003), alguns desses defeitos serão apresentados a seguir:

2.2.4.1 Nós

Esses defeitos, para Pfeil W. (2003), são originados nos pontos de encontro do tronco com um galho que ali existia. Durante o processo de abate esses galhos originam nós rígidos, entretanto com a morte desses galhos os nós gerados por esses acabam se tornando soltos. Esses por sua vez no processo de corte da peça de madeira podem deixar orifícios onde existia um nó, vale lembrar que as fibras longitudinais por onde encontram-se esses nós acabam por tendo desvios, o que impacta diretamente a resistência à tração da madeira naquele ponto.

Guilherme (2019) recomenda que quanto menor forem a presença desses nós nas peças de madeiras usadas na construção de maior qualidade será a mesma, bem como a dimensão desses nós também vale atenção, quanto menores forem, maior será a resistência dessa peça, A seguir a figura 23 apresentará esse defeito em uma peça de madeira.

Figura 23: Nós em uma peça de madeira

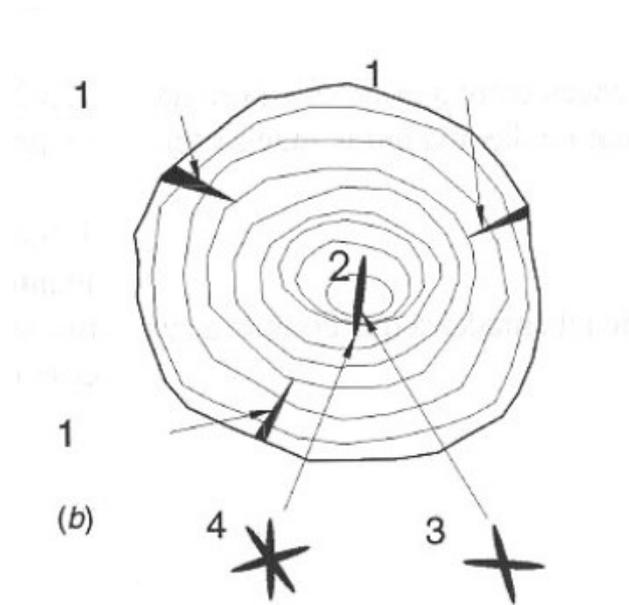


Fonte: Guilherme (2019)

2.2.4.2 Fendas

Esses defeitos são provenientes do processo acelerado de secagem das peças de madeira, que ocorre na sua superfície, esse tipo de fenda pode ser evitado quando se coloca a peça sob um processo de secagem mais lento, Pfeil W. (2003). Abaixo na figura 24, um exemplo de fenda:

Figura 24: Fendas em uma peça de madeira



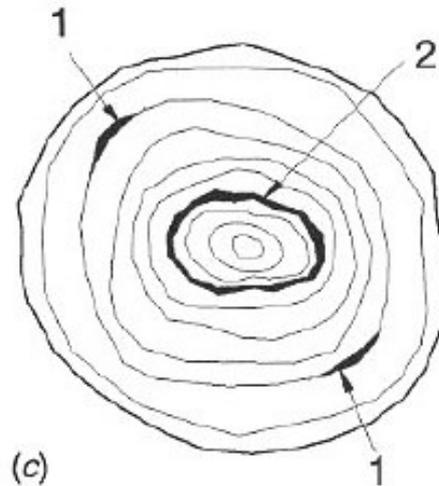
Fonte: Pfeil W. (2003)

Na figura apresentada pode-se distinguir as fendas conforme a posição que se encontram, sendo: 1 – fendas periféricas e 2 a 4 como fenda no cerne, vale frisar que a depender do diâmetro da peça de madeira essas fendas podem atravessar as seções.

2.2.4.3 Gretas ou Ventas

Esse defeito é caracterizado por separação entre anéis anuais ou anéis de crescimento, conforme Pfeil W. (2003), como é possível se identificar na figura 25 abaixo, esse tipo de imperfeição pode ser dado através de tensões internas devidas ao crescimento lateral da árvore, bem como pode ocorrer por fatores externos como a flexão em decorrência da ação do vento. Conforme a figura 25 apresenta, essas imperfeições podem ser: 1 – parcial ou do tipo 2 como gretas totais.

Figura 25: Gretas ou ventas em uma peça de madeira

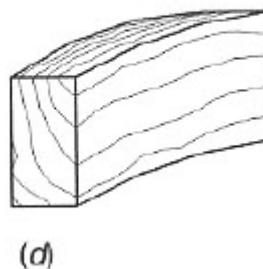


Fonte: Pfeil W. (2003)

2.2.4.4 Abaulamento

Imperfeições que acontecem com encurvamento na direção da largura da peça, assim como se identifica na figura 26:

Figura 26: Abaulamento em uma peça de madeira

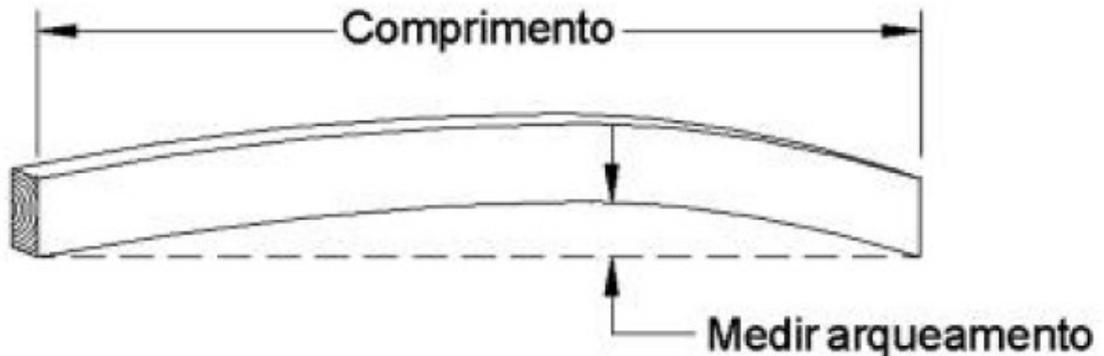


Fonte: Pfeil W. (2003)

2.2.4.5 Arqueamento

A essa imperfeição, segundo Pfeil W. (2003), ocorre através do encurtamento na direção longitudinal da peça de madeira, já Carreira (2003) define esse defeito como um empenamento em relação ao eixo de maior inércia da peça, a figura 27, abaixo demonstra como pode ser aferido o arqueamento.

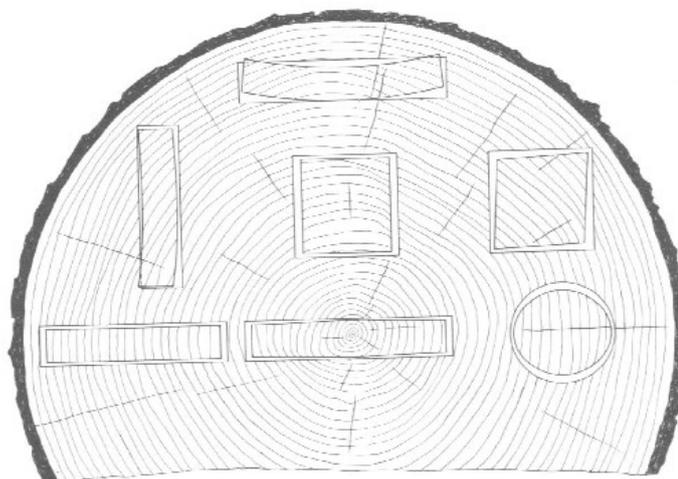
Figura 27: Arqueamento em uma peça de madeira



Fonte: ABNT NBR 7190-2 (2022)

A diminuição da presença de defeitos vale-se de um manejo bem realizado, produzindo assim uma madeira de grau satisfatório com homogeneidade de suas propriedades, assim afirma Valle *et al.*, (2012). Sendo fundamental a identificação botânica de árvores retiradas de florestas nativas, por possibilitar o estudo de suas características biofísicas, para assim gerar uma especificação técnica sólida desse material. O Brasil, diante a sua enorme diversidade de espécies florestais, é comum a troca entre espécies previstas em projeto, podendo gerar prejuízos quanto a deficiência no desempenho das construções, por serem materiais não semelhantes ao especificado em projeto, Valle *et al.*, (2012), ainda explica, que diante de seu caráter higroscópico, a madeira pode sofrer influência de fatores do ambiente onde estará aplicada, podendo gerar alterações graves de dimensões e deformações das peças, assim como ser visto na figura 28:

Figura 28: Características de retração e distorção de peças através da posição nos anéis de crescimento



Fonte: Valle *et al.*, (2012)

2.3 PRODUTOS E PROPRIEDADES MECANICAS DA MADEIRA

A essa etapa será dado o enfoque de forma direcionada aos produtos que se pode obter a madeira como material de grande versatilidade na construção, além de suas propriedades mecânicas, em que sua aptidão para uso pode ser vinculado a sua estrutura anatômica, para o material, determinar os esforços e propriedades mecânicas são essenciais para direcionamento ao emprego desses insumos e sua utilização nos esforços que esse acabará por sofrer, conforme esclarecem Hara (2011) e Valle *et al.*, (2012).

2.3.1 Tipos de madeiras e seu uso na construção civil

Pfeil W. (2003) demonstra as madeiras com maior uso nas construções, que podem ser classificadas por eles em dois grupos:

- Madeiras maciças:
 - Madeira bruta roliça;
 - Madeira falqueada;
 - Madeira Serrada.
- Madeiras Industrializadas:
 - Madeira compensada;
 - Madeira laminada e colada;
 - Madeira recomposta.

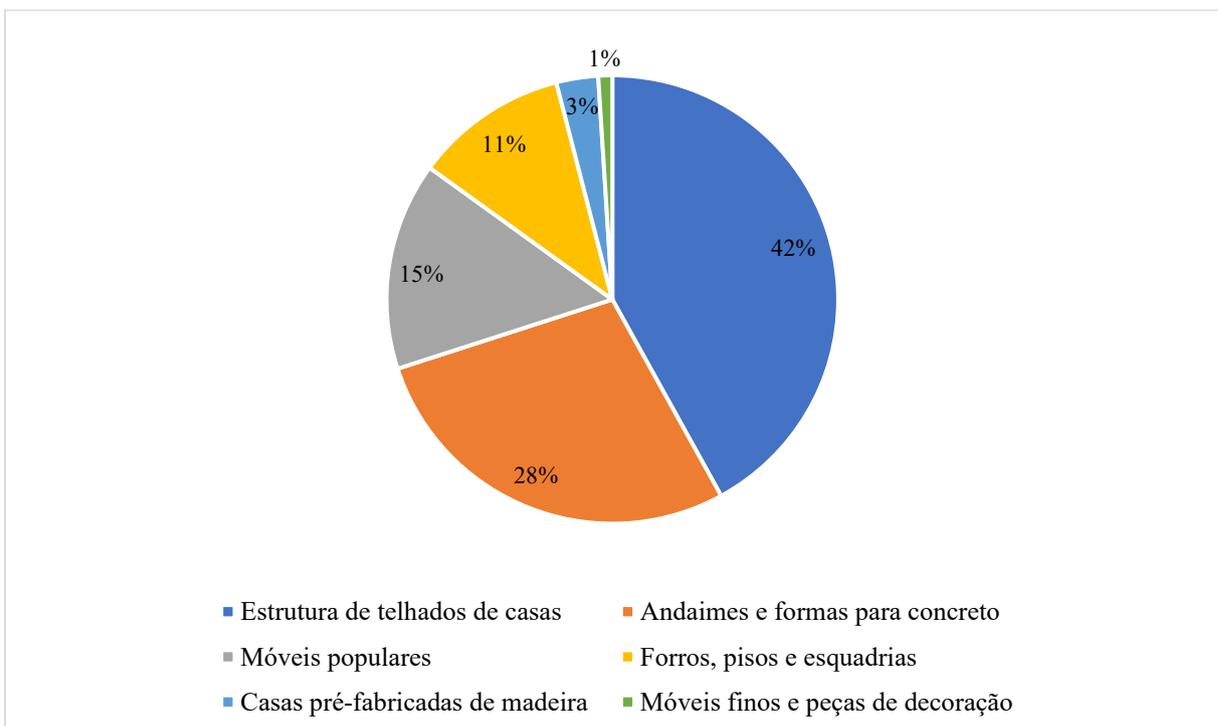
Essas peças de madeira, conforme esclarece Pfeil W. (2003) desempenham papéis distintos na construção. A madeira bruta é produzida com formato de tronco, podendo desempenhar função de estacas, escoras, postes, colunas e outros. Já a madeira falqueada pode ter as faces laterais aparadas a machado, com formato de seções maciças, também podendo ser usadas como estacas e até cortinas cravadas. A madeira serrada, por sua vez, é o produto estrutural mais usado comumente no comércio, seu processo de produção passa pelas serrarias, para realização do corte, que são padronizados e após esse serviço passam pelo período de secagem. Essas madeiras serradas além de mais suscetíveis a defeitos oriundos do processo de produção de peças, possuem ainda algumas limitações geométricas, tanto em comprimento quanto em seção transversal.

As madeiras industrializadas, pela ótica de Pfeil W. (2003) vem diante da demanda da madeira na construção, sendo desenvolvidos na Europa e América do Norte, com o objetivo de

gerar produtos com melhores propriedades mecânicas. A madeira compensada, sendo um dos primeiros em produção é formado pela colagem das lâminas finas, a madeira laminada e colada, por conseguinte, tem seu papel de protagonismo em países europeus e norte-americanos, seu processo de produção passa pela seleção da madeira e corte que variam de 15 a 50 mm de espessura e sendo colados sobre pressão, com foco em produção de vigas robustas. Por fim, as madeiras recompostas provenientes do desenvolvimento de peças criados a partir de flocos, lamelas ou partículas, em que passam pelo processo de prensagem e colagem, no desenvolvimento de vigas e painéis de grandes comprimentos.

SINDUSCON-SP (2003), explica os usos distintos que a madeira pode assumir como material na construção civil, pode ser usada de forma temporária: formas de concreto, andaimes e escoramentos, bem como também de forma definitiva, em estruturas de coberturas, esquadrias (portas e janelas), forros, pisos e em elementos estruturas como estacas e pilares. Sobral L. *et. al.*, (2002) traz informações quanto ao consumo de São Paulo pela matéria-prima proveniente da floresta amazônica, adquirindo a 6,1 milhões de metros cúbicos em toras de madeira, desse montante comprado cerca de 69% foram comercializados pelos depósitos de madeira, 21% destinados a indústria de produtos de madeira e apenas 10% foi consumido pela construção civil vertical de edificação, o autor ainda traz dados conformes o gráfico da figura 29, a seguir:

Figura 29: Uso de madeira amazônica no estado de São Paulo em 2001



Fonte: ADAPTADO Sobral L. *et. al.*, (2002)

É possível inferir das informações trazidas pelo gráfico de Sobral L. *et. al.*, (2002) que cerca de 42% da madeira consumida é destinada para uso em uso de coberturas, já aproximadamente 28% dessas é destinada para produção de andaimes e formas de concreto, sendo consumida pela indústria das construções verticais, esses dois somados já representam cerca de 70% do montante consumido pela construção civil.

Diante ao consumo que urge, conforme SINDUSCON-SP (2003), é fundamental que sejam implementadas medidas que auxiliem o uso sustentável e racional do material madeira, que contemplem desde a mitigação dos impactos ambientais através de sua exploração, bem como também a diminuição da produção de resíduos provenientes desse processo. SINDUSCON-SP (2003), tendo como foco este objetivo do uso da madeira, a madeira foi agrupada como:

- I Construção civil pesada interna: a esse estão agrupadas peças como vigas, caibros, pranchas e tábuas usadas em estruturas de cobertura;
- II Construção civil leve externa e leve interna estrutural: nesse grupo são reunidos pontalotes e tábuas de uso temporário, bem como peças secundárias de coberturas;
- III Construção civil leve interna decorativa: as peças de madeira serradas e beneficiadas desse agrupamento são para forros, painéis, lambris e possuem desenhos e cor decorativos;
- IV Construção civil leve interna de utilidade geral: assemelha ao grupo III, contudo não são de foco decorativos;
- V Construção civil leve, em esquadrias: A esse grupo tem-se madeiras serrada e beneficiadas como portas, venezianas, caixilhos e outros;
- VI Construção civil assoalhos domésticos: compreende a esse, peças como: tábuas corridas, tacos e tacões.

2.3.2 Madeiras serradas

2.3.2.1 Corte e desdobramento da madeira

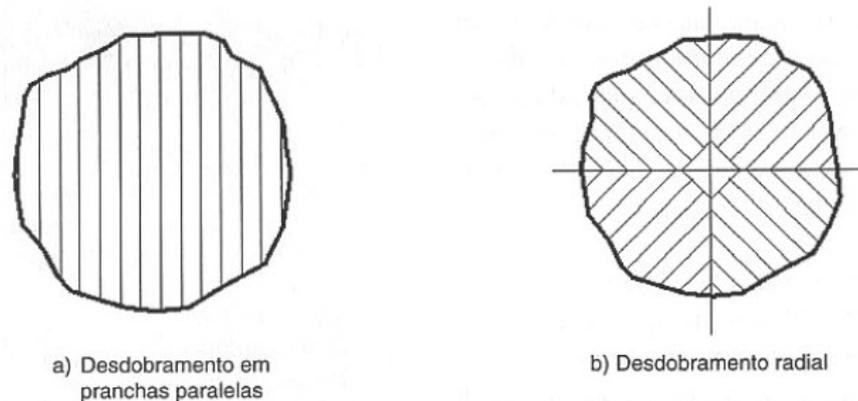
A necessidade de se classificar a madeira surge após o seu processo de utilização na construção civil, segundo Correia (2009), visando o desenvolvimento de um material seguro, e que o mesmo possua aplicações na construção que tenham desempenhos mecânicos e físicos compatíveis, para esse processo ser conseguido é fundamental que seja realizado o

gerenciamento através de classificação visual, essa classificação é válida e necessária diante da variedade de capacidades resistentes das peças, que ficam em função de sua classe de qualidade, esses processos normativos podem auxiliar essa classificação visual, em que são acertados as limitações de defeitos por classe, esses critérios avaliados consideram:

- Número de nós e suas localizações;
- Desvios das fibras ao longo da peça;
- O descaio ou cortes nos cantos;
- Empenos;
- Fendas.

Pfeil W. (2003) relata que essas peças serradas devem atingir de preferência a maturidade para serem abatidas, nessa fase o cerne ocupa grande parte do tronco em termos de proporção. A melhor época de abate é em estações secas, devido à baixa umidade das árvores, em que variam ainda no tempo de maturidade dessas, que podem atingir maturidade posterior a 100 anos de idade. O processo de corte ainda necessita ser realizado com antecedência, para a árvore não sofrer com os defeitos após a secagem, vale lembrar que em casos de corte em épocas chuvosas a orientação é que devem ser deixados secar as toras por algum período. Os troncos são cortados com equipamento especializado a serra de fita contínua, em que as espessuras de corte geralmente são conforme os padrões comerciais.

O processo de desdobramento pode ocorrer de duas formas, para Pfeil W. (2003), o primeiro com cortes que o dividem em lâminas paralelas de espessura uniforme, segundo a figura 30 em a), já a segunda forma, conforme mostra em b) é onde o tronco passa pela divisão em quatro partes, em que o processo de desdobramento ocorre nos sentidos radiais da peça, limitações de comprimento das peças ocorrem principalmente diante do transporte dessas peças.

Figura 30: Esquema de corte de troncos

Fonte: Pfeil W. (2003)

2.3.2.2 Processo de secagem da madeira

Pfeil W. (2003) orienta que para uso das peças serradas nas construções seja realizada anteriormente o processo de secagem das peças, a fim de se reduzir a umidade no interior do material, mesmo sendo uma técnica lenta, ainda a mais eficiente forma de realizá-lo é empilhando as peças e colocar separadores que possibilitem a passagem de vento, sendo esse ano variado em média para o tipo de madeira, para as macias podem chegar até 2 anos, para as madeiras duras esse tempo alcança de 2 a 3 anos.

2.3.2.3 Dimensões comerciais de peças de madeira serrada

Gonzaga (2006), explica que as dimensões mais utilizadas comercialmente em São Paulo e em parte da região Sul, conforme tabela 7 abaixo:

Tabela 7: Dimensões comerciais de peças de madeira	
PEÇA COMERCIAL	DIMENSÕES (cm)
Pranchão	15,0 x 23,0 / 10,0 x 20,0 / 7,5 x 23,0
Prancha	5,0 x 20,0 / 5,0 x 30,0 / 4,0 x 20,0 / 4,0 x 30,0
Viga	15,0 x 15,0 / 7,5 x 15,0 / 7,5 x 11,5 / 6,0 x 16,0 / 5,0 x 20,0
Barrote	8,0 x 16,00
Vigota	5,0 x 15,0 / 6,0 x 12,0
Caibro	6,0 x 8,0 / 5,0 x 7,5 / 5,0 x 7,0 / 5,0 x 6,0 / 5,0 x 10,0
Sarrafo	3,8 x 7,5 / 2,2 x 7,5 / 2,5 x 5,0 / 2,5 x 4,0

Tábua	2,5 x 30,0 / 2,5 x 15,0 / 2,5 x 20,0 / 2,5 x 25,0 / 2,5 x 10,0 / 1,0 x 15,0
Ripa	1,2 x 5,0 / 2,0 x 5,0 / 1,5 x 5,0 / 2,0 x 4,0
Cordão	1,5 x 1,5
Pontaletes	7,5 x 7,5 / 10,0 x 10,0 / 5,0 x 5,0

Fonte: Gonzaga (2006)

É necessário ressaltar que as peças, mesmo comercialmente podem variar de acordo com a região ou estado de análise, conforme SINDUSCON-SP (2003) em sua tabela 8, a seguir:

Tabela 8: Dimensões dos principais produtos de madeira serrada

Produtos	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (m)
Pranchão	Maior que 70	Maior que 200	Variável
Prancha	40 – 70	Maior que 200	Variável
Viga	Maior que 40	110 – 200	Variável
Vigota	40 – 80	80 – 110	Variável
Caibro	40 – 80	50 – 80	Variável
Tábua	10 – 40	Maior que 100	Variável
Sarrafo	20 – 40	20 – 100	Variável
Ripa	Menor que 20	Menor que 100	Variável
Dormente	160	220	2,00 – 5,60
	170	240	2,80 – 5,60
Pontaletes	75	75	Variável
Bloco	Variável	Variável	Variável

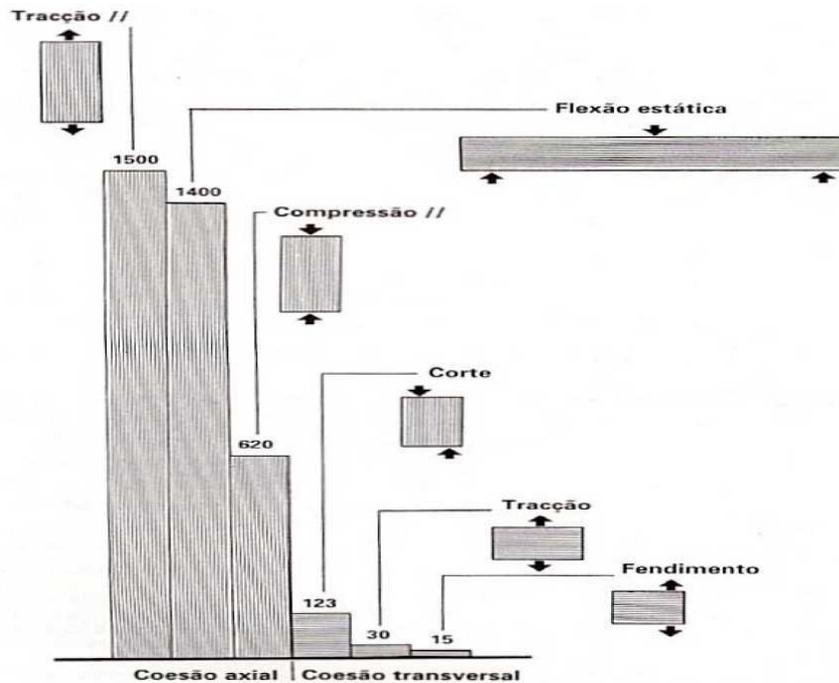
Fonte: SINDUSCON-SP (2003)

2.3.3 Propriedades mecânicas através de ensaios padronizados

A determinação das propriedades mecânicas da madeira é de fundamental relevância, pois na maioria das situações em que essa matéria-prima é utilizada, os esforços aos quais esse elemento será submetido devem ser de conhecimento de quem o manipula, Hara (2011), ainda expressa que através de um dimensionamento correto de diversos elementos estruturais, o conjunto estrutural desempenhará sua função estrutural com performance adequada.

Guilherme (2019), explica que propriedades mecânicas como a resistência à tração, bem como à compressão e ao corte, atrelados a fatores como tempo e temperatura podem variar se em presença de defeitos naturais a madeira, como nós, por exemplo, pois as fibras naquela região sofrerão desvio de orientação. O comportamento estrutural da madeira a partir de Correia (2009) dependerá dos tipos de solicitações, grandezas, duração e direção, sendo o último desses o mais determinante, por existir significativa variação dos valores dessas resistências para solicitação a depender do sentido de sua aplicação, quer seja paralelo ou perpendicular, a figura 31 demonstra o diagrama de forma a representar os valores de resistência da peça.

Figura 31: Diagrama de valores de resistência global da madeira, em função do esforço instalado.

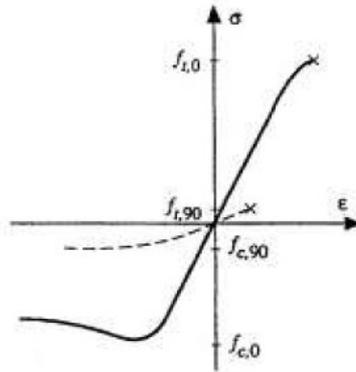


Fonte: Correia (2009)

2.3.3.1 Resistência à compressão paralela e perpendicular às fibras

Correia (2009) revela que quando a peça de madeira é solicitada à compressão na direção das fibras essa resistência acaba por ser 40% da resistência à tração paralela às fibras. A compressão da peça tem comportamento linear até atingir seu valor máximo de resistência, mas se mostra dúctil, por acabar originando um plano de corte em virtude do encurvamento das fibras, como na figura 32:

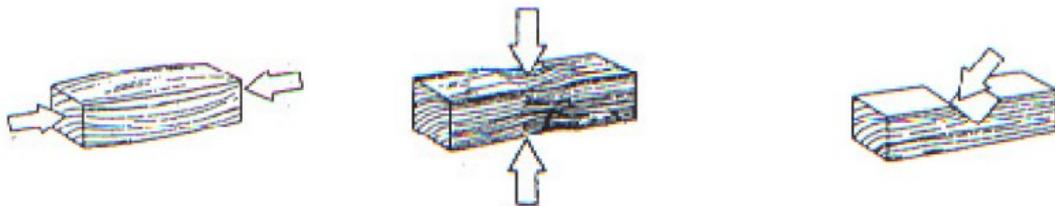
Figura 32: Curva tensão na direção das fibras e na direção perpendicular às fibras, em peça sem defeitos



Fonte: Correia (2009)

A compressão na madeira, segundo Valle *et al.*, (2012), ocorre em três direções, são elas: paralela, normal e inclinada em relação às fibras. A compressão paralela às fibras tende a encurtar as células da madeira ao longo de seu eixo, já a normal comprime essas células perpendicularmente. Por fim a inclinada pode ocorrer tanto paralela, quanto perpendicular ao eixo das fibras, assim como demonstra-se na figura 33:

Figura 33: Peças de madeiras solicitadas aos esforços de compressão



Fonte: Valle *et al.*, (2012)

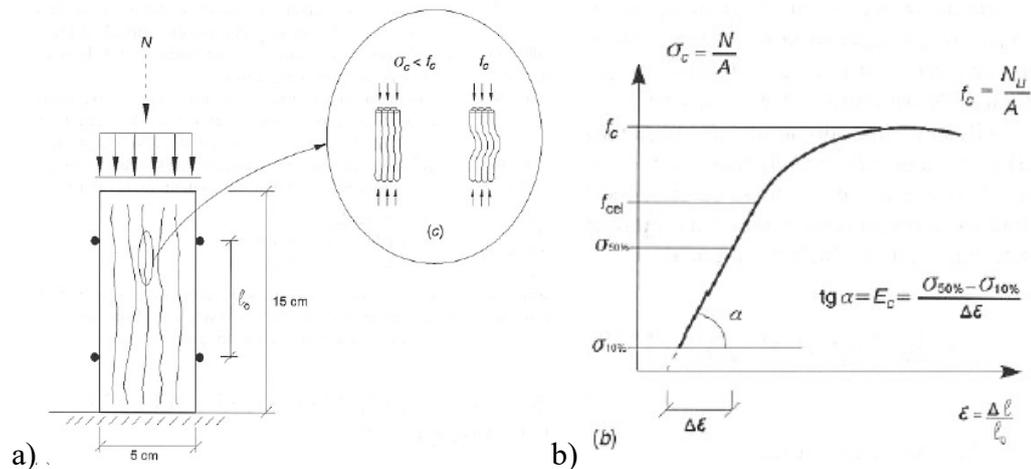
Entende-se a partir de Correia (2009), então que as solicitações de compressão aplicadas axialmente geram a separação das fibras longitudinais, diminuindo a coesão estrutural da peça, bem como de sua resistência global, sendo essa resistência ainda ligada intimamente a três fatores decisivos: o teor de umidade, massa volumétrica e defeitos na peça.

O processo de compressão atuando perpendicularmente às fibras, para Santos, L. M. A. (2018), ocorre a compactação das fibras, eliminando os vazios existentes nela, resulta daí no aumento de capacidade de carga da peça de madeira.

A compressão a partir de ensaios normativos, para Pfeil W. (2003), é descrito como a utilização de um corpo de prova de 5 cm x 5 cm x 15 cm, passa por etapas de carregamento. Além disso, com auxílio de extensômetro mecânico é possível aferir o deslocamento através das medições de encurtamento da peça Δl sobre uma base de medida inicial l_0 , como pode ser visto na figura 34 a), a partir de sucessivos estágios de carregamentos, pode ser criado um diagrama de tensão σ_c (realizada através da determinação da área transversal inicial A do corpo de prova) x deformação da peça ϵ . O diagrama $\sigma_c \times \epsilon$, da figura 34 b) pode ser estimando, no diagrama tem-se a presença de um trecho linear, onde o material apresenta comportamento elástico, até o alcance da tensão limite de proporcionalidade f_{el} , depois desse limite existe um comportamento não-linear, ligado ao efeito de flambagem das fibras na peça de madeira. Pfeil W. (2003) ainda explica que a partir da carga de ruptura N_u pela A , tem-se a resistência a ruptura ou compressão simples, expressa pela equação 3:

$$f_c = \frac{N_u}{A} \quad (3)$$

Figura 34: Ensaio de compressão paralelo as fibras



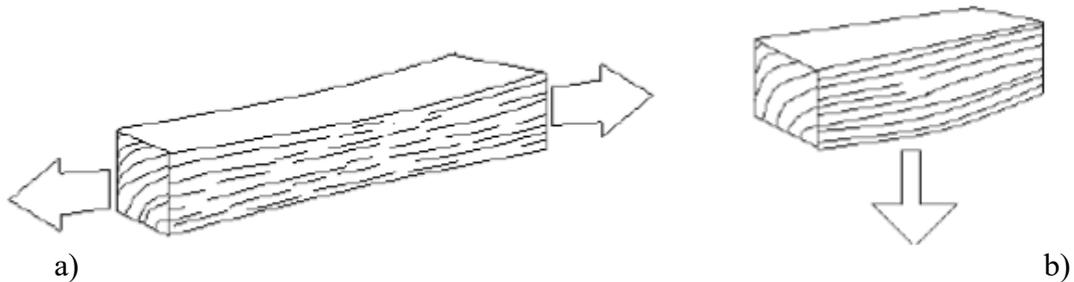
Fonte: Pfeil W. (2003)

2.3.3.2 Resistência à tração paralela e perpendicular às fibras

Já o processo de tração pode de forma paralela ou normal às fibras, Valle *et al.*, (2012) explica que essa propriedade difere bastante quando solicitadas nas peças de madeira. Em que a ruptura se dá através do deslizamento entre as células ou por meio da ruptura da parede celular, no processo de tração paralela às fibras, nas duas situações é perceptível o caráter frágil do material, diante do valor baixo da deformação quando se dá a ruptura, pode ser observado na

figura 35 a). Valle *et al.*, (2012) e Santos, L. M. A. (2018), ainda relata sobre a solicitação de tração normal à fibra, que a mesma deve ser evitada em situações de projetos, diante de seu diminuto valor de deformação, onde a solicitação tende a separar as fibras perpendicular ao seu eixo, bem como pode ser visto em b):

Figura 35: Ensaio de compressão paralelo as fibras



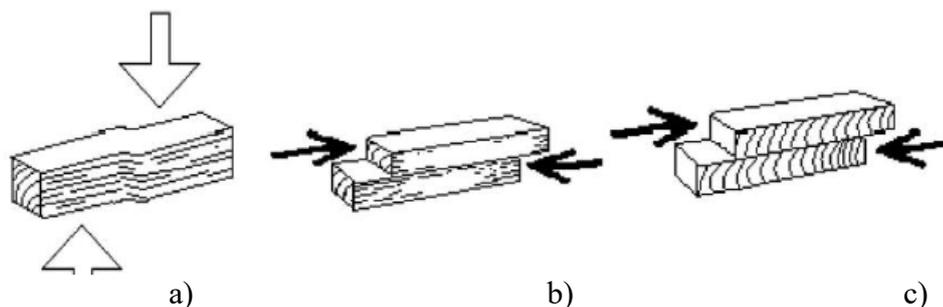
Fonte: Santos, L. M. A. (2018)

Os ensaios de tração ocorrem com corpos-de-prova torneados, ou seja, que apresentam regiões maiores em suas extremidades, a fim de garantir o processo de ruptura da região central da peça, para Pfeil W. (2003).

2.3.3.3 Resistência ao cisalhamento na madeira

O processo pode acontecer de três formas, segundo Valle *et al.*, (2012), as formas podem acontecer perpendicular às fibras, não sendo completamente crítico em virtude do processo de esmagamento à compressão que ocorre de forma normal às fibras. Outra forma de cisalhamento que vale destaque é a horizontal no sentido das fibras, cisalhamento horizontal, com uma força aplicada de forma normal aos anéis de crescimento e, por fim, o cisalhamento que ocorre de forma mais crítica é o que se dá por meio do escorregamento entre as células da peça de madeira, assim como podemos ver esses casos na figura 36 abaixo:

Figura 36: Tipos de cisalhamento na madeira



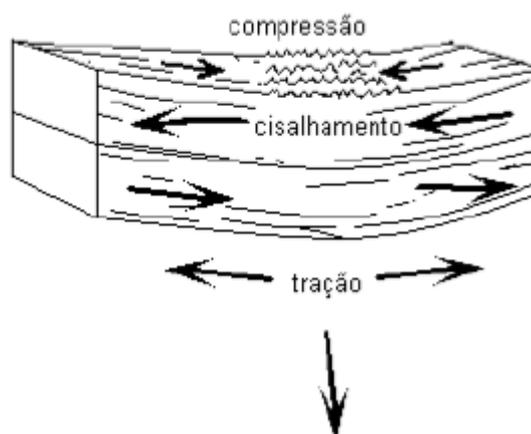
Fonte: SANTOS, L. M. A (2018)

A figura 36 traz, através de Santos, L. M. A. (2018), em a) um cisalhamento vertical, quando acontece de forma perpendicular às fibras da peça, em b) tem-se o cisalhamento horizontal, sendo aplicada a força no sentido longitudinal das fibras e, finalmente, em c) onde se tem o cisalhamento perpendicular, conhecido também como “*rolling*”, por ter como premissa o escorregamento das células das fibras sobre a outra. Sobre a ótica de Hara (2011) esse ensaio de cisalhamento é problemático em virtude de concentração de tensões, sobreposição dessas tensões, bem como as flexões e tensões de compressão que ocorrem, marcando esse ensaio com a aparição de sucessivas fissuras ao longo da peça.

2.3.3.4 Resistência à flexão estática da madeira

Correia (2009), explica que a resistência à flexão estática é uma das mais significativas para a madeira quanto material, com valores significativos próximos a da resistência à tração paralela às fibras, como é o caso do Pinho bravo que possui uma resistência à flexão com valor de 90% do que apresenta em ensaios de tração paralelo às fibras. Valle *et al.*, (2012), esclarece que existem quatro formas de se apresentar as solicitações à flexão estática ou simples, são essas: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e nas regiões de apoio, bem como também as solicitações de compressão normal às fibras. A figura 37 mostra que esse processo de solicitação gera o aumento de tensões nas regiões em que ocorrem regiões comprimidas e tracionadas, levando ao rompimento em virtude da tração.

Figura 37: Tipos de cisalhamento na madeira



Fonte: Santos, L. M. A. (2018)

2.3.3.5 Outras propriedades mecânicas da madeira

A madeira pode ainda apresentar outras propriedades mecânicas que podem ser encontradas através de ensaio, como é o caso da resistência ao fendilhamento, conforme Correia

(2009), essa resistência ao fendilhamento visa traduzir a coesão ou resistência da madeira ao processo de descolamento das fibras, dado através de uma solicitação de tração transversal a uma das superfícies. Correia (2009), ainda apresenta outras propriedades características da madeira como é o caso da dureza, a resistência à fadiga e a resistência aos carregamentos de longa duração ou fluência.

De forma geral, a dureza é caracterizada como um mecanismo que traduz a resistência do material relacionado ao processo de penetração da peça de madeira, ligada diretamente ao propriedades físicas como densidade e trabalhabilidade. A resistência à fadiga já pode ser entendida como um processo que submete a peça de madeira a aplicação de cargas alternadas por um dado período, através de tração, compressão ou até mesmo de vibração do material, segundo Santos, L. M. A. (2018), que explica que esses números de ciclos são definidos por meio da fadiga da peça, sendo superior à sua resistência à fadiga dos materiais como a madeira quando comparado a materiais cristalinos. A resistência à fluência, por fim, pode ser entendida por Correia (2009) como a deformação ou perda da resistência de um material ou elemento estrutural quando sujeitado a cargas de prolongas maiores do que seu limite de elasticidade.

A norma brasileira ABNT NBR 7190-3 (2022) estabelece, para projetos de estruturas de madeira estabelece em sua parte 3 os métodos de ensaio para corpos de prova, sem defeitos e para madeiras de floresta nativas. De acordo com a norma vigente, pode-se realizar três formas de caracterização de uma madeira para uso estrutural, são elas:

- I Caracterização completa;
- II Caracterização mínima;
- III Caracterização simplificada.

2.3.3.6 Caracterização completa da madeira serrada

Esse processo de caracterização é realizado a partir da determinação de uma série de propriedades, sob condições- padrão de umidade, conforme a ABNT NBR 7190-3 (2022), essas propriedades são:

- a) Resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$) a ser determinada em ensaios de compressão uniforme, com duração total entre 3 min e 8 min, de corpos de prova com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 15 cm;
- b) Rigidez longitudinal – módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras ($E_{c,0}$) a ser determinada em ensaios de compressão uniforme, com

duração total entre 3 min e 8 min, de corpos de prova com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 15 cm;

- c) Resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$) a ser determinada em ensaios de tração uniforme, com duração total de 3 min a 8 min, de corpos de prova alongados, com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $8 \times \sqrt{A}$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que assegurem a ruptura no trecho central;
- d) Resistência à compressão perpendicular às fibras ($f_{c,90}$) a ser determinada em um ensaio de compressão uniforme, com duração de 3 min a 8 min, de corpos de prova de seção quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 10 cm;
- e) Rigidez perpendicular às fibras – módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras ($E_{c,90}$) a ser determinada em um ensaio de compressão uniforme, com duração total de 3 min a 8 min, de corpos de prova de seção quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 10 cm;
- f) Resistência à tração perpendicular às fibras ($f_{t,90}$) a ser determinada por meio de ensaios padronizados;
- g) Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v,0}$) a ser determinada pelo ensaio de cisalhamento paralelo às fibras;
- h) Resistência de embutimento paralelo às fibras ($f_{e,0}$) e resistência de embutimento perpendicular às fibras ($f_{e,90}$) a serem determinadas por meio de ensaios padronizados;
- i) Resistência ao fendilhamento (f_{s0}) a serem determinadas por meio de ensaios padronizados;
- j) Resistência à flexão (f_{st}) a serem determinadas por meio de ensaios padronizados;
- k) Densidade aparente (ρ_{ap}), determinada com os corpos de prova a 12% de umidade. (ABNT NBR 7190-3 (2022), 3 p.)

2.3.3.7 Caracterização mínima da resistência de espécies de madeira pouco conhecidas

O processo de caracterização mínima, conforme a ABNT NBR 7190-3 (2022), para projetos estruturais, devem estar de acordo com as referentes condições-padrões de umidade, em que determinam:

- a) Resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$);
- b) Resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$), permite-se admitir, na impossibilidade da realização do ensaio de tração uniforme, que este valor seja igual ao da resistência convencional na flexão;
- c) Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v,0}$);
- d) Densidade aparente (ABNT NBR 7190-3 (2022), 3 a 4 p.)

2.3.3.8 Caracterização simplificada da resistência da madeira serrada

A ABNT NBR 7190-3 (2022), estipula que o processo de caracterização simplificado das resistências da madeira de espécies usuais, por meio do ensaio de compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$). As resistências a esforços normais devem ter uma aplicação de coeficiente de variação em 18%, para as resistências a esforços tangenciais um coeficiente de variação em 28%. Na falta de determinação experimental é admitido para essa caracterização o uso de relações para determinar os valores característicos das resistências, conforme equações 4, presentes na ABNT NBR 7190-3 (2022), abaixo:

$$\frac{f_{c0,k}}{f_{t0,k}} = 0,77$$

$$\frac{f_{c90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25$$

$$\frac{f_{e0,k}}{f_{c0,k}} = 1,00$$

$$\frac{f_{e90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25$$

$$\frac{f_{tM,k}}{f_{t0,k}} = 1,00$$

$$\frac{f_{t90,k}}{f_{t0,k}} = 0,05$$
(4)

2.3.4 Variação das propriedades mecânicas da madeira

Os fatores que podem levar a alterações nas propriedades mecânicas das espécies de madeiras usadas como material podem ser os mais diversos, para Pfeil W. (2003), os mais importantes nessa perspectiva são:

- I Posição da peça de madeira;
- II Defeitos na peça de madeira, em sua textura ou decomposição;
- III Umidade;
- IV Tempo de duração de carga.

2.3.4.1 Posição da peça de madeira na árvore

Pfeil W. (2003), expõe que essa posição da peça na árvore influenciará na resistência da peça, bem como sua densidade, sendo essas maiores na base e nas camadas mais internas do tronco, localizada entre a sua medula e o anel de crescimento anual mediano. Geralmente, as peças de maior resistência têm crescimento de 10 anéis por centímetro de raio, tendo em maior quantidade em madeiras com tons mais escuros em seus anéis.

2.3.4.2 Defeitos sobre a resistência da madeira

Os defeitos de textura são reforçados como fator mitigador de resistência da madeira, através de Pfeil W. (2003), tem-se que a resistência de peças de madeira estruturais tem impacto negativo quando há a presença de defeitos como fibras reversas, nós ou fendas e ventas. Esses defeitos além de possibilitar uma concentração de tensões, impactando em sua resistência à tração, Santos, L. M. A. (2018), pontua que todos esses defeitos são anomalias em sua integridade e constituição, que acabam por alterarem o desempenho da peça de madeira que os possui.

2.3.4.3 Influência da umidade sobre a resistência da madeira

Pfeil W. (2003), traz a umidade como outro fator de impacto nas propriedades mecânicas da madeira, em que explica que com o aumento da umidade o processo de resistência diminui até que se atinja o ponto de saturação das fibras da madeira. O autor explica que acima de 30% do teor de umidade da peça de madeira o peso específico e volume não são afetados pela umidade, que por sua vez só é afetado quando a peça passa pelo processo de secagem, onde se observa alterações na volumetria da peça, peso específico e resistência. Já para um teor de umidade abaixo de 25% pode ser expressa por lei logarítmica, quase linear. Entendendo a sua

lei de variação das propriedades da madeira é possível se determinar através de ensaios e posteriormente corrigindo esses valores para as condições padrão de $U = 12\%$.

O processo de correção de acordo com as descrições normativas da ABNT NBR 7190- 1 (2022), para os valores de caracterização usuais das propriedades de resistência e rigidez, contidos em um intervalo de 10% a 25%, devem ser dados pela equação 5 e 6, que corrige a umidade-padrão de 12%, classe 1.

I Correção da resistência:

$$f_{12} = f_u \times \left[1 + \frac{3 \times (U - 12)}{100} \right] \quad (5)$$

II Correção da rigidez:

$$E_{12} = E_u \times \left[1 + \frac{2 \times (U - 12)}{100} \right] \quad (6)$$

2.3.4.4 Influência do tempo de duração de carga sobre a resistência da madeira

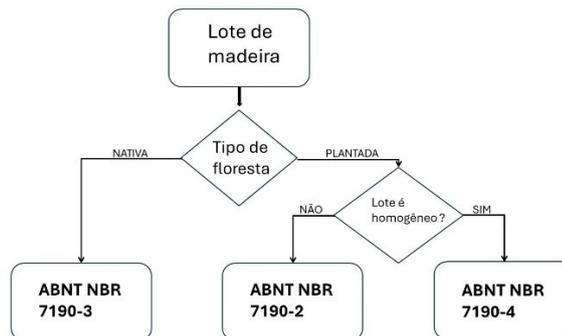
Esse fator, conforme Pfeil W. (2003), para a resistência da madeira (f) pode ser encarado como um processo de acúmulo de danos, em decorrência do tempo de aplicação do carregamento, tal como o processo de fadiga ou sob condições de carregamentos cíclicos, em ações de cargas permanentes, a umidade acaba ainda por agravar esse efeito, posto que para um mesmo período de deformação de peças de madeira, para peças que possuam maior teor de umidade sua vida útil terá significativa redução.

De forma geral, os fatores que determinam o comportamento reológico de uma peça de madeira variam bastante e ficam à mercê de fatores como: grau de umidade, características físicas da madeira, os níveis de tensão a qual o material será submetido, histórico de carregamentos e temperatura do meio que se encontra.

3 METODOLOGIA

A essa etapa da pesquisa será definido o caminho que será seguido visando alcançar os objetivos e problemática a ser respondida, conforme a figura 38 que apresenta o fluxograma do emprego da ABNT NBR 7190 (2022) que melhor se adequa ao foco desse trabalho.

Figura 38: Fluxograma de caracterização da resistência e rigidez das madeiras



Fonte: ABNT NBR 7190-1 (2022), adaptado pelo autor

Pretende-se através da abordagem dessa pesquisa responder os questionamentos levantados dentro desse tema, bem como serem alcançados os objetivos inicialmente traçados, tendo como base a ABNT NBR 7190 (2022) para coleta de dados e a estatística para tratamento, esse trabalho tem um enfoque mais quantitativo através de seu método de abordagem, tendo como processos de raciocínio utilizados o método hipotético-dedutivo. Esses conceitos conforme Panasiewicz e Baptista (2013, p. 92), refere-se a essa abordagem de caráter quantitativo como aquele que “(...) testa as hipóteses e busca os dados numéricos de fenômenos, objetos, opiniões, sua precisão, utilizando-se da matemática e, especialmente, da estatística”. Quanto ao processo de raciocínio pode ser explicado ainda que o método hipotético-dedutivo pode ser entendido como:

A partir da hipótese, o pesquisador, por dedução, deve verificar se ela realmente se confirma ou não. O esquema é o seguinte: hipótese – dedução – fenômenos. Há um problema, proposto como hipótese, formula-se uma solução dedutiva e se realiza experimentos, testes, análises para refutar ou confirmar a hipótese (Panasiewicz e Baptista, 2013, p. 95).

Assim, a partir de exposto o problema e da hipótese traçadas, será desenvolvido o experimento para validar ou não a hipótese. Já a metodologia ou métodos de procedimento

técnico que esse trabalho melhor se enquadra é o de pesquisa experimental, pois em linhas gerais:

O experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (Gil, 2002, p. 49).

Esse trabalho contém cinco capítulos em seu corpo de organização, divididos para melhor compreensão do tema. O primeiro capítulo traz a introdução do tema, onde será discutido brevemente a importância do tema, os aspectos que serão abordados ao longo do trabalho, bem como a escolha das espécies e a importância delas, ainda serão levantados os objetivos gerais e específicos que esse trabalho busca alcançar, tem-se também a justificativa que pretende dá o grau de importância da temática escolhida, bem como a situação problema que será exposta, a hipótese ao qual espera-se colaborar no desenvolvimento da resposta. O segundo capítulo começa-se a aprofundar no referencial teórico do tema, sendo esse subdividido em três tópicos, o primeiro explica uma visão macro da temática, desde as riquezas e importância da Amazônia, além das atividades de exploração e do setor madeireiro, bem como informações e o conhecimento das características das espécies ensaiadas nesse trabalho. O segundo subtópico do segundo capítulo aborda a madeira dentro do cenário da construção civil, passando por suas propriedades físicas, defeitos, classificação e características estruturais. Seu terceiro e último subtópico dentro do referencial teórico presta-se a retratar os produtos e propriedades da madeira, desde os tipos de madeiras na construção civil e os ensaios padronizados os quais darão para avaliar suas propriedades mecânicas.

O terceiro capítulo desse trabalho demonstrará o método que esse trabalho se propõe a seguir, bem como a metodologia aplicada. O quarto tem enfoque o programa experimental que serão utilizados, desde a origem das espécies, como foi empregada a preparação dos corpos de prova, quais foram as premissas normativas para manipular até a descrição do ensaio que será aplicado ao decorrer do ensaio em laboratório. O quinto capítulo são os resultados e discussões, em que pretende após os dados coletados em laboratório realizar o tratamento estatístico, bem como discutir perante a norma e as bases teóricas os resultados alcançados, demonstrando a sua eficiência e buscando através dos mesmos considerar satisfatórias as respostas e os objetivos alcançados. Por fim, o último capítulo vai trazer a conclusão e considerações finais, onde serão

expostos se foram satisfatórios os resultados e as respostas obtidas, bem como direcionar para pesquisas futuras o amadurecimento e expansão desse objeto de estudo.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 SELEÇÃO DOS MATERIAIS E PREPARATIVOS INICIAIS

A identificação de quais espécies são comercializadas no estado do Amapá foi realizado com auxílio de fontes específicas do herbário do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMA ZON). Desse levantamento foram selecionadas as espécies de Acaçu, Angelim-vermelho e Pracuúba do comércio local através de amostras de madeiras serradas das industriais madeireiras atuantes da cidade, especificamente aquelas comercializadas na Avenida Canal do Jandiá, Cidade Nova, Macapá – Amapá. Conforme figura 39:

Figura 39: Indústrias madeireiras da Av. Canal do Jandiá



Fonte: Google Maps

As peças de madeiras serrada comercializadas na cidade de Macapá e distribuídas localmente, são provenientes do estado do Amapá, para o caso do Angelim - vermelho, com coordenadas 0°42'19,2'' N, 51°24'31,5''W, do município de Porto Grande, conforme figura 40:

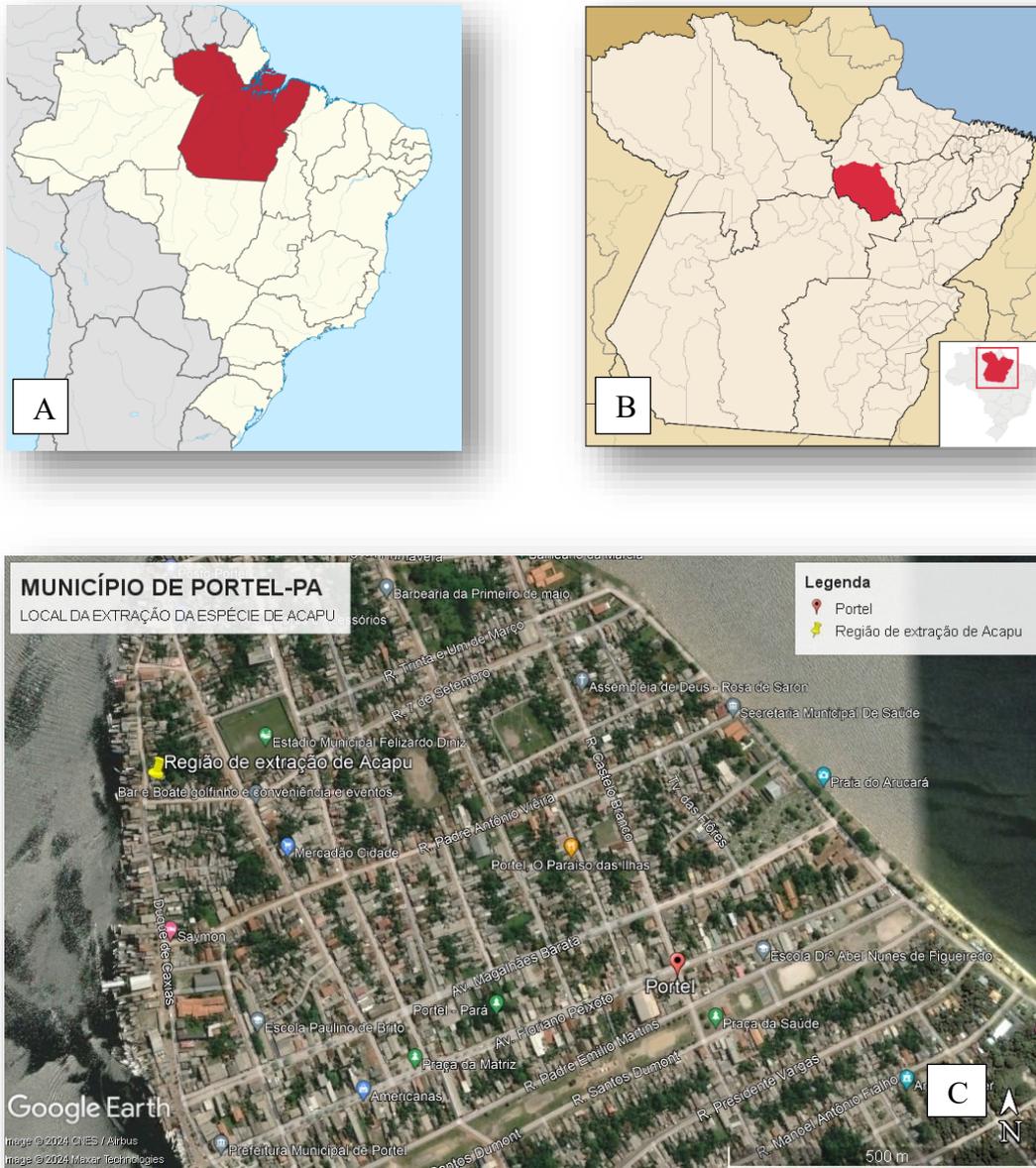
Figura 40: A – Indicação do Mapa do Brasil. B – Indicação do estado do Amapá, com enfoque ao município de Porto Grande. C – Região de extração das amostras da espécie Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) proveniente de serraria.



Fonte: Google Earth Pro (2024) e Wikimedia (2024)

Já as espécies Acapú e Pracuúba, são provenientes do estado do Pará, a primeira foi extraída do município de Portel, em uma região nas proximidades do rio Camaraipi, sendo serrada através de uma serralheria vinda de membros da comunidade ribeirinha da região, bem como na figura 41:

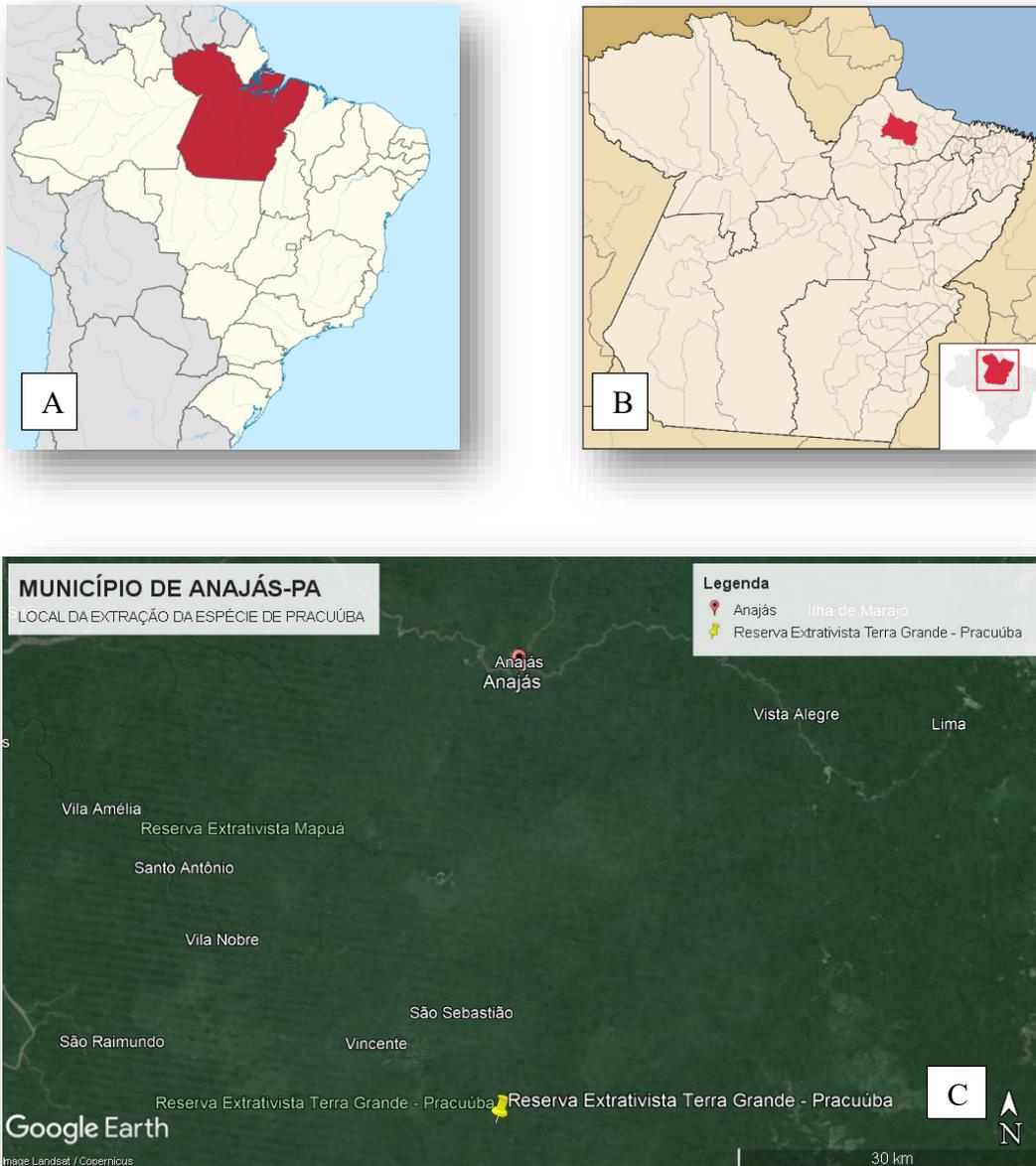
Figura 41: A – Indicação do Mapa do Brasil. B – Indicação do estado do Pará, com enfoque ao município de Portel. C – Região de extração das amostras da espécie *Acapu* (*Vouacapoua americana* (Aubl.)) proveniente de serraria de membros da comunidade.



Fonte: Google Earth Pro (2024) e Wikimedia (2024)

A madeira para a Pracuúba, por sua vez, foi extraída, conforme fornecedores das peças do estado do Pará, sendo o município de Anajás, que integra a mesorregião do Marajó e a microrregião dos Furos de Breves, sendo o processo de retirada de Anajás feitos da terra grande de Pracuúba, conforme a localização da figura 42:

Figura 42: A – Indicação do Mapa do Brasil. B – Indicação do estado do Pará, com enfoque ao município de Anajás. C – Região de extração das amostras da espécie Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae) proveniente da região extrativista Terra Grande Pracuúba.



Fonte: Google Earth Pro (2024) e Wikimedia (2024)

O clima dessas regiões são, de acordo com Lima (2017) e IBGE (2016) é de clima equatorial, úmido, com média de temperatura superior a 18 °C e com precipitação anual de 2.800 mm, as três regiões que foram escolhidas para compor as amostragens desse trabalho possuem floresta predominantemente de tipologia Floresta Ombrófila Densa, conforme o mapa de biomas do IBGE (2012), o termo substitui “Pluvial” (de origem latina) por “Ombrófila” (de origem grega), em que ambos significam “amigo das chuvas” Ellenberg e Mueller-Dombois (1967) apud IBGE (2012).

Esse material chega aqui através de pequenas embarcações do tipo já previamente cortadas e seu preparo e padronizações das peças serradas são realizados nas madeiras, que já dispõe do tamanho das peças e seções previamente estabelecidos. Buscando seguir as prescrições normativas e patronizar as amostras optou-se pelo uso de peças de esteio com bitola de 11 x 11 cm e comprimento que variam de 3 a 5 metros.

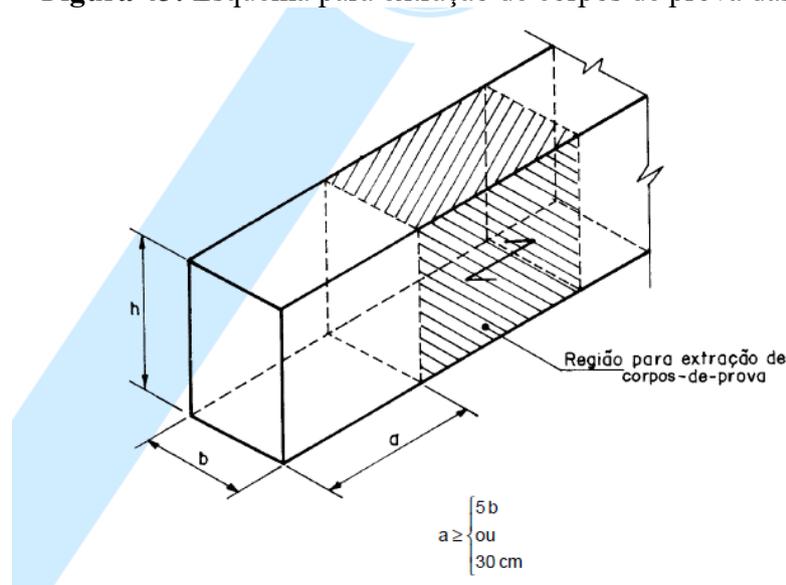
4.2 PREPARAÇÃO DA AMOSTRAGEM DO MATERIAL LENHOSO DAS ESPÉCIES

O processo de produção dos corpos de prova das espécies de Angelim, Acapu e Pracuúba, que serão ensaiadas nesse trabalho, seguiu o item 4.5 da norma ABNT NBR 7190 - 3 (2022), que se descreve nesse item a “**Região de retirada dos corpos de prova**”, prescrevendo o processo de escolha da região de peças de madeira serrada, para gerar os corpos de prova sujeitos a uma carga de curta duração, de forma geral:

Os corpos de prova devem ser retirados de regiões afastadas das extremidades das peças ou pelo menos 5 vezes a menor dimensão da seção transversal, mas não inferior a 30 cm. Para a investigação direta de lotes de madeira serrada considerados homogêneos, cada lote não pode ter volume superior a 12 m³. (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 4).

O lote das espécies escolhidas para compor as peças que serão ensaiadas seguiram a ilustração da figura 43, abaixo:

Figura 43: Esquema para extração de corpos de prova das peças



Fonte: ABNT NBR 7190-3 (2022)

Legenda

h – Altura;

b – Largura;

a – Comprimento.

Dessa forma, tendo em vista que as peças que estão disponíveis para comercialização eram esteios com dimensão de bitola de 11 x 11 cm, a escolha do número de esteios, que iria compor o lote, deveria seguir a seguinte condição:

$$a \geq \begin{cases} 5 * b \\ 30 \text{ cm} \end{cases} \text{ ou}$$

Assim, tem-se:

$$a \geq \begin{cases} 5 * 11 \\ 30 \text{ cm} \end{cases} = \begin{cases} 55 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{cases} \text{ ou}$$

$$a \geq 55 \text{ cm}$$

Diante dos corpos de prova a compressão paralela às fibras terem comprimento de 15 cm, tem-se uma peça padrão por lote de 125 centímetros. Estipulou-se a realização de um lote com 10 peças de 125 cm, para cada uma das três espécies, por questões de segurança, tendo em vista que o número mínimo de corpos de prova, conforme a norma, para ensaios de caracterização simplificada da resistência de espécies pouco conhecidas são 6 (seis) peças para ensaio.

A preparação das peças de cada lote das três espécies será detalhada a seguir:

- I. Primeiramente, foram escolhidos os esteios que apresentavam boas condições visualmente para compor o lote, ou seja, não apresentavam defeitos em sua superfície que pudesse comprometer a qualidade dos lotes a serem feitos, para preparar as mesmas para o processo de desempenar. Assim como na figura 44 A e B a seguir:

Figura 44: A- Escolha das peças para os lotes. B - Preparo das peças para desempenar



Fonte: Própria (2023)

- II. Escolhidas as peças que seriam preparadas para integrar o lote, foi realizado o desempenamento das mesmas, feitos através da máquina de plainar e desempenar, conforme figura 45, fazendo o processo de passagem na máquina por todas as peças das três espécies, tanto as peças do lote do Acapu, quanto Angelim e Pracuúba, respectivamente, assim como:

Figura 45: A- Máquina para desempenar e plainar os esteios. B - Plainagem e desempenamento dos esteios de Acapu. C - Plainagem e desempenamento dos esteios de Angelim. D - Plainagem e desempenamento dos esteios da Pracuúba



Fonte: Própria (2023)

- III. Após esse processo de plaina e desempenho, foi realizado o corte de todos os esteios das três espécies para padronizar cada lote, nessa etapa foi realizado o uso de motosserra para corte e trena para aferição do comprimento de 1,25 m, de cada espécie. Assim como na figura 46 A, B e C, sendo o processo final a geração dos lotes com 10 (dez) peças de 125 cm de comprimento, como pode ser visto em D.

Figura 46: A - Motosserra para corte dos esteios. B - Uso de trena para marcação do corte de comprimento. C - Corte das peças para os três lotes. D - Padronização dos lotes



Fonte: Própria (2023)

- IV. Posteriormente, foi realizado a determinação da região para extração do corpo-de-prova, o equipamento utilizado para essa etapa foi a serra circular de mesa, como demonstrado na figura 47 em A, a mesma além de gerar o corte das peças e da região de extração, também padronizou a bitola dos esteios para a dimensão de 11 x 11 cm, assim como em B abaixo:

Figura 47: A- Serra circular de mesa. B - Padronização das dimensões de 11 x 11 cm

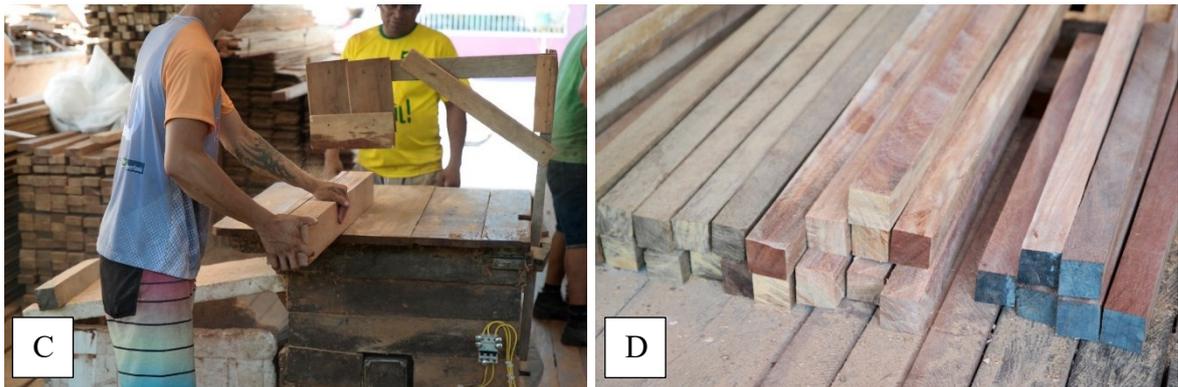


Fonte: Própria (2023)

- V. Os cortes para extrair as peças de cada lote deu-se inicialmente reduzindo a seção de 11 x 11 cm para 6 x 6 cm, para obter a região do cerne da peça, tendo em vista que a dimensão dos provetes que serão padronizados precisam ter dimensões de 5 x 5 cm, arbitrou-se incluir 1 centímetro prevendo o processo de lixamento, esse processo ocorreu em todo o lote de Acapu, Angelim e Pracuúba, conforme a figura 48 em A, B, C, respectivamente e em D o processo realizado nas três amostras como pode ser vistos a seguir:

Figura 48: A - Corte das seções 6 x 6 cm do Acapu. B - Corte das seções 6 x 6 cm do Angelim. C - Corte das seções 6 x 6 cm da Pracuúba. D - Todas as peças dos lotes com seção 6 x 6 cm





Fonte: Própria (2023)

- VI. Diante das peças com seção de 6 x 6 cm, realizou-se o corte ainda com a serra circular de mesa da região de extração dos corpos de prova, fazendo o descarte das extremidades $a \geq 55 \text{ cm}$ de cada peça dos lotes e obtendo apenas a parte central dessas, conforme a figura 49 em A já em B temos a disposição das três amostragens das espécies após o corte, como pode ser vistos a seguir, para os três lotes e a disposição de todos os provetes para a realização do ensaio a compressão paralela às fibras.

Figura 49: A - Corte para retirar o testemunho da parte central da peça de cada lote. B - Corpos de prova das três espécies para ensaio de compressão paralela às fibras

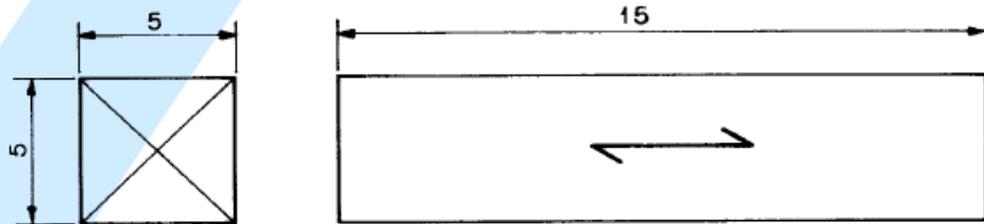


Fonte: Própria (2023)

- VII. O processo de lixamento das peças do ensaio de compressão axial paralelo às fibras foi realizado em marcenaria, pois os equipamentos para esse processo são mais delicados, foi realizado o uso de uma nova serra circular de mesa para reduzir as seções para prescrição da norma, visando alcançar as dimensões conforme a figura 50, do item 5.4.3 da ABNT NBR 7190-3. Além do uso da serra de mesa para o comprimento, usou-se também a lixadeira de mesa e a

lixadeira de mão conforme figuras 51, 52 e 53, respectivamente, visando atender as dimensões normativas.

Figura 50: Corpos de prova para ensaio de compressão paralelo às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190-3 (2022)

Figura 51: Corpos de prova sendo cortados por serra circular de mesa



Fonte: Própria (2023)

Figura 52: Corpos de prova sendo lixados em lixadeira de mesa



Fonte: Própria (2023)

Figura 53: Corpos de prova sendo lixados por lixadeira de mão



Fonte: Própria (2023)

O processo para preparação das peças de controle de umidade e densidade básica e aparente também utilizou das mesmas partes dos provetes de cada lote, a dimensão dessas peças

segue o que prevê a norma ABNT NBR 7190-3, no item 5.1.3, que determina para a preparação da umidade:

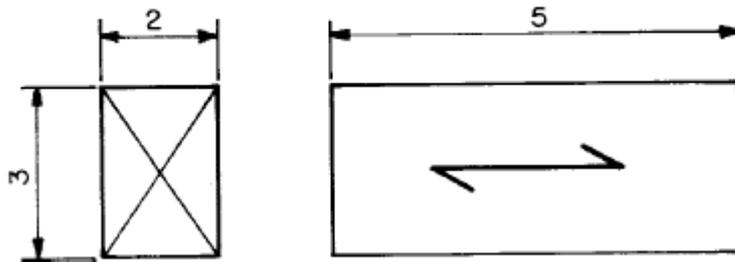
Na fabricação dos corpos de prova, devem ser utilizadas ferramentas com afiação suficiente para se evitar a “queima” de suas faces, que pode provar perda imediata de água, prejudicial à determinação da efetiva umidade da amostra. (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 6).

Já para a preparação dos corpos de prova para ensaio de densidade básica e aparente seguem a orientação normativa no item 5.2.3:

Os corpos de prova devem ser prismáticos, com seção transversal nominal de 2 cm por 3 cm, e comprimento, ao longo das fibras, de 5 cm. Se a distância radial entre os anéis de crescimento for maior que 4 mm, a seção transversal deve ser aumentada para abranger pelo menos 5 anéis. (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 7).

Na determinação dos corpos de prova para o ensaio de umidade, ele deve ter seção transversal de 2 cm x 3 cm e comprimento, ao longo das fibras de 5 cm, conforme figura 54 a seguir:

Figura 54: Corpos de prova para determinação da umidade da madeira



Fonte: ABNT NBR 7190-3 (2022)

Dessa forma a confecção dessas peças contou com a serra circular de mesa e os corpos de prova os quais foram geradas dessas para fins de controle de umidade e densidade contaram com partes geradas do mesmo lote da seção adjacente ao cerne da peça, conforme figura 55 abaixo, além disso, as dimensões estavam somadas 1 centímetro prevendo o processo de lixamento para melhor aparência das peças dos três ensaios a serem realizados com lixa d'água de 100 e 120, a disposição das peças está apresentada na figura 56:

Figura 55: Corte para produção dos corpos de prova do ensaio de umidade e densidade



Fonte: Própria (2023)

Figura 56: Corpos de prova das três espécies para ensaio de compressão paralela às fibras, umidade e densidade básica e aparente



Fonte: Própria (2023)

4.3 PROPRIEDADES FÍSICO MECÂNICAS DAS ESPÉCIES

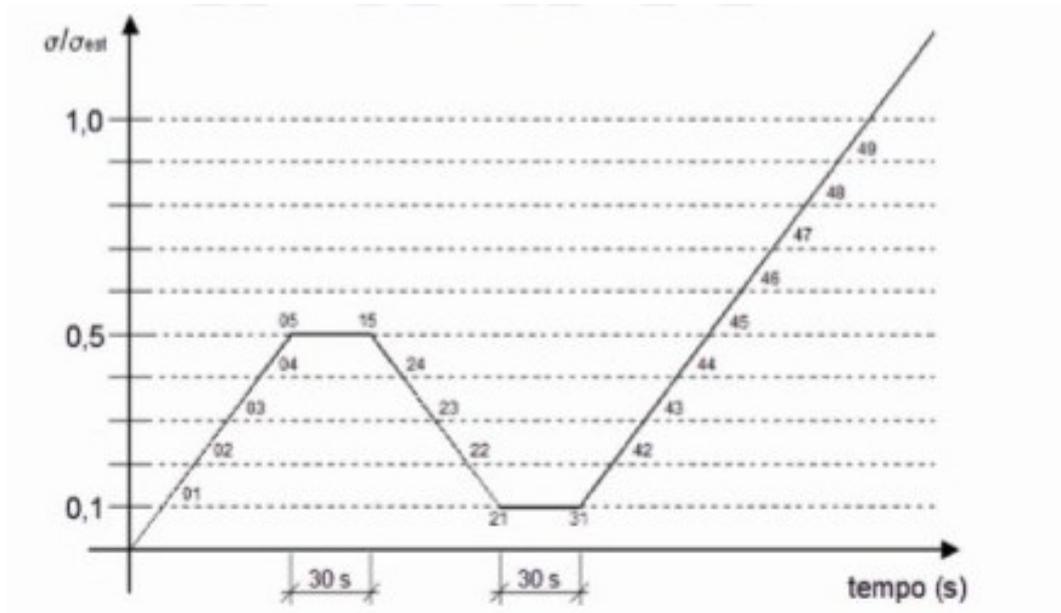
4.3.1 Ensaio de compressão paralela às fibras das espécies ensaiadas

O ensaio de compressão paralelo às fibras, conforme a (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 9) tem como princípio a determinação da resistência à compressão paralela às fibras de um dado lote de madeira, que possa ser considerado homogêneo. Seguindo o procedimento para a realização do ensaio deve-se ainda:

- a) Para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez, as medidas dos lados do corpo de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- b) Para a determinação de módulo de elasticidade, devem ser feitas medidas de deformações em pelo menos duas faces dos corpos de prova;
- c) Para determinação do módulo de elasticidade, podem ser utilizados medidores mecânicos de deformação, com sensibilidade de 0,001 mm, devidamente fixados no corpo de prova, como na figura 6;
- d) No caso do emprego de extensômetros, as medidas das deformações específicas devem ser feitas com precisão mínima de 50 $\mu\text{m/m}$;
- e) Para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaio, deve-se utilizar uma rótula entre o atuador e o corpo de prova;
- f) A resistência deve ser determinada com carregamento monotônico crescente com uma taxa em torno de 10 MPa/ min;
- g) Para a determinação da rigidez, a resistência da madeira deve ser estimada ($f_{c0, est}$) pelo ensaio destrutivo de um corpo de prova selecionado da mesma amostra a ser investigada;
- h) Conhecida a resistência estimada da amostra $f_{c0, est}$, o carregamento deve ser aplicado com ciclos de carga e descarga, de acordo com o diagrama de carregamento;
- i) Os registros das forças e das deformações devem ser feitos para cada ponto do diagrama de carregamento conforme figura 7;
- j) Para ensaios com instrumentação baseada em extensômetros mecânicos fixados no corpo de prova, devem ser registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na figura 7, até 70% da força estimada para a ruptura. Em seguida, retira-se a instrumentação e eleva-se a força até a ruptura do corpo de prova;
- k) Para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outras com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com ambiente (seco ao ar). (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 12-13).

O diagrama de carregamento para determinar a rigidez das peças de madeira pode ser visto na figura 57, abaixo:

Figura 57: Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira



Fonte: ABNT NBR 7190-3 (2022)

A determinação da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) é dada pela máxima tensão de compressão que pode ser atuado no corpo de prova, com seção transversal de 5 cm de lados e comprimento de 15 cm, segundo a equação 7 abaixo:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (7)$$

Onde

$F_{c0,max}$ é a máxima força de compressão que será aplicada em um dado corpo de prova durante o ensaio, expresso em Newtons (N);

A é a área inicial da seção transversal do corpo de prova que será comprimida, expressa em milímetros quadrados (mm^2);

f_{c0} é a resistência a compressão paralela às fibras, sendo expressa em Megapascais (MPa).

4.3.1.1 Ensaio laboratorial de compressão

A norma ABNT NBR 7190-3 (2022) foi utilizada como parâmetro para a determinação das propriedades físico-mecânicas da amostragem das espécies de madeiras. O ensaio de compressão paralela às fibras, bem como os ensaios de umidade e densidade aparente foram

realizados no Instituto Federal do Amapá – IFAP, no Laboratório de Ensaio de Compressão Triaxial, localizado no município de Macapá, na rodovia 210, bairro Brasil Novo.

4.3.1.2 Instrumentação

O ensaio mecânico foi realizado na máquina universal EMIC DL 30000 N, cuja capacidade máxima de carga é de 300 kN, na sala EMIC onde ficavam o maquinário e o técnico responsável pela análise de dados dos corpos de prova de cada espécie que foi ensaiada. Os gráficos e os arquivos textos foram obtidos através do programa TESC, tal como se observa nas figuras 58, 59 e 60 abaixo:

Figura 58: Equipamento para ensaio de tração EMIC DL 30000 N do laboratório do IFAP



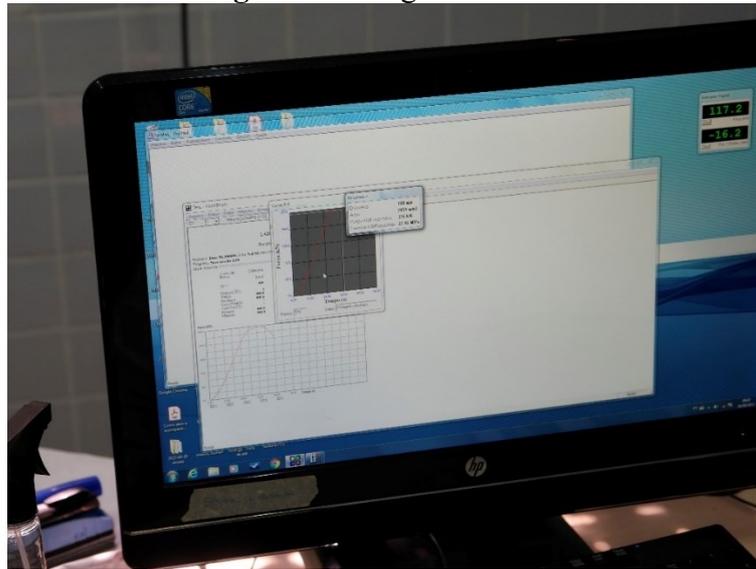
Fonte: Própria (2023)

Figura 59: EMIC DL30000 N do laboratório do IFAP



Fonte: Própria (2023)

Figura 60: Programa TESC



Fonte: Própria (2023)

Foi feito uso de um paquímetro digital, com precisão de $\pm 0,03$ mm, da digimess, para realizar a medição das dimensões dos corpos de prova, que seriam submetidos ao ensaio de compressão simplificada, conforme a figura 61, que será visualizada logo mais:

Figura 61: Paquímetro digital



Fonte: Própria (2023)

4.3.1.3 Preparação para realização do ensaio

O processo de preparação para realizar o ensaio em cada corpo de prova passou por uma organização das peças a serem ensaiadas, inicialmente foram realizadas as avaliações das amostras produzidas das espécies Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba, as quais tinham para cada espécie 10 (dez) corpos de prova e foram escolhidos os que não apresentavam defeitos ou imperfeições que pudessem comprometer a qualidade do resultado obtidos durante o ensaio, a inspeção descartou 4 (quatro) peças e foram realizadas 6 corpos de prova da amostragem de

cada espécie. Além de numerá-las, foram realizadas as medições de suas dimensões a fim de se obter a área da base da peça (transversal) de cada um dos provetes. O processo pode ser visto na figura 62 em A, B e C a seguir:

Figura 62: A – Escolha das peças sem defeitos para ensaio de compressão paralelo às fibras. B – Identificação e ordenação das amostragens de cada espécie a ser ensaiada. C – Medição das dimensões do provete para realização do ensaio.



Fonte: Própria (2023)

Vale pontuar que o programa usado pela EMIC DL30000 N, o TESC não tinha a opção de eixos tensão x tempo ($\sigma \times t$), sendo necessário adaptar para uma análise do gráfico de força x tempo ($F \times t$), seguindo o processo de acomodação do corpo de prova no maquinário, para a correta aplicação do carregamento paralelo às fibras, os gráficos gerados de cada corpo de prova, da amostragem para cada espécie está anexada nesse trabalho.

4.3.1.4 Determinação da Resistência Característica

Logo após a realização do ensaio de compressão paralelo às fibras, foram realizados ensaios de umidade, para corpos de prova desse ensaio, com a finalidade de definir o teor de umidade correspondente as amostragens de cada espécie ensaiada.

Objetiva-se a correção da resistência de ruptura à compressão simples f_c , que apresenta variação de umidade para cada corpo de prova, para a umidade de 12% prevista na ABNT NBR 7190-1, classe I, conforme equação 8 a seguir:

$$f_{12} = f_u \times \left[1 + \frac{3 \times (U - 12)}{100} \right] \quad (8)$$

Onde:

f_{12} – Resistência à compressão para umidade padrão de 12%;

f_u – Resistência à compressão para umidade do corpo de prova;

U – Umidade do corpo de prova.

4.4 DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA

Esse método tem como princípio, conforme a (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 7), a determinação da densidade aparente de um lote de madeira, que pode ser considerado homogêneo. Ainda na norma a mesma estabelece os procedimentos a serem tomados em seu ensaio, são eles:

- a) Na determinação da densidade aparente, a massa e o volume devem ser medidos em corpos de prova com teor de umidade de 12%;
- b) Conhecidos os valores de m_{12} e de v_{12} , determina-se a densidade aparente conforme 5.2.1;
- c) Eventuais ajustes do valor da densidade aparente para a umidade de referência devem ser feitos utilizando-se o Diagrama de Kolimann. (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 7).

A definição da densidade aparente, ρ_{ap} , é dada através da massa específica convencional, que é realizada pela razão entre a massa e o volume dos corpos de prova com a umidade de 12%, o cálculo é dado através da equação 9:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{v_{12}} \quad (9)$$

Onde

m_{12} - é a massa do corpo de prova com a umidade em 12%, sendo expresso em quilogramas (kg);

v_{12} - é o volume do corpo de prova com a umidade em 12%, sendo expresso em metros cúbicos (m^3).

Além do Diagrama de Kolimann, Logsdon (1992) apud Dias, F. M. (2000) traz outra maneira de se determinar a densidade aparente, para o período de ensaio, deve-se aplicar a equação 10 abaixo:

$$\rho_{12} = \rho_{U\%} + \rho_{U\%} \times \left[(1 - \delta_V) \times \frac{12 - U\%}{100} \right] \quad (10)$$

Onde:

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{U\%}$$

e,

$$\Delta V = \frac{V_{U\%} - V_{sec a}}{V_{sec a}} \times 100\%$$

Sendo:

ρ_{12} – Densidade aparente, em g/cm^3 , ao teor de umidade de 12%;

$\rho_{U\%}$ - Densidade aparente, em g/cm^3 , ao teor de umidade U%;

U% - Teor de umidade, em %;

δ_V – Coeficiente de Retratabilidade volumétrica;

ΔV – Retração Volumétrica, para a variação de umidade entre U% e 0%, em %;

$V_{U\%}$ - Volume, do corpo de prova, ao teor de umidade U% e

$V_{sec a}$ – Volume, do corpo de prova, para madeira seca, U = 0%.

4.5 UMIDADE DA MADEIRA DAS ESPÉCIES

O ensaio de umidade por sua vez tem como princípio determinar o teor de umidade de lotes que são considerados homogêneos, de madeira serrada ou até mesmo as beneficiadas, tendo como finalidade ajustar as propriedades mecânicas de resistência e rigidez, segundo a (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 6). Nessa norma ainda, são descritos os procedimentos para execução do ensaio, são esses:

- a) Determinar a massa inicial (m_i) do corpo de prova com precisão de 0,01 g;
- b) Colocar o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de $103\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$;
- 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 (m_s);
- d) Determinar a umidade conforme a equação abaixo. (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 7).

Dessa forma, o teor de umidade pode ser determinado pela relação entre a massa da água nela contida e a massa seca, e seu cálculo é dado através da fórmula 11:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (11)$$

Onde

m_i é a massa do início do corpo de prova, expressa em gramas (g);

m_s é a massa da madeira do corpo de prova, expressa em gramas (g).

4.6 INSTRUMENTAÇÃO PARA OS ENSAIOS DE DENSIDADE APARENTE E UMIDADE

Os equipamentos usados para a realização tanto do ensaio de densidade aparente quanto de umidade foram: paquímetro digital, com precisão de $\pm 0,03\text{ mm}$, balança digital de precisão, com precisão de 0,01 g, bandejas metálicas e estufa para secagem. Assim como pode ser vista na figura 63 em A, B, C e D abaixo:

Figura 63: A – Paquímetro digital. B – Balança digital de precisão. C – Bandejas de alumínio. D – Estufa para secagem





Fonte: Própria (2023)

4.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Ao lidar com vários resultados, obtidos a partir de determinados ensaios, na situação em que houve análise com repetitividade dos processos, utilizam-se de artifícios estatísticos apropriados com o objetivo de resumir o que foi realizado e, conseqüentemente, validar as informações estabelecidas por meio dos ensaios (Manfredo H. T., 2009, p. 7).

Dessa forma, o tratamento estatístico ao qual serão submetidos os resultados serão:

I Média de uma amostra com n valores

$$X_m = \frac{\sum x_i}{n}$$

II Desvio padrão de uma amostra

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{n - 1}}$$

III Coeficiente de variação

$$CV = \frac{S}{X_m}$$

Neste trabalho a determinação da resistência característica usará as equações abaixo, que conforme Pfeil W. (2003), correlacionando as variações estatísticas, em que se tem resultados experimentais de n amostras distribuídas em uma curva de Gass, pode ser expresso por 12, 13 e 14:

Resistência Média (f_m):

$$f_m = \frac{\sum f_i}{n}, i = 1, n; \quad (12)$$

Desvio-padrão (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f_m - f_i)^2}{n}}, \quad i = 1, n \quad (13)$$

Coefficiente de variação (δ):

$$\delta = \frac{\sigma}{f_m} \quad (14)$$

A resistência característica, pode ser obtida a partir da equação presente na ABNT NBR 7190-3 (2022), que estima os valores característicos das propriedades através do cálculo de (X_{wk}), pela equação 15:

$$X_{wk} = \left(2 \times \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - X_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1 \quad (15)$$

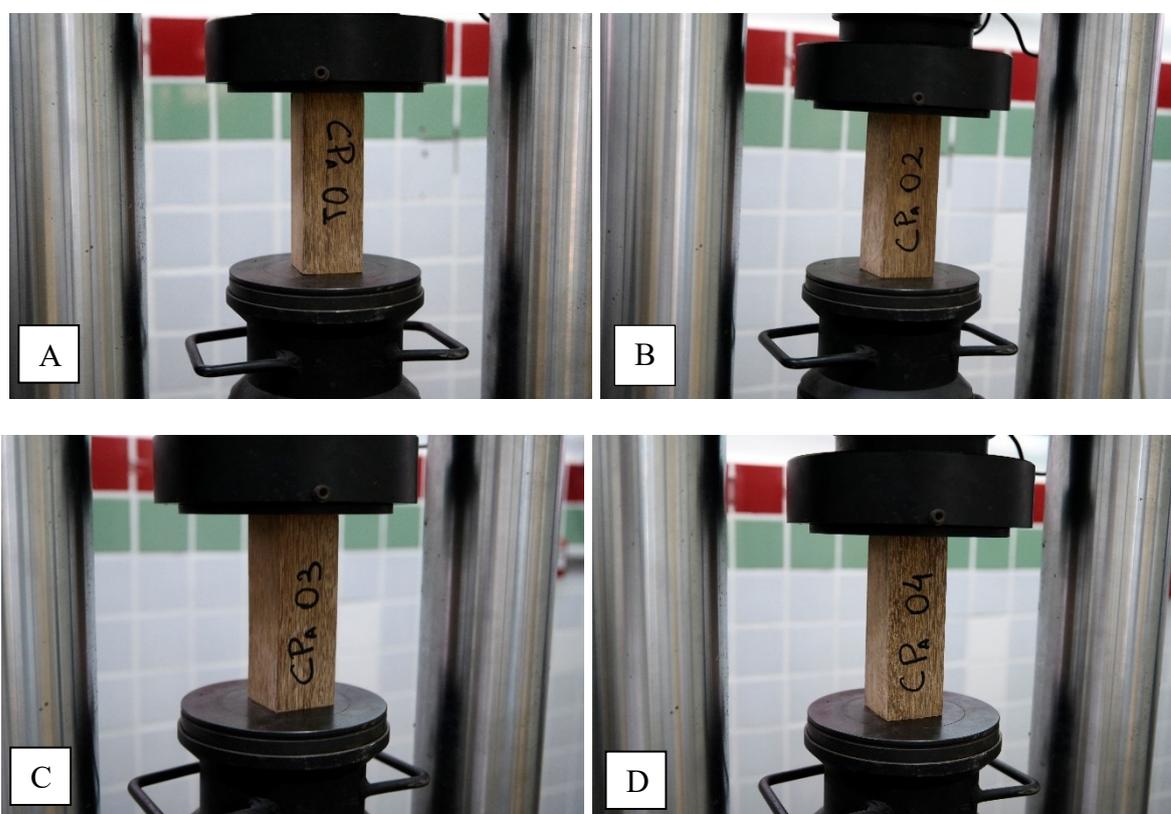
Os valores ainda precisam estar em ordem crescente ($X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$), contudo o valor de resistência não poderá apresentar valor menor que o primeiro estabelecido na ordem (X_1), tampouco ao resultado médio por 0,7 (X_m) nem superior a (X_m).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELO ÀS FIBRAS

A prática laboral seguiu a metodologia apresentada no trabalho, que se utiliza a padronização do ensaio da norma 7190-3 (2022), determinando que após a acomodação do corpo de prova junto a EMIC DL30000 N, será aplicado a cada corpo de prova – CP das 6 (seis) peças da amostragem das três espécies utilizadas para caracterização um carregamento, esse será a máxima força de compressão aplicada a uma área do corpo de prova durante a realização do ensaio, para a espécie Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)) foram ensaiados 6 (seis) provetes, conforme figura 64, que apresenta o registro de cada rompimento dos corpos de provas dessa amostra:

Figura 64: A – Registro do CP 1 de Acapu após o rompimento do provete. B – Registro do CP 2 de Acapu após o rompimento do provete. C – Registro do CP 3 de Acapu após o rompimento do provete. D – Registro do CP 4 de Acapu após o rompimento do provete. E - Registro do CP 5 de Acapu após o rompimento do provete. F - Registro do CP 6 de Acapu após o rompimento do provete





Fonte: Própria (2023)

Diante do relatório gerado ao final do ensaio de caracterização mecânica de compressão paralelo às fibras das amostras de Acapu, através do programa TESC, foi possível determinar a tensão de ruptura (σ_u), frente aos dados presentes no relatório de ensaio, anexo A desse trabalho, dispostos na tabela 9 a seguir:

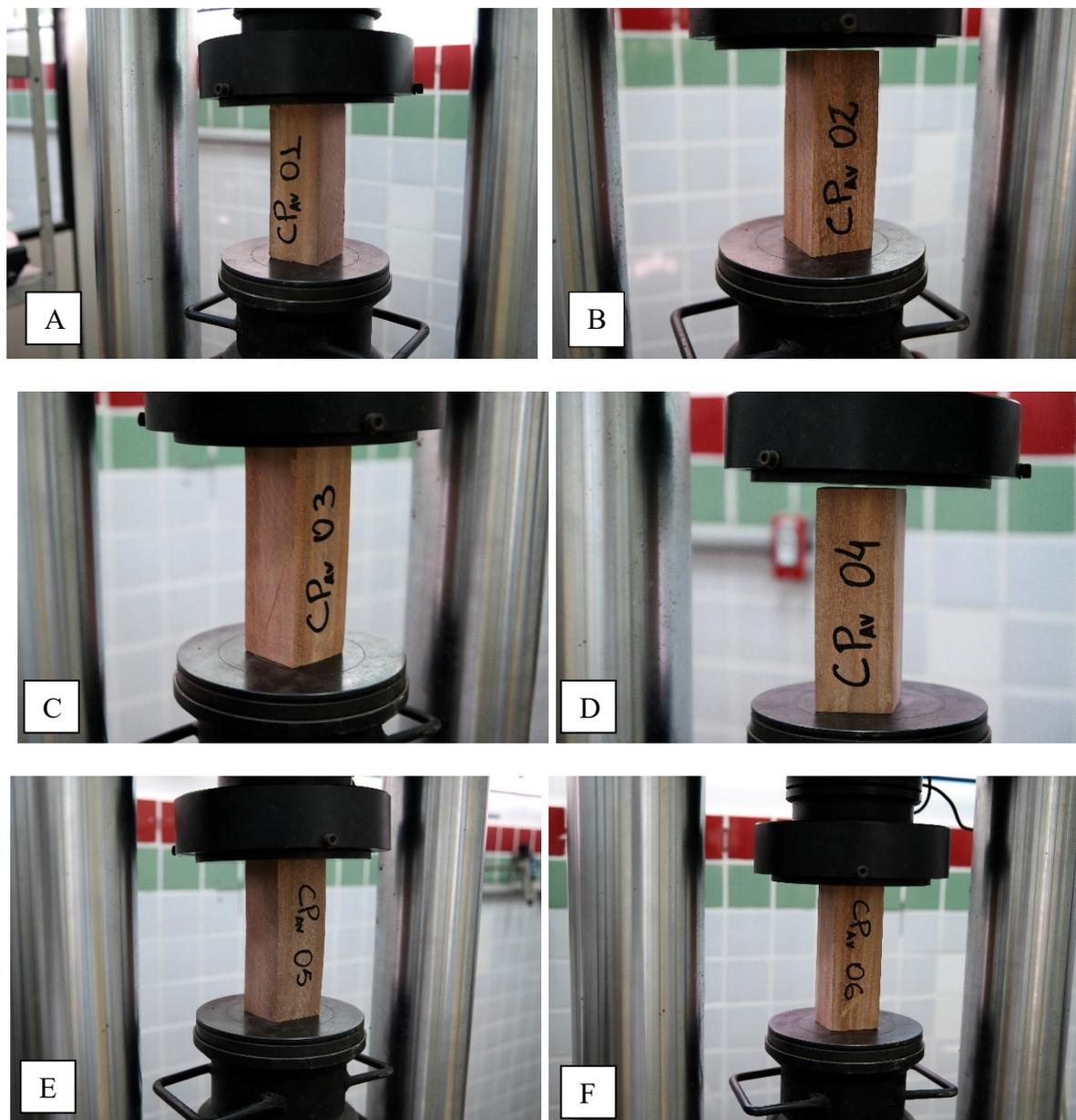
Tabela 9: Determinação da tensão de ruptura das amostras da espécie Acapu caracterizadas através de ensaio de compressão paralelo às fibras

Provetes (nº)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área da Base (mm ²)	Força Máxima (N)	Tensão de Ruptura (σ_u) (MPa)
CP 1	51,33	51,74	2.655,81	169.000	63,63
CP 2	51,22	53,71	2.751,03	219.000	79,61
CP 3	51,95	52,00	2.701,40	200.000	74,04
CP 4	51,40	53,94	2.772,52	168.000	60,59
CP 5	51,08	55,53	2.836,47	207.000	72,98
CP 6	53,22	48,01	2.555,09	182.000	71,23

Fonte: Própria (2023)

O ensaio de caracterização mecânica de compressão paralelo às fibras deu-se para a amostra de Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)), seguindo a mesma metodologia já empregada para as amostras de Acapu, conforme a figura 65, que mostram os provetes das amostras de Angelim-vermelhos após rompimento da máquina EMIC DL30000 N.

Figura 65: A – Registro do CP 1 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. B – Registro do CP 2 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. C – Registro do CP 3 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. D – Registro do CP 4 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. E - Registro do CP 5 de Angelim-vermelho após o rompimento do provete. F - Registro do CP 6 de Acapu após o rompimento do provete



Fonte: Própria (2023)

O relatório de ensaio das amostras de Angelim-vermelho também auxiliou na determinação da tensão de ruptura (σ_u) para as amostras submetidas ao ensaio de compressão paralelo às fibras, assim como visto na tabela 10 abaixo:

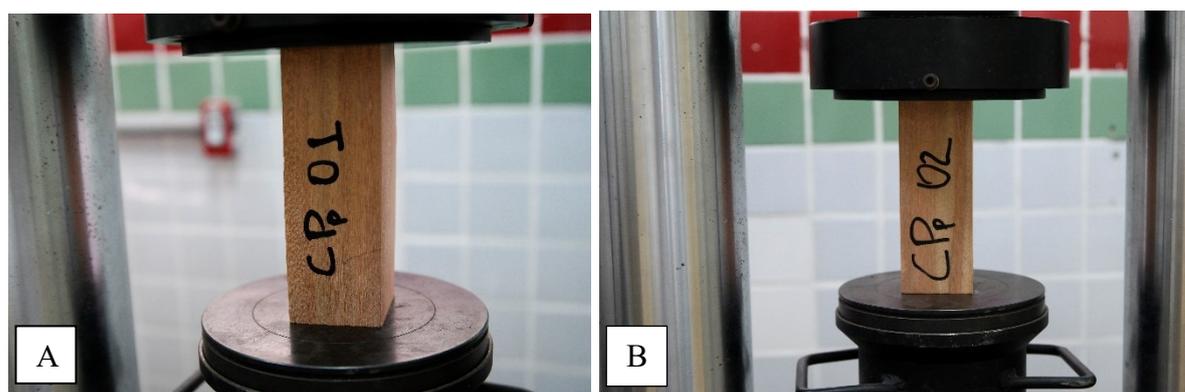
Tabela 10: Determinação da tensão de ruptura das amostras da espécie Angelim-vermelho caracterizadas através de ensaio de compressão paralelo às fibras

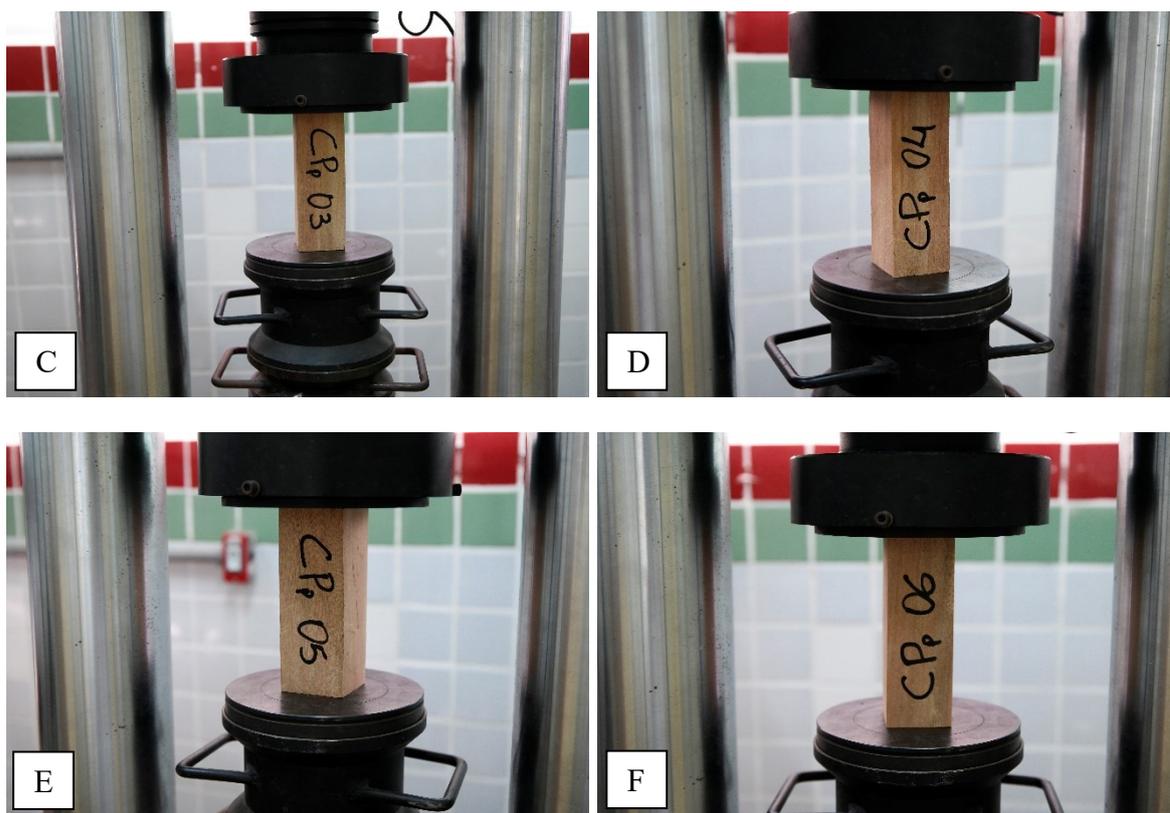
Provetes (nº)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área da Base (mm ²)	Força Máxima (N)	Tensão de Ruptura (σ_u) (MPa)
CP 1	53,02	51,25	2.717,28	239.000	87,96
CP 2	56,95	52,22	2.973,93	184.000	61,87
CP 3	51,49	52,54	2.705,28	190.000	70,23
CP 4	53,72	52,37	2.813,32	142.000	50,47
CP 5	51,58	55,82	2.879,20	179.000	62,17
CP 6	51,59	52,79	2.723,44	176.000	64,62

Fonte: Própria (2023)

A última amostragem a ser ensaiada através do ensaio de caracterização simplificado de compressão paralelo às fibras foi da espécie Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpinaceae), os provetes após o ensaio são mostrados na figura 66 a seguir:

Figura 66: A – Registro do CP 1 de Pracuúba após o rompimento do provete. B – Registro do CP 2 de Pracuúba após o rompimento do provete. C – Registro do CP 3 de Pracuúba após o rompimento do provete. D – Registro do CP 4 de Pracuúba após o rompimento do provete. E - Registro do CP 5 de Pracuúba após o rompimento do provete. F - Registro do CP 6 de Pracuúba após o rompimento do provete





Fonte: Própria (2023)

Finalizando a determinação da tensão de ruptura (σ_u) para as amostras de Pracuúba através dos dados gerados no relatório de ensaio, como pode ser analisado na tabela 11 a frente, na figura 67, tem-se a disposição das peças das amostras das três espécies ensaiadas, após o ensaio de caracterização.

Tabela 11: Determinação da tensão de ruptura das amostras da espécie Pracuúba caracterizadas através de ensaio de compressão paralelo às fibras

Provetes (n°)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área da Base (mm ²)	Força Máxima (N)	Tensão de Ruptura (σ_u) (MPa)
CP 1	53,35	53,82	2.655,81	176.000	66,27
CP 2	55,46	52,12	2.751,03	172.000	62,52
CP 3	51,06	51,86	2.701,40	135.000	49,97
CP 4	49,54	52,00	2.772,52	139.000	50,13
CP 5	54,89	53,54	2.836,47	145.000	51,12
CP 6	54,09	54,99	2.555,09	132.000	51,66

Fonte: Própria (2023)

Figura 67: Amostras das três espécies ensaiadas após o ensaio de compressão paralelo às fibras de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba

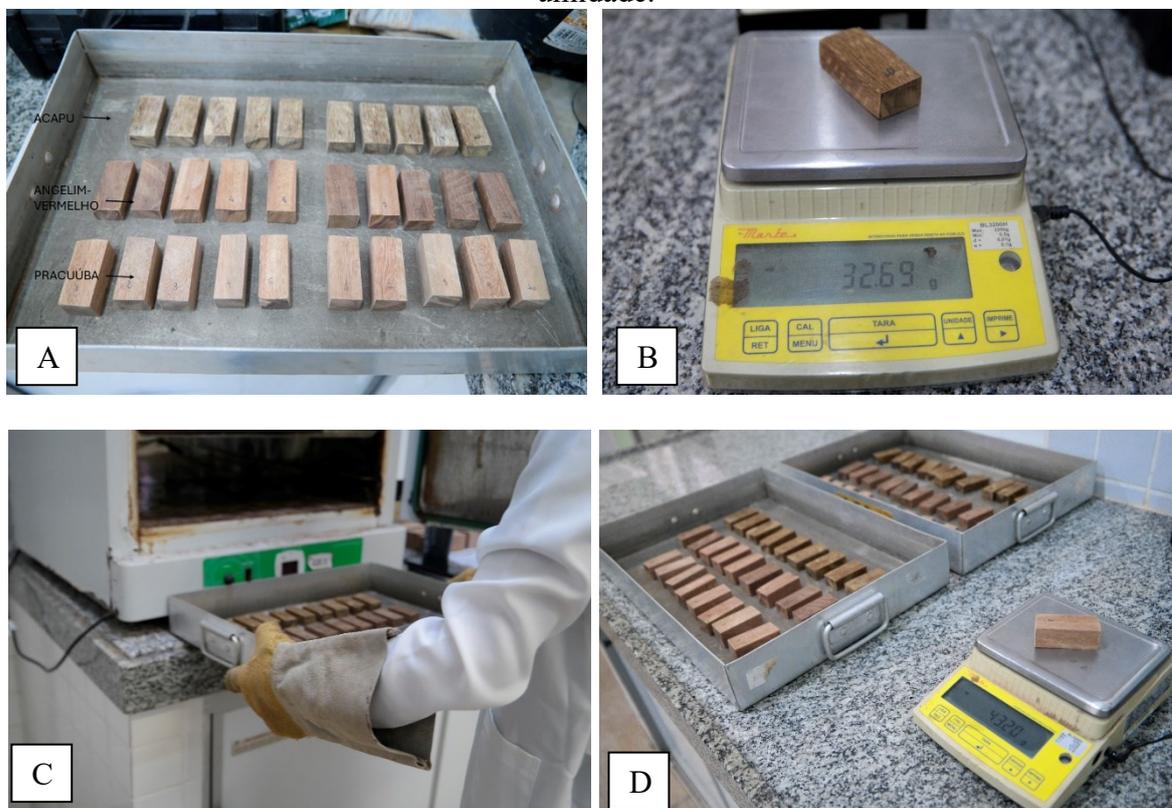


Fonte: Própria (2023)

5.2 ENSAIO DE UMIDADE E DENSIDADE APARENTE

O processo metodológico, após a realização do ensaio de compressão paralelo às fibras sendo ainda necessário a correção da umidade para 12%, foram os ensaios de umidade e de densidade aparente, utilizado para a realização desse ensaio contou com as orientações da ABNT NBR 7190-3 (2022), o ensaio de umidade contou com as medições das massas, através de balança digital de precisão dos corpos de prova de 10 provetes por espécie ensaiadas nesse trabalho, sendo realizado 4 ciclos de medições, com variação de tempo de 6 horas para cada nova análise, conforme figura 68 que mostram alguns dos registros do ensaio de umidade.

Figura 68: A – corpos de prova para o ensaio de umidade antes do processo de secagem. B – Pesagem com auxílio de balança digital das massas de cada corpo de prova numerado. C – Controle da estufa para secagem das peças em temperatura controlada de 103 °C. D – Pesagem dos corpos de prova após completo os 4 ciclos de estufa para determinação de umidade.



Fonte: Própria (2023)

O ensaio de densidade aparente (ρ_{ap}) foi realizado em paralelo ao ensaio de umidade, com o acréscimo que além das aferições das massas de cada corpo de prova, foram realizadas também medições das dimensões do corpo de prova afim de determinar o seu volume aproximado e possíveis processos de retrações que ocorreriam com ele, convencionou-se a determinação da massa seca (m_s), para isso também foram realizados 4 ciclos de medições e estufa para os corpos de prova com padronização conforme a ABNT NBR 7190-3 (2022), com temperatura da estufa controlada em $103\text{ °C} \pm 2$, assim como podem ser identificados em registros da figura 69 a seguir:

Figura 69: A – corpos de prova para o ensaio de densidade aparente antes do processo de secagem. B – Pesagem com auxílio de balança digital das massas de cada corpo de prova numerado. C – Medição das dimensões dos corpos de prova do ensaio de densidade aparente. D – Controle da estufa para secagem das peças em temperatura controlada de 103 °C. E – Conclusão dos 4 ciclos de estufa, sendo retirados com equipamentos de proteção. F – Pesagem e medição das dimensões dos corpos de prova após completo os 4 ciclos de estufa.



Fonte: Própria (2023)

Após a conclusão dos ensaios de umidade e densidade aparente das três amostragens de espécies que estão em estudo, chegou-se aos valores da tabela 12, para os valores de umidade (U), vale destacar que diante a rotina de funcionamento do laboratório as 4 (quatro) pesagens tiveram que se adequar, não sendo possível manter a padronização dos ciclos de 6 (seis) horas para pesagem de cada amostra, como pode ser avaliado a seguir:

Tabela 12: Valores das pesagens após a passagem dos corpos de prova das amostras de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba pelo processo de secagem pela estufa

Umidade amostras de Acapu			Umidade amostras de Angelim - vermelho			Umidade amostras de Pracuúba		
Horário	Provetes	Massa (g)	Horário	Provetes	Massa (g)	Horário	Provetes	Massa (g)
9h15	1	30,75	9h15	1	32,85	9h15	1	48,32
	2	35,33		2	30,86		2	40,47
	3	32,12		3	48,54		3	43,47
	4	32,86		4	48,13		4	42,10
	5	31,87		5	48,47		5	46,24
	6	35,07		6	43,61		6	44,06
	7	33,80		7	47,14		7	43,69
	8	32,73		8	33,70		8	47,87
	9	28,95		9	34,10		9	48,04
	10	34,21		10	30,05		10	41,59
15h15	1	28,85	15h15	1	30,68	15h15	1	45,20
	2	33,67		2	28,59		2	37,21
	3	30,58		3	45,62		3	40,42
	4	31,18		4	45,15		4	39,13
	5	30,39		5	45,53		5	43,28
	6	33,42		6	40,40		6	41,25
	7	32,16		7	44,33		7	40,97
	8	31,17		8	31,34		8	44,61
	9	27,27		9	31,48		9	44,78
	10	32,70		10	27,62		10	38,40
19h15	1	28,680	19h15	1	30,48	19h15	1	44,86
	2	33,490		2	28,44		2	36,91
	3	30,430		3	45,35		3	40,08
	4	31,010		4	44,85		4	38,80
	5	30,220		5	45,24		5	42,94
	6	33,230		6	40,10		6	40,95
	7	31,990		7	44,02		7	40,67
	8	30,980		8	31,11		8	44,27

	9	27,110		9	31,24		9	44,43
	10	32,520		10	27,43		10	38,09
	1	27,800		1	29,62		1	43,20
	2	32,580		2	27,69		2	35,71
	3	29,590		3	43,93		3	38,65
	4	30,140		4	43,40		4	37,43
07h15	5	29,430	07h15	5	43,78	07h15	5	41,42
	6	32,360		6	38,93		6	39,44
	7	31,130		7	42,67		7	39,20
	8	30,160		8	30,28		8	42,73
	9	26,360		9	30,36		9	42,82
	10	31,670		10	26,77		10	36,80

Fonte: Própria (2023)

As mesmas aferições eram realizadas para o ensaio de densidade aparente (ρ_{ap}), tendo ainda que serem consideradas as variações das dimensões dos corpos de prova, que eram realizadas através de medições com o auxílio de um paquímetro digital após serem realizados ciclos de secagem das peças na estufa do laboratório, os valores para esses corpos de prova podem ser encontrados na tabela 25, 26 e 27, respectivamente, para as espécies de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba, presentes no anexo B desse trabalho, que apresentam os valores dimensionais e de massa ao longo dos 4 (ciclos) de secagem através da estufa.

5.2.1 Análise estatística do ensaio de Umidade e Densidade Aparente

Frente aos contratemplos presentes para a realização correta das medições conforme o previsto nos itens c), presentes na (ABNT NBR 7190-3, 2022, p. 6), quanto aos ciclos de 6 (seis) horas para medições, na realização dos ensaios de umidade, foi feita a análise dos valores para verificação se foi obedecido o critério de determinação da massa seca, com previsão de valor de massa inferior ou igual a 0,5% do valor aferido de forma consecutiva, do último valor de massa medido. Nessa condição, os dados na tabela 12, apresentaram um decrescimento sutilmente linear da umidade presente nos corpos de prova das amostras, optou-se por usar uma interpolação entre os 4 valores aferidos no ensaio, para correção dos horários e massas que não puderam ser aferidos, observando que o valor de variação de massa era de aproximadamente 0,93%, 0,98% e 1,23%, para as amostras de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba, sendo

próximo do aceitável diante da indisponibilidade do laboratório para uma última passagem na estufa e medições. A tabela 13 abaixo traz os resultados tratados após essas verificações.

Tabela 13: Valores de Umidade das amostras das espécies Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba

Provetes	Umidade amostras de Acapu			Umidade amostras de Angelim-vermelho			Umidade amostras de Pracuúba		
	m_i	m_s	$U_{\%}$	m_i	m_s	$U_{\%}$	m_i	m_s	$U_{\%}$
1	30,75	27,80	9,59%	32,85	29,62	9,83%	48,32	43,20	10,60%
2	35,33	32,58	7,78%	30,86	27,69	10,27%	40,47	35,71	11,76%
3	32,12	29,59	7,88%	48,54	43,93	9,50%	43,47	38,65	11,09%
4	32,86	30,14	8,28%	48,13	43,40	9,83%	42,10	37,43	11,09%
5	31,87	29,43	7,66%	48,47	43,78	9,68%	46,24	41,42	10,42%
6	35,07	32,36	7,73%	43,61	38,93	10,73%	44,06	39,44	10,49%
7	33,80	31,13	7,90%	47,14	42,67	9,48%	43,69	39,20	10,28%
8	32,73	30,16	7,85%	33,70	30,28	10,15%	47,87	42,73	10,74%
9	28,95	26,36	8,95%	34,10	30,36	10,97%	48,04	42,82	10,87%
10	34,21	31,67	7,42%	30,05	26,77	10,92%	41,59	36,80	11,52%
Número	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Média Aritmética	33,00	30,32	8,10%	42,08	37,89	10,14%	44,11	39,31	10,88%
Desvio-padrão	1,84	1,84	0,01	8,16	7,42	0,01	2,83	2,70	0,00
Coefficiente de variação	0,06	0,06	0,08	0,19	0,20	0,06	0,06	0,07	0,04

Fonte: Própria (2023)

Os resultados mostram um valor de umidade para as amostras de Acapu de $U (\%) = 8,10\%$, para as amostras de Angelim-vermelho de $U (\%) = 10,14\%$ e de Pracuúba com $U (\%) = 10,88\%$, vale destacar que a ABNT NBR 7190-1 (2022) constitui como condição-padrão o teor de umidade de equilíbrio da madeira em 12%, quando se caracteriza um lote ou vários lotes para determinar propriedades de resistência os resultados provenientes desse ensaio são realizados com variados teores de umidade e para aqueles contidos entre 10% a 25% serão corrigidos para a umidade-padrão de 12%, vale destacar que para as peças do lote de Acapu (*Vouacapoua*

americana (Aubl.)) o seu processo de secagem é mais eficiente ao ar livre do que as demais espécies, conforme Remade (2024), por sua vez Moraes (1970) afirma que a espécie, além disso, fisiologicamente a espécie apresenta uma maior restrição ao processo de transpiração, por sua vez, Rodrigues *et al.* (2010) afirma que o teor de umidade da espécie abaixo de 20% deve-se ao fato de sua resistência a degradação por microrganismos.

Deve-se ainda somar a essas considerações a temperatura ambiente em que se encontravam as amostras ensaiadas que influenciam diretamente na água impregnada na peça até que se alcance a umidade de equilíbrio, segundo Valle *et al.*, (2012), como pode ser visto na figura 17. Esses valores de teor de umidade podem variar desde o ambiente em que se encontram até através do tipo de espécie, como visto na figura 18, explicada através de Dinwoodie (1981) apud Hara (2011).

Os resultados para densidade aparente (ρ_{ap}) para as amostragens das espécies de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba encontrados através do ensaio de laboratório podem ser lidos, respectivamente, na tabela 14, tabela 15 e tabela 16, que apresentam os valores de massa e volume secas após o processo de secagem na estufa, para inicialmente determinar a U (%) do lote e determinar a densidade aparente (ρ_{ap}) de 12% através do diagrama de Kolimann, como orienta o item d) da ABNT NBR 7190-3 (2022), através dessa metodologia obteve-se:

Tabela 14: Valores de Densidade aparente das amostras da espécie Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.))

Provetes	Umidade (U%)			Densidade aparente ($\rho_{U\%}$)			
	$m_i(g)$	$m_s(g)$	$U_{\%}$	$V_i(cm^3)$	$V_s(cm^3)$	$\Delta V(\%)$	$\rho_{U\%}(\frac{g}{cm^3})$
1	33,29	30,90	7,18%	33,76	32,10	5,19%	0,96
2	33,77	31,43	6,93%	33,04	32,17	2,72%	0,98
3	34,05	31,63	7,11%	35,08	33,70	4,09%	0,94
4	33,89	31,54	6,93%	33,92	32,82	3,37%	0,96
5	33,30	30,99	6,94%	33,88	32,46	4,37%	0,95
6	32,60	30,20	7,36%	33,36	30,98	7,69%	0,97
7	31,97	29,10	8,98%	33,51	31,31	7,04%	0,93
8	33,63	31,25	7,08%	35,18	32,84	7,13%	0,95
9	35,67	33,16	7,04%	35,74	33,29	7,35%	1,00
10	33,20	30,83	7,14%	34,74	31,60	9,95%	0,98
Número	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Média Aritmética	33,54	31,10	7,27%	34,22	32,33	5,89%	0,96

Fonte: Própria (2024)

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{U\%} = \frac{5,89}{7,27} = 0,81$$

$$\rho_{12} = \rho_{U\%} + \rho_{U\%} \times \left[(1 - \delta_V) \times \left(\frac{12 - U\%}{100} \right) \right]$$

$$\rho_{12} = 0,96 + 0,96 \times \left[(1 - 0,81) \times \left(\frac{12 - 7,27}{100} \right) \right]$$

$$\therefore \rho_{12} = 0,97 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Tabela 15: Valores de Densidade aparente das amostras da espécie Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.))

Provetes	Umidade (U%)			Densidade aparente ($\rho_{U\%}$)			
	$m_i(g)$	$m_s(g)$	$U\%$	$V_i(cm^3)$	$V_s(cm^3)$	$\Delta V(\%)$	$\rho_{U\%} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$
1	33,51	30,23	9,79%	32,93	30,04	9,62%	1,01
2	34,84	31,55	9,44%	34,23	31,46	8,80%	1,00
3	31,52	28,30	10,22%	32,33	26,53	21,83%	1,07
4	29,89	26,92	9,94%	29,39	26,63	10,34%	1,01
5	34,52	30,88	10,54%	33,69	30,59	10,13%	1,01
6	34,35	31,12	9,40%	31,45	29,85	5,35%	1,04
7	31,82	28,62	10,06%	31,51	28,53	10,44%	1,00
8	34,80	31,53	9,40%	32,53	29,39	10,68%	1,07
9	33,48	30,27	9,59%	32,44	29,38	10,41%	1,03
10	35,25	31,92	9,45%	32,92	30,21	8,97%	1,06
Número	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Média Aritmética	33,40	30,13	9,78%	32,34	29,26	10,66%	1,03

Fonte: Própria (2024)

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{U\%} = \frac{10,66}{9,78} = 1,09$$

$$\rho_{12} = \rho_{U\%} + \rho_{U\%} \times \left[(1 - \delta_V) \times \left(\frac{12 - U\%}{100} \right) \right]$$

$$\rho_{12} = 1,03 + 1,03 \times \left[(1 - 1,09) \times \left(\frac{12 - 9,78}{100} \right) \right]$$

$$\therefore \rho_{12} = 1,02 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Tabela 16: Valores de Densidade aparente das amostras da espécie *Pracuúba (Mora paraensis* Ducke Caesalpinaceae)

Provetes	Umidade (U%)			Densidade aparente ($\rho_{U\%}$)			
	$m_i(g)$	$m_s(g)$	$U_{\%}$	$V_i(cm^3)$	$V_s(cm^3)$	$\Delta V(\%)$	$\rho_{U\%}(\frac{g}{cm^3})$
1	32,00	28,88	9,75%	29,28	26,22	11,67%	1,10
2	29,41	26,62	9,49%	28,58	26,68	7,09%	1,00
3	30,15	27,18	9,85%	28,53	25,03	13,98%	1,09
4	29,65	26,64	10,15%	26,51	24,09	10,01%	1,11
5	31,42	28,52	9,23%	30,12	27,28	10,40%	1,05
6	30,77	27,89	9,36%	30,24	27,10	11,58%	1,03
7	32,18	29,22	9,20%	29,21	26,84	8,81%	1,09
8	32,14	29,07	9,55%	29,12	26,31	10,66%	1,10
9	29,17	26,39	9,53%	28,91	26,19	10,40%	1,01
10	28,83	26,09	9,50%	28,94	25,96	11,51%	1,01
Número	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Média							
Aritmética	30,57	27,65	9,56%	28,94	26,17	10,61%	1,06

Fonte: Própria (2024)

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{U\%} = \frac{10,61}{9,56} = 1,11$$

$$\rho_{12} = \rho_{U\%} + \rho_{U\%} \times \left[(1 - \delta_V) \times \left(\frac{12 - U\%}{100} \right) \right]$$

$$\rho_{12} = 1,06 + 1,06 \times \left[(1 - 1,11) \times \left(\frac{12 - 9,56}{100} \right) \right]$$

$$\therefore \rho_{12} = 1,04 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Pode-se simplificar os valores através da tabela 17, que apresenta resumidamente os valores dos dois ensaios, tanto para umidade (U%) quanto densidade aparente (ρ_{ap}):

Tabela 17: Resultados dos ensaios de Umidade e de Densidade Aparente para as amostras das três espécies ensaiadas

Espécies ensaiadas	Umidade U (%)	Densidade Aparente $\rho_{ap}(\frac{g}{cm^3})$
Acapu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.))	8,10	0,97
Angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.))	10,14	1,02
Pracuúba (<i>Mora paraensis</i> Ducke Caesalpiniaceae)	10,88	1,04

Fonte: Própria (2024)

5.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO PARALELO ÀS FIBRAS E DAS RELAÇÕES EXISTENTES PARA VALORES CARACTERÍSTICOS

A correção do teor de umidade das resistências da madeira é necessária, tendo em vista que as variações de umidade influenciam diretamente nas propriedades como já supracitado em itens anteriores desse trabalho. Dessa forma, a correção ocorre como indicado na equação 8, na ABNT NBR 7190-1 (2022), para uma classe I, de 12% como condição-padrão, a fórmula aplicou-se apenas para as resistências das espécies de Angelim-vermelho e Pracuúba, que devem apresentar essa resistência corrigida, devido aos seus valores de umidade (U%) estarem no intervalo de valores apresentados pela norma de 10% a 25% de umidade, bem como também serão determinados através das relações existentes para o ensaio simplificado para demais propriedades mecânicas para as três espécies ensaiadas Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba, nas tabelas 18, 19 e 20, respectivamente, serão apresentados esses cálculos.

Tabela 18: Valores obtidos, do ensaio simplificado da madeira Acaçu (*Vouacapoua americana* (Aubl.))

Provetes	Resistência à	Relações para valores característicos (paralelo às fibras)			
	compressão	Tração	Cisalhamento	Flexão	Embutimento
	Compressão	Tração	Cisalhamento	Flexão	Embutimento
	$f_{c0,8.10\%}$	$f_{t0,8.10\%}$	$f_{v0,8.10\%}$	$f_{M0,8.10\%}$	$f_{e0,8.10\%}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
CP 1	63,63	82,64	9,55	82,64	63,63
CP 2	79,61	103,39	11,94	103,39	79,61
CP 3	74,04	96,15	11,11	96,15	74,04
CP 4	60,59	78,69	9,09	78,69	60,59
CP 5	72,98	94,78	10,95	94,78	72,98
CP 6	71,23	92,51	10,68	92,51	71,23
Número	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Média	70,35	91,36	10,55	91,36	70,35
Aritmética					
Desvio	7,03	9,13	1,05	9,13	7,03
Padrão					
Coef.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Variação					

Fonte: Própria (2024)

Tabela 19: Valores obtidos, do ensaio simplificado da madeira Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.))

Provetes	Resistência à	Relações para valores característicos (paralelo às fibras)			
	compressão	Tração	Cisalhamento	Flexão	Embutimento
	Compressão	Tração	Cisalhamento	Flexão	Embutimento
	$f_{c0,12\%}$	$f_{t0,12\%}$	$f_{v0,12\%}$	$f_{M0,12\%}$	$f_{e0,12\%}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
CP 1	83,05	107,85	12,46	107,85	83,05
CP 2	58,42	75,87	8,76	75,87	58,42
CP 3	66,31	86,12	9,95	86,12	66,31
CP 4	47,66	61,89	7,15	61,89	47,66
CP 5	58,70	76,24	8,81	76,24	58,70

CP 6	61,02	79,24	9,15	79,24	61,02
Número	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Média	62,53	81,20	9,38	81,20	62,53
Aritmética					
Desvio	11,75	15,26	1,76	15,26	11,75
Padrão					
Coef.	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Variação					

Fonte: Própria (2024)

Tabela 20: Valores obtidos, do ensaio simplificado da madeira Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpinaceae)

Provetes	Resistência à compressão	Relações para valores característicos (paralelo às fibras)			
	Compressão	Tração	Cisalhamento	Flexão	Embutimento
	$f_{c0,12\%}$ (MPa)	$f_{t0,12\%}$ (MPa)	$f_{v0,12\%}$ (MPa)	$f_{M0,12\%}$ (MPa)	$f_{e0,12\%}$ (MPa)
CP 1	64,04	83,17	9,61	83,17	64,04
CP 2	60,42	78,47	9,06	78,47	60,42
CP 3	48,29	62,72	7,24	62,72	48,29
CP 4	48,45	62,92	7,27	62,92	48,45
CP 5	49,40	64,16	7,41	64,16	49,40
CP 6	49,93	64,84	7,49	64,84	49,93
Número	6	6	6	6	6
Média	53,42	69,38	8,01	69,38	53,42
Aritmética					
Desvio	6,95	9,02	1,04	9,02	6,95
Padrão					
Coef.	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Variação					

Fonte: Própria (2024)

5.3.1 Determinação das resistências características das amostras das três espécies ensaiadas

Diante dos resultados presentes nas tabelas 21, 22 e 23, pode-se calcular o valor característico para as propriedades da madeira, conforme ABNT NBR 7190-3 (2022). Frente a equação 15, obteve-se para as espécies:

5.3.1.1 Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.))

$$(X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n) = 60,59 + 63,63 + 71,23 + 72,98 + 74,04 + 79,61$$

$$X_{wk} = \left(2 \times \frac{60,59 + 63,63 + 71,23 + 72,98 + 74,04 + 79,61}{\frac{6}{2} - 1} - 71,23 \right) \times 1,1$$

$$X_{wk} = 385,93 \text{ MPa}$$

Entretanto,

$$X_{wk} = \begin{cases} X_{wk} \geq X_1 \\ X_{wk} \geq 0,7 \times X_m \\ X_{wk} \leq X_m \end{cases} = \begin{cases} X_{wk} \geq 60,59 \\ X_{wk} \geq 0,7 \times 70,35 \\ X_{wk} \leq 70,35 \end{cases} = \begin{cases} X_{wk} \geq 60,59 \\ X_{wk} \geq 49,24 \\ X_{wk} \leq 70,35 \end{cases}$$

Dessa forma, descartou-se o valor encontrado e manteve-se a média aritmética como valores representativos para resistência característica à compressão paralelo às fibras, para a espécie de Acapu, de valor:

$$X_{wk} = 70,35 \text{ MPa}$$

5.3.1.2 Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.))

$$(X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n) = 47,66 + 58,42 + 58,70 + 61,02 + 66,31 + 83,05$$

$$X_{wk} = \left(2 \times \frac{47,66 + 58,42 + 58,70 + 61,02 + 66,31 + 83,05}{\frac{6}{2} - 1} - 58,70 \right) \times 1,1$$

$$X_{wk} = 283,53 \text{ MPa}$$

Verificando,

$$X_{wk} = \begin{cases} X_{wk} \geq X_1 \\ X_{wk} \geq 0,7 \times X_m \\ X_{wk} \leq X_m \end{cases} = \begin{cases} X_{wk} \geq 47,66 \\ X_{wk} \geq 0,7 \times 62,53 \\ X_{wk} \leq 62,53 \end{cases} = \begin{cases} X_{wk} \geq 60,59 \\ X_{wk} \geq 43,77 \\ X_{wk} \leq 62,53 \end{cases}$$

Assim, o mesmo processo seguiu para a segunda espécie, em que se descartou o valor encontrado e utilizando-se a média aritmética como valores representativos para resistência característica à compressão paralelo às fibras, para a espécie de Angelim-vermelho, de valor:

$$X_{wk} = 62,53 \text{ MPa}$$

5.3.1.3 Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae)

$$(X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n) = 48,29 + 48,45 + 49,40 + 49,93 + 60,42 + 64,04$$

$$X_{wk} = \left(2 \times \frac{48,29 + 48,45 + 49,40 + 49,93 + 60,42 + 64,04}{\frac{6}{2} - 1} - 49,40 \right) \times 1,1$$

$$X_{wk} = 243,91 \text{ MPa}$$

Verificando,

$$X_{wk} = \begin{cases} X_{wk} \geq X_1 \\ X_{wk} \geq 0,7 \times X_m \\ X_{wk} \leq X_m \end{cases} = \begin{cases} X_{wk} \geq 48,29 \\ X_{wk} \geq 0,7 \times 53,42 \\ X_{wk} \leq 53,42 \end{cases} = \begin{cases} X_{wk} \geq 48,29 \\ X_{wk} \geq 37,39 \\ X_{wk} \leq 53,42 \end{cases}$$

Por fim, esse processo seguiu para a terceira espécie, em que se descartou o valor encontrado através da equação e utilizando-se a média aritmética como valores representativos para resistência característica à compressão paralelo às fibras, para a espécie de Pracuúba, de valor:

$$X_{wk} = 53,42 \text{ MPa}$$

Em síntese, frente os valores para a resistência característica (X_{wk}) de compressão paralelo às fibras para as amostragens das espécies podem ser verificadas na tabela 21 abaixo, realizando essa análise também para as demais propriedades da madeira paralelo às fibras, encontradas através das relações existentes:

Tabela 21: Resultados do cálculo de resistência característica para as três espécies ensaiadas

Espécies ensaiadas	Resistência à compressão $f_{c0,k}$ (MPa)	Resistência à tração $f_{t0,k}$ (MPa)	Resistência à cisalhamento $f_{v0,k}$ (MPa)	Resistência à flexão $f_{M0,k}$ (MPa)	Resistência à embutimento $f_{e0,k}$ (MPa)
Acapu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.))	70,35	91,36	10,55	91,36	70,35
Angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.)) Pracuúba (<i>Mora paraensis</i> Ducke Caesalpiniaceae)	62,53	81,20	9,38	81,20	62,53
	53,42	69,38	8,01	69,38	53,42

Fonte: Própria (2024)

Diante desses valores de resistência pode-se determinar a classe de resistência que as amostras caracterizadas das espécies se encontram, para isso será utilizada a tabela 22, que traz os dados presentes na ABNT NBR 7190-1 (2022), que apresenta os valores das espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpo de prova, dados que se enquadram ao proposto nesse trabalho.

Tabela 22: Classe de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos

Classes	$f_{c0,k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,med}$ MPa	Densidade a 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 desta Tabela foram obtidos de acordo 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)

Fonte: ABNT NBR 7190-1 (2022) Alterado pelo autor

Pode-se a partir da tabela 22, supracitada, verificar as classes as quais pertencem as amostras das três espécies ensaiadas, em que as espécies Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)) e Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)), após análise dos dados encontrados apresentam-se como classe de resistência D60, já a espécie Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae) está na classe de resistência D50.

5.4 DISCUSSÃO E ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ESPÉCIES

Diante dos valores levantados para a classe de resistência encontrada para as amostras das espécies de Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)) e Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) e Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae), pode-se realizar uma análise entre as espécies com informações normativas de classe de resistência, através da tabela 23, presentes no anexo A da norma ABNT NBR 7190-3 (2022), que trazem espécies com essa mesma classe de resistência das comercialmente utilizada na cidade de Macapá, conforme abaixo:

Tabela 23: Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil

Classe de Resistência	Nome Popular	Nome científico
D50	Angelim Pedra	<i>Hymenolobium paetrum</i>
D50	Angelim Saia	<i>Vatairea sp.</i>
D50	Casca Grossa	<i>Pouteria pachycarpa</i>
D50	Envira	<i>Xylopia sp.</i>
D50	Louro Preto	<i>Ocotea sp.</i>
D50	Mirarema	<i>Hymenolobium sp.</i>
D50	Peroba Mica	<i>Aspidosperma sp.</i>
D50	Piolho	<i>Tapirira sp.</i>
D60	Angelim Ferro	<i>Hymenolobium sp.</i>
D60	Angelim Vermelho	<i>Dizia excelsa</i>

D60	Angico Preto	<i>Anadenanthera macrocarpa</i>
D60	Breu Vermelho	<i>Protium sp.</i>
D60	Champanhe	<i>Dipteryx odorata</i>
D60	Cutiúba	<i>Qualea paraensis</i>
D60	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>
D60	Maçaranduba	<i>Manilkara sp.</i>
D60	Sucupira	<i>Bowdichia sp.</i>

Fonte: ABNT NBR 7190-3 (2022) Alterado pelo autor

Vale destacar que apenas a espécie ainda que a espécie Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) é a única entre as espécies ensaiadas e comercializadas localmente que é trazida pela nova atualização da ABNT NBR 7190-3 (2022). É importante ressaltar que a antiga ABNT NBR 7190 (1997) trazia ainda comparativos entre os valores das propriedades mecânicas e físicas, em seus anexos, situação não encontrada para comparativos entre a espécie de Angelim-vermelho para a norma vigente. Gonzaga (2006) e Remade (2024) trazem informações quanto as características física e mecânicas da espécie Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)) apresentando propriedades como $\rho_{15\%} = 0,91 \text{ g/cm}^3$, classificada como madeira pesada, com $f_{c0,15\%} = 93,46 \text{ MPa}$, resultados próximos do verificado com os ensaios realizados com as amostras de *Vouacapoua americana* (Aubl.), que obtiveram valores de densidade $\rho_{12\%} = 0,97 \text{ g/cm}^3$ e de resistência característica à compressão de $f_{c0,k} = 70,35 \text{ MPa}$, vale destacar que vários podem ser os fatores que levam em uma variação de resultados das propriedades físico-mecânicas de uma amostra submetida a ensaios de caracterização, como ressaltadas por Pfeil W. (2003) que influenciam na precisão de resultados como: a posição da peça de madeira; defeitos na peça de madeira, em sua textura ou decomposição; umidade; tempo de duração de carga, além da idade das peças as quais se estão ensaiando, pois a maturidade das peças de madeira serrada e o tempo de corte para a secagem das peças são fatores que geram variações. Além disso, Furtado *et al.*, (2015) ainda pontua em suas pesquisas que a espécie *Vouacapoua americana* (Aubl.) apresenta comparado a espécies como *Dinizia excelsa* (Ducke.) e outras estudadas como a que se mostra muito durável (15-20 anos em contato com o solo), enquanto as demais mostram duração entre 7-15 anos, mesmo que a densidade da espécie Angelim-vermelho seja consideravelmente maior, sendo uma

variação de densidade, que para as espécies de Acapu estejam em (0,85 a 0,95) g/cm³, enquanto as de Angelim-vermelho de (0,83 a 0,99) g/cm³.

Os resultados da espécie *Dinizia excelsa* (Ducke.) para propriedades físico-mecânicas para EMBRAPA (2004) variam com densidade aparente $\rho_{15\%} = 0,83 \text{ g/cm}^3$, com resistência à compressão paralela às fibras de $f_{c0,15\%} = 60,31$ a $85,61$ MPa, para e Remade (2024) esses valores foram de $\rho_{15\%} = 1,09 \text{ g/cm}^3$ e de resistência à compressão de $f_{c0,15\%} = 65,21$ a $80,90$ MPa, conforme esses a variação dá-se através da madeira verde ou com umidade de 15% na peça, resultados esses dentro da expectativa do ensaio das amostras de Angelim-vermelho que resultaram em densidade aparente de $\rho_{12\%} = 1,02 \text{ g/cm}^3$ e resistências à compressão de $f_{c0,k} = 62,53$ MPa dentro do esperado através do ensaio da norma ABNT NBR 7190-3 (2022), com classe de resistência de D60, resultados também compatíveis encontrados através do trabalho de Dias, F. M. (2000), que aplicou a metodologia normativa para determinação das resistências e suas respectivas relações para a propriedade mecânica da espécie *Dinizia excelsa* (Ducke.), obtendo os seguintes resultados através do ensaio de cada propriedade, conforme a tabela 24 a seguir:

Tabela 24: Resultados das resistências características das espécies

Espécie (NOME CIENTÍFICO)	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA			
	$f_{c0,k}$ MPa	$f_{t0,k}$ MPa	$f_{M0,k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa
<i>Dinizia excelsa</i>	72,7	77,0	90,2	13,4

Fonte: Dias, F. M. (2000), alterado pelo autor

Nota-se que os resultados trazidos pelo trabalho de Dias, F. M. (2000) mostram uma variação a ser considerada, quando comparada com as relações encontradas através da tabela 24, entretanto o autor ainda mostra que tais variações acontecem quando se aplicam as relações das propriedades trazidas na norma ABNT 7190-3 (2022), quando se compara os resultados realizados do ensaio para cada propriedade, demonstrando a importância de aferições das propriedades mecânicas através do ensaio, mesmo assim, ainda existe uma determinada aproximação dos valores para fins de conhecimento das propriedades na ocasião de não ser possível a realização do ensaio completo, como é o caso do trabalho em questão, mesmo assim os valores trazidos pelo autor são compatíveis com esse trabalho e com os valores de classe de resistência trazidas pela norma ABNT 7190-3 (2022), na sua tabela 23.

Os resultados encontrados para a espécie *Mora paraensis* Ducke Caesalpiniaceae são compatíveis com os dados de Coelho (2014), que utiliza a espécie para um estudo de adequação em cruzetas, nesses resultados o autor determinou os valores de densidade aparente para a espécie como $\rho_{12\%} = 1,01 \text{ g/cm}^3$ e para resistência à compressão mecânica com o valor de $f_{c0,k} = 56,09 \text{ MPa}$, resultados próximos aos encontrados através dos ensaios para as amostras de Pracuúba presentes na tabela 17 e 21. Além disso, os resultados determinados para a espécie são compatíveis para espécies da mesma família das Fabaceae presentes na tabela 23, da ABNT NBR 7190-3 (2022), para as espécies *Hymenolobium paetrum* e *Hymenolobium sp.* ambas com classe de resistência D50. Situação análoga com a tabela 23 acontece para as espécies da família Fabaceae, a qual pertencem as espécies das amostras de *Vouacapoua americana* (Aubl.) e *Dinizia excelsa* (Ducke.), na tabela supracitada as espécies *Hymenolobium sp.*, *Dipteryx odorata* e *Bowdichia sp.* possuem a mesma classe de resistência da determinada nesse trabalho de D60, resultado compatível quando comparados com os resultados do trabalho de Coelho (2014), que mostram resistência características à compressão paralelo às fibras de $f_{c0,k} = 71,0 \text{ MPa}$ e $f_{c0,k} = 96,2 \text{ MPa}$, com classe de resistência de D60 para espécies de mesma família que as utilizadas nesse trabalho.

É importante ressaltar que conforme Gonzaga (2006) recomenda a utilização da espécie *Vouacapoua americana* (Aubl.), o Acapu, em carpintaria naval (obras vivas), por suas características especiais, como as ressaltadas através de Gonzaga (2006), Remade (2024) e Gomes *et al.*, (1987) mostram que a espécie de elevada resistência a ataque de xilófagos, bem como a ambientes terrenos ou aquáticos abertos, mas também com alto teor de umidade no ambiente, podendo ser empregada como marcenaria, assoalhos, tacos, dormentes, vigas, dormentes, moveis finos e construção externas, mas tem seu destaque em aplicações de pontes e habitações, por sua impermeabilidade natural, sendo empregada sobretudo em áreas alagadiças em bairros periféricos. No Amapá, a espécie é comumente indicada para a construção e reconstrução de pontes de madeira de lei, conforme o projeto do SETRAP (2022), considerada uma madeira branca como cita SEMA (2022), assim como o Angelim-vermelho. A espécie *Dinizia excelsa* (Ducke.), de Angelim-vermelho, já é orientada para uso em pontes, portes, mourões e estacas, por ser uma madeira nobre para SEMA (2022), a espécie é indicada para construções pesadas devido sua densidade e resistências, na marcenaria, construção naval e dormentes, para Remade (2024), EMBRAPA (2004) e Lorenzi (1992), sendo compatível as aplicações com os resultados determinados através do ensaio laboratorial. Por fim, a espécie

Mora paraensis Ducke, a Pracuúba, que tem seu uso indicado, para Remade (2024), em marcenaria, dormentes, esteios, vigamentos, carpintaria, estacas e na construção civil e naval, como também tem uso em artesanato por usa fácil manipulação e acabamento. No Amapá, a pracuúba é bastante utilizada para construção de casas, fabricação de móveis e para instalação de cercados, segundo MIRANDA (2009), como outros usos, pela sua resistência e densidade aparente a espécie tem características adequadas para os fins estruturais que ela também é indicada, assim como as espécies de Angelim-vermelho e Acapu, que tem desempenhos superiores, podendo ainda ter seu uso para outros fins.

6 CONCLUSÃO

Com a presente pesquisa, através do uso da ABNT NBR 7190-3 (2022) foi possível determinar, por meio do ensaio de caracterização mecânica simplificada para as amostras de três espécies nativas: Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)), Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) e Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke), as quais são comercializadas na região norte, em especial, na cidade de Macapá-AP, para esse trabalho adquiridas nas madeireiras do Canal do Jandiá, como madeiras serradas, as resistências à compressão paralelo às fibras, utilizar as relações existentes e definir as outras propriedades mecânicas das espécies, através da tensão de ruptura das mesmas nos corpos de prova, bem como encontrar a densidade aparente e umidade das peças ensaiadas, para correção de umidade conforme orientado pela norma como 12%, classe I, para valores de umidade variando de 10% a 25%, definir as resistências características das três espécies utilizadas nesse trabalho e realizar a definição da classe de resistência através da tabela 22, presentes na NBR 7190-1 (2022), bem como realizar a comparação entre as espécies fonte dessa pesquisa, como entre as espécies que tem sua classe de resistência prevista em norma.

Os resultados foram satisfatórios com a hipótese trazida nesse trabalho, dado que foi possível, apesar de certas simplificações e das incertezas por se tratar de um material ortotrópico, os quais uma série de fatores, tais como defeitos, a espécie, umidade, preparo das peças, equipamentos, aplicação do carregamento, idade das peças, podem interferir nos valores trazidos foram obtidos valores razoavelmente satisfatório e até compatível com as referências normativas e bibliográficas vigente, apesar de não ser um ramo de pesquisa que se tenha um grande fomento de trabalhos, o estudo das espécies florestais amazônicas, que rotineiramente são utilizadas nas construções civis, essas trazidas nesse trabalho com madeiras que são bastante empregadas em estruturas de pontes, construção civil e naval, é necessário fomento à pesquisa para definir e melhor empregar as riquezas naturais que se tem disponibilidade, usando-as de forma responsável e correto desses recursos essenciais. O emprego de ensaios através da ABNT NBR 7190-3 (2022) possibilitou responder a problemática levantada e abrir caminho para o aprofundamento da pesquisa para outras diversas espécies empregadas rotineiramente na construção civil. Somadas a isso, a pesquisa demonstrou que o emprego das madeiras estudadas é coerente para a finalidade que são empregadas, sendo ainda algumas, como no caso do Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)), devido as suas características naturais indicada para aplicação naval, bem como peça estrutural em ambientes úmidos ou alagados por ser resistente

a umidade e ter boa resistência a ataque de xilófagos. As densidades das três espécies foram caracterizadas como equivalentes as comumente encontradas na literatura para madeiras pesadas, sendo essas propriedades físicas compatível com o encontrado nas referências bibliográficas, tendo as espécies de Acapu, Angelim-vermelho e Pracuúba passado pelo ensaio de densidade aparente (ρ_{ap}), como define a ABNT NBR 7190-3 (2022), e seus valores corrigidos, encontrando-se os resultados presentes na tabela 17, sendo esses: $\rho_{ap} = 0,97 \text{ g/cm}^3$ para o Acapu, $\rho_{ap} = 1,01 \text{ g/cm}^3$ para o Angelim-vermelho e $\rho_{ap} = 1,04 \text{ g/cm}^3$ para Pracuúba. A classe de resistência conforme a norma para essas espécies mostrou tanto o Acapu e Angelim-vermelho como classe D60 e a madeira serrada da Pracuúba como D50.

Em suma, os objetivos a que se propôs a pesquisas de forma geral foram satisfatoriamente atendidos, diante dos resultados determinados, após ensaio das três amostras em laboratório, nas tabelas 9,10 e 11 para tensão de ruptura, as resistências com umidade corrigidas presentes na tabela 18, 19 e 20. Assim como a definição das resistências características mecânicas das amostras ensaiadas das espécies: Acapu (*Vouacapoua americana* (Aubl.)), Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* (Ducke.)) e Pracuúba (*Mora paraensis* Ducke), que pode ser analisada na tabela 21, com valores de resistência característica de compressão paralela às fibras $f_{c0,k} = 70,35 \text{ MPa}$ para Acapu, $f_{c0,k} = 62,53 \text{ MPa}$ para Angelim-vermelho e $f_{c0,k} = 53,42 \text{ MPa}$ para Pracuúba.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Apesar de resultados satisfatórios, a pesquisa não deve se limitar até aqui, sendo necessário trabalhos e ensaios mecânicos futuros de caracterização completa de alguma amostra de madeira, principalmente para espécies nativas desconhecidas e sem informações normativas, como foi o caso das espécies: *Vouacapoua americana* (Aubl.) e *Mora paraensis* Ducke, o emprego de ensaios mecânicos de caracterização completa, para determinar através do ensaio as propriedades mecânicas e assim realizar um comparativo se as relações existentes entre as propriedades mecânicas são confiáveis comparado com os valores do ensaio para determinada propriedade, situação não possível para esse trabalho devido a indisponibilidade de equipamentos para a realização desses ensaios;
- Realizar um controle maior da preparação das amostras para a realização do ensaio, desde a idade da madeira ensaiada, a umidade que ela apresenta, para não ter secagem significativa desde a hora do corte e serragem e a qualidade na preparação dos corpos de prova, para respeitar as orientações normativas, posto que fatores como esses podem interferir nos resultados ou desempenho das peças durante o ensaio de caracterização;
- Disponibilidade dos equipamentos para conhecer o comportamento das amostras durante a realização do ensaio de caracterização, através dos diagramas de tensão x deformação, que não foram possíveis devido a não disponibilidade dos equipamentos para medição da deformação das peças e definição de propriedades como a rigidez das amostras ensaiadas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estrutura de madeira Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 93 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estrutura de madeira Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 36 p.
- AZEVEDO, T.; ROSA, M. R.; SHIMBO, J. Z.; OLIVEIRA, M. G. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020**. São Paulo: MAPBIOMAS, 2021, 93 p.
- CARREIRA, M. R. **Critérios para Classificação Visual de Peças Estruturais de *Pinus Sp.*** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- COELHO, M. U. **Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2014. Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- CORREIA, E. A. S. **Análise e Dimensionamento de Estruturas de Madeira**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – especialização em estruturas) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, 2009.
- D'ARACE, L. M. B.; OLIVEIRA, B. L.; NUNES, B. A.; ROCHA, E. S.; CHAVES, R. S. S.; COSTA, R. R. Produção de madeira em tora e lenha no norte do Brasil e no estado do Pará. **Braz. J. of Develop**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 16885-16896, sep. 2019.
- DIAS F. M. **A Densidade Aparente como Estimador de Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- EMBRAPA Amazônia Oriental. **Espécies Arbóreas da Amazônia nº6: Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa*)**. Belém: Embrapa, p. 6, 2004. (Folheto 1. Vol.)
- FURTADO, A. C. S.; RODRIGUES, A. C.; GOMES, J. I.; BORGES, F. I. Estudo anatômico de madeiras comercializadas no estado do Pará da família leguminosa e de alta densidade. **19º Seminário de Iniciação Científica e 3º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa, p. 29-32, ago. 2015.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa/Antônio Carlos Gil**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002
- GOMES, J. I.; LISBOA, P. L. B.; ROSA, N. A. **Notas sobre a durabilidade natural do Acaju (*Vouacapoua americana* Aubl.) em ambiente de igapó. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPATU/ EMBRAPA)**. Belém. 1987. 69-77 p.
- GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação / Armando Luiz Gonzaga**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 246 p. – (Caderno Técnico; 6)
- GUILHERME, R. F. D. J. P. **Dimensionamento de estruturas de madeira e mistas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Especialização em Estruturas) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, 2019.

HARA, M. M. **Proposta de método de ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras mediante esforços induzido por punção do corpo de prova**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia – Área de Concentração: Materiais) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE atualiza limites de municípios no mapa da Amazônia Legal**: Mapas Regionais. Editora: Geociências, 2021. Disponível em: < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/30958-ibge-atualiza-limites-de-municipios-no-mapa-da-amazonia-legal>>. Acesso em: 24 jan. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileiro**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de clima do Brasil**, 2016. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). **O Setor Madeireiro no Amapá**: Situação Atual e Perspectivas para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: < [https://imazon.org.br/o-setor-madeireiro-no-amapa-situacao-atual-e-perspectivas-para-o-desenvolvimento-sustentavel/#:~:text=No%20Amap%C3%A1%2C%20as%20principais%20esp%C3%A9cies,Vouacapoua%20americana\)%20e%20mandioqueiro%20\(Qualea](https://imazon.org.br/o-setor-madeireiro-no-amapa-situacao-atual-e-perspectivas-para-o-desenvolvimento-sustentavel/#:~:text=No%20Amap%C3%A1%2C%20as%20principais%20esp%C3%A9cies,Vouacapoua%20americana)%20e%20mandioqueiro%20(Qualea) >. Acessado em: 28 jan. 2024

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraBrasilis PRODES (Desmatamento) Incrementos de desmatamento – Amazônia – Estados**, 2023. Disponível em:< <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/amazon/increments>>. Acesso em: 02 fev. 2024

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos Florestais da Amazônia 2005**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2005.

LIMA, R. B. de. **Produção volumétrica bruta, rendimento e modelagem de madeira serrada de espécies comerciais da Amazônia**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, 2017.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 1. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **MADEIRA**: uso sustentável na construção civil / (coordenador Oswaldo Poffo Ferreira), São Paulo: SVMA, p. 60, 2003.

MANFREDO, H. T. **Conceitos Básicos da Teoria de Erros** - Revisão (AAQ), 2009.

MEIRELLES, F. J. C. **Livro de ouro da Amazônia**. São Paulo: Ediouro, 2006.

MIRANDA, Z. P. **Aspectos morfológicos e ecológicos de *Mora paraensis* (Ducke) (Leguminosae – Caesalpinioideae)**. 2009. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2009.

MORA in Flora e Funga do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB83485>>. Acesso em: 09 fev. 2024

MORAES, V. H. F. **COMPORTAMENTO HÍDRICO DE *Vouacapoua americana* AUBL (acapu) e *Licania macrophylla* Benth (anoerá), NAS CONDIÇÕES DE MATA AMAZÔNICA DE TERRA FIRME**. 1 Vol. Belém: IPEAN, 1970. p. 7-21.

PANASIEWICZ, R. e BAPTISTA, P. A. N. **A ciência e seus métodos: Os diversos métodos de pesquisa a relação entre tema, problema e método de pesquisa**. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade FUMEC, 2013. Disponível em: <<https://www.fumec.br/wp-content/uploads/2023/05/Ciencia-e-seus-Metodos.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estrutura de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

REVISTA DA MADEIRA (REMADE). **Madeiras brasileiras e exóticas: acapu, 2024** Disponível em: <<https://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/119/madeiras-brasileiras-e-exoticas/acapu>>. Acesso em: 08 fev. 2024

REVISTA DA MADEIRA (REMADE). **Madeiras brasileiras e exóticas: angelim-vermelho, 2024**. Disponível em: <<https://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/114/madeiras-brasileiras-e-exoticas/angelim-vermelho>>. Acesso em: 08 fev. 2024

REVISTA DA MADEIRA (REMADE). **Madeiras brasileiras e exóticas: pracuúba, 2024**. Disponível em: <<https://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/412/madeiras-brasileiras-e-exoticas/paracuuba>>. Acesso em: 08 fev. 2024

RODRIGUES, M. B. P; SANTOS J. C. L.; NASCIMENTO, E. M. M. do; BEZERRA, R. M; ALMEIDA, S. S. M. S. **Estudo químico das espécies *Manilkara huberi* e *Vouacapoua americana* do município de Macapá**. Dissertação (Graduação) – Departamento de Química, Universidade Federal do Amapá (UEAP), Macapá, 2010.

SANTOS, L. M. A. **Madeiras**. 2018. Dissertação (Mestre em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTE (SETRAP). **Objeto: Reconstrução de ponte em madeira de lei sobre o igarapé do Telha, no município de Calçoene – AP – 15 metros de extensão por 4,60 de largura, 2024**. Disponível em: <<https://compras2.portal.ap.gov.br/edital/563f747427e56c6ed0124a2643d8e162.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2024

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO AMAPÁ (SEMA). **Plano Anual de Outorga Florestal do Estado do Amapá PAOF 2022-2023**. Macapá: SEMA, 2022. 119 p.

SFB; IMAZON. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém: Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2010.

SOBRAL, L.; VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; AZEVEDO, T.; SMERALDI, R. **Acertando o Alvo 2**: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. Belém: IMAZON, 2002.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; YARED, J. A. G.; Análise estrutural em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.1, p. 75-87, 2006.

SOUZA, L. A. S.; APARÍCIO, P. S.; APARÍCIO, W. C. S.; SOTTA, E. D.; GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, L. P. dos S. Estrutura populacional da espécie *Vouacapoua americana* Aubl. em floresta de terra firme no estado do Amapá, BRASIL. **Embrapa**, Macapá, p. 7, 2011.

VALLE, A.; MORAES, P. D.; SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F. **Estrutura de Madeira**. 2012. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; LENTINI, M. **Pólos Madeireiros do Estado do Pará**. Belém: IMAZON, 2002.

ANEXO B – Tabelas do ensaio de densidade aparente das espécies

Tabela 25: Determinação da densidade aparente resultados do ensaio laboratorial através do uso de estufa nos corpos de prova da amostragem de Acapu

Densidade Aparente da amostra de Acapu (<i>Vouacapoua americana</i> (Aubl.))						
Horário	Provetes	Análise Volumétrica (mm)				A. Massa
		Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Volume (mm³)	Massa (g)
9h15	1	19,59	27,99	61,57	33760,31	33,29
	2	19,15	28,09	61,43	33044,64	33,77
	3	19,9	28,4	62,07	35079,48	34,05
	4	19,3	28,15	62,44	33923,34	33,89
	5	19,47	28,3	61,49	33881,05	33,30
	6	19,61	27,45	61,97	33358,11	32,60
	7	19,11	28,12	62,36	33510,59	31,97
	8	19,8	28,42	62,52	35181,00	33,63
	9	20	28,76	62,13	35737,18	35,67
	10	19,68	28,54	61,85	34739,12	33,20
15h15	1	19,45	27,85	61,83	33492,23	31,89
	2	18,77	27,80	61,48	32080,63	32,43
	3	19,73	27,89	62,05	34144,23	32,64
	4	19,15	27,73	62,16	33008,79	32,61
	5	18,35	27,86	61,43	31404,92	31,98
	6	18,08	27,68	61,70	30878,04	31,31
	7	17,01	27,74	62,07	29288,19	30,26
	8	18,31	27,63	60,00	30354,32	32,21
	9	18,46	26,68	60,64	29865,98	34,22
	10	18,55	27,16	61,8	31135,95	31,81
19h15	1	19,16	27,51	62,09	32,73	31,64
	2	18,54	27,73	61,65	31,70	32,17
	3	19,27	27,54	61,88	32,84	32,38
	4	19,06	27,55	61,77	32,44	32,29
	5	18,43	27,62	61,52	31,32	31,68

	6	18,57	26,59	61,75	30,49	30,92
	7	18,5	27,6	61,88	31,60	29,88
	8	18,57	27,58	62,17	31,84	31,94
	9	18,74	28,05	61,68	32,42	33,92
	10	18,87	27,86	59,88	31,48	31,53
7h15	1	18,86	27,59	61,68	32,095	30,90
	2	18,69	27,64	62,27	32,168	31,43
	3	19,44	28,02	61,87	33,701	31,63
	4	19,08	27,55	62,43	32,817	31,54
	5	18,84	27,8	61,98	32,462	30,99
	6	18,83	26,47	62,15	30,977	30,20
	7	18,56	27,17	62,08	31,305	29,10
	8	19,01	27,75	62,25	32,839	31,25
	9	19,24	27,94	61,93	33,291	33,16
	10	18,81	27,76	60,51	31,596	30,83

Fonte: Própria (2023)

Tabela 26: Determinação da densidade aparente resultados do ensaio laboratorial através do uso de estufa nos corpos de prova da amostragem de Angelim-vermelho

Densidade Aparente da amostra de Angelim-vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> (Ducke.))						
Horário	Provetes	Análise Volumétrica (mm)			A. Massa	
		Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Volume (mm³)	Massa (g)
9h15	1	18,55	28,59	62,10	32934,39	33,51
	2	19,2	28,68	62,16	34228,78	34,84
	3	18,22	28,31	62,67	32325,70	31,52
	4	16,01	29,24	62,78	29389,35	29,89
	5	18,91	28,71	62,05	33687,32	34,52
	6	18,32	27,83	61,69	31452,38	34,35
	7	17,58	28,67	62,52	31511,24	31,82
	8	18,69	28,71	60,62	32528,08	34,80
	9	18,88	27,9	61,58	32437,39	33,48
	10	18,82	28,21	62,01	32921,87	35,25

15h15	1	18,4	27,62	62,21	31615,62	31,47
	2	18,77	27,95	62,19	32626,21	32,86
	3	16,44	27,09	63,20	28146,73	29,48
	4	15,44	28,03	62,61	27096,56	28,02
	5	18,29	27,67	61,88	31316,50	32,24
	6	18,09	27,42	61,53	30520,59	32,38
	7	17,09	27,67	62,14	29384,78	29,83
	8	18,24	27,7	60,31	30471,51	32,86
	9	18,44	26,94	61,16	30382,67	31,56
	10	18,56	27,36	61,63	31295,81	33,21
19h15	1	18,01	27,41	61,64	30,429	30,91
	2	18,71	27,3	61,9	31,617	32,28
	3	15,83	26,5	62,95	26,407	28,91
	4	15,43	28,41	62,49	27,394	27,51
	5	18,02	27,4	62,14	30,682	31,58
	6	17,93	27,22	61,45	29,991	31,82
	7	16,93	27,55	61,55	28,708	29,25
	8	18,16	27,39	60,16	29,924	32,27
	9	18,33	26,58	61,3	29,866	30,98
	10	18,36	27,04	61,34	30,453	32,62
7h15	1	17,81	27,27	61,86	30,044	30,23
	2	18,62	27,08	62,39	31,459	31,55
	3	15,88	26,67	62,65	26,534	28,30
	4	15,44	27,76	62,14	26,634	26,92
	5	18,38	27,11	61,39	30,590	30,88
	6	17,93	27,14	61,35	29,854	31,12
	7	16,83	27,63	61,36	28,533	28,62
	8	18,01	27,03	60,37	29,389	31,53
	9	18,37	26,33	60,74	29,379	30,27
	10	18,32	26,84	61,44	30,211	31,92

Fonte: Própria (2023)

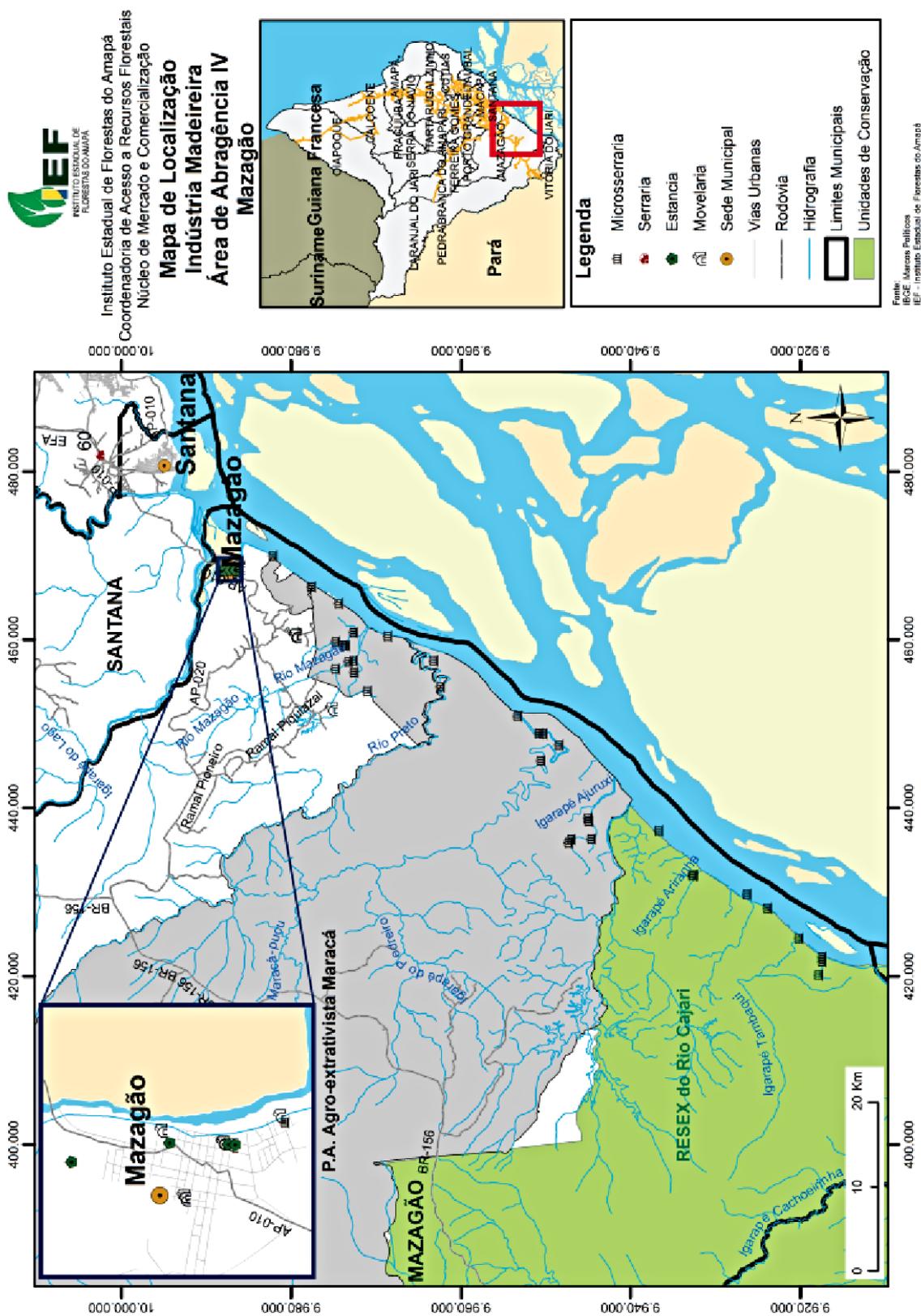
Tabela 27: Determinação da densidade aparente resultados do ensaio laboratorial através do uso de estufa nos corpos de prova da amostragem de Pracuúba

Densidade Aparente da amostra de Pracuúba (<i>Mora paraensis</i> Ducke Caesalpinaceae)						
Horário	Provetes	Análise Volumétrica (mm)			A. Massa	
		Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Volume (mm³)	Massa (g)
9h15	1	17,16	27,39	62,3	29281,77	32,00
	2	16,3	28,35	61,84	28576,57	29,41
	3	16,66	27,59	62,06	28525,84	30,15
	4	16,32	26,92	60,33	26505,04	29,65
	5	17	28,47	62,23	30118,70	31,42
	6	16,93	28,86	61,89	30239,44	30,77
	7	17,07	27,73	61,7	29205,76	32,18
	8	16,79	27,86	62,25	29118,65	32,14
	9	16,71	28,57	60,56	28911,63	29,17
	10	16,57	28,31	61,7	28943,27	28,83
15h15	1	16,39	26,27	61,9	26651,99	30,20
	2	15,95	27,93	61,64	27459,60	27,77
	3	16,20	26,23	61,78	26251,93	28,42
	4	15,93	25,94	60,13	24847,17	27,92
	5	16,14	27,65	61,63	27503,68	29,78
	6	16	27,71	60,99	27040,53	29,12
	7	16,43	27,22	61,8	27638,48	30,48
	8	16,31	26,98	61,57	27093,50	30,40
	9	15,89	27,63	59,11	25951,70	27,56
	10	15,63	27,68	60,44	26148,66	27,24
19h15	1	16,11	26,38	61,27	26,039	29,69
	2	15,7	27,57	61,48	26,612	27,33
	3	15,87	25,82	61,68	25,274	27,91
	4	15,56	25,93	59,83	24,140	27,39
	5	16,12	27,39	61,65	27,220	29,24
	6	16,06	27,61	60,89	27,000	28,60
	7	16,35	27,07	62,16	27,512	29,96

	8	16,24	26,67	62,07	26,884	29,87
	9	16,11	27,47	58,68	25,968	27,07
	10	15,69	27,47	60,58	26,110	26,72
	1	16,11	26,32	61,84	26,221	28,88
	2	15,65	27,68	61,6	26,685	26,62
	3	15,72	25,74	61,85	25,027	27,18
	4	15,6	25,65	60,21	24,092	26,64
7h15	5	15,91	27,8	61,68	27,281	28,52
	6	16	27,65	61,26	27,101	27,89
	7	16,09	26,85	62,13	26,841	29,22
	8	16,13	26,24	62,17	26,314	29,07
	9	15,95	27,64	59,4	26,187	26,39
	10	15,4	27,5	61,29	25,956	26,09

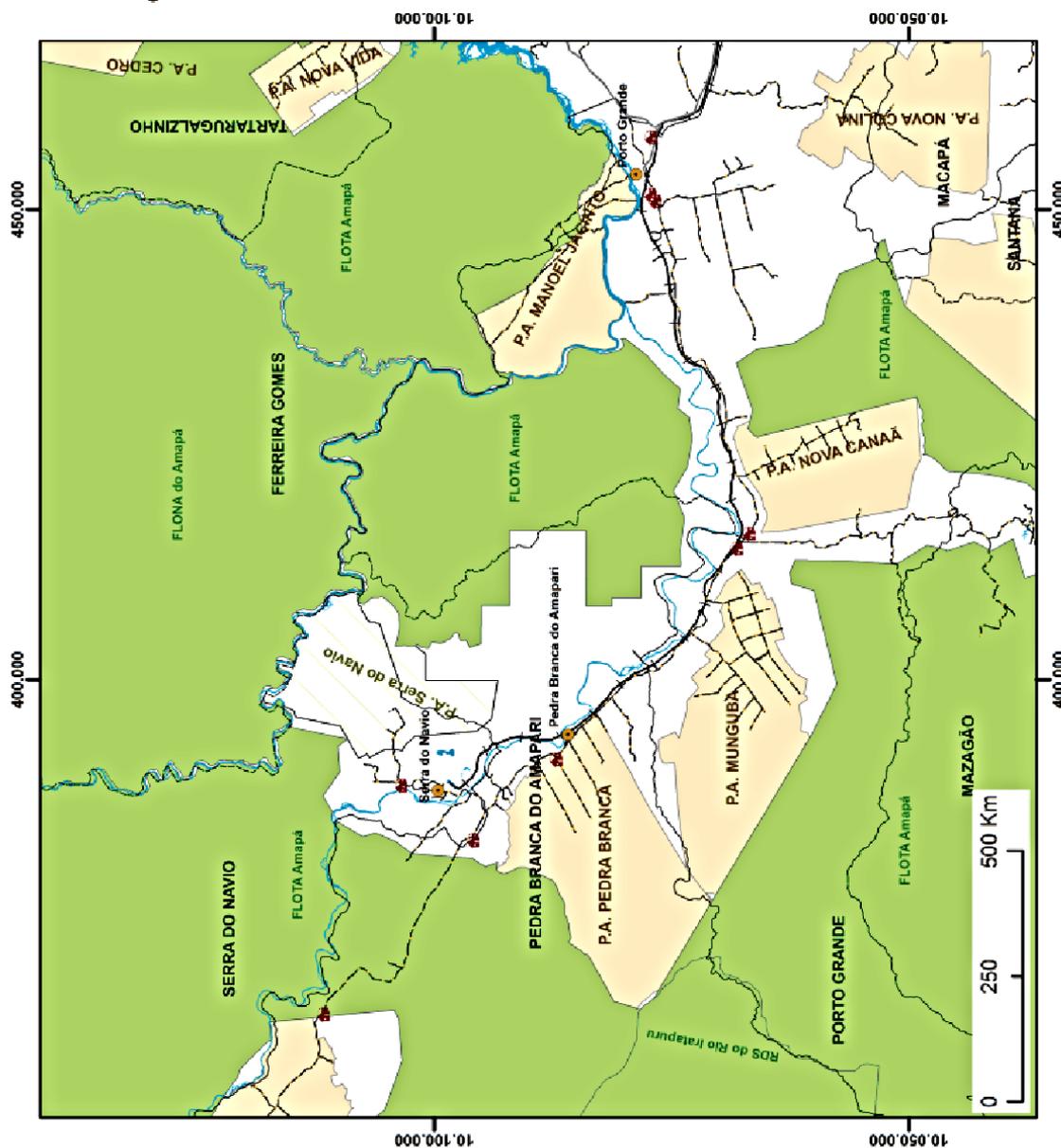
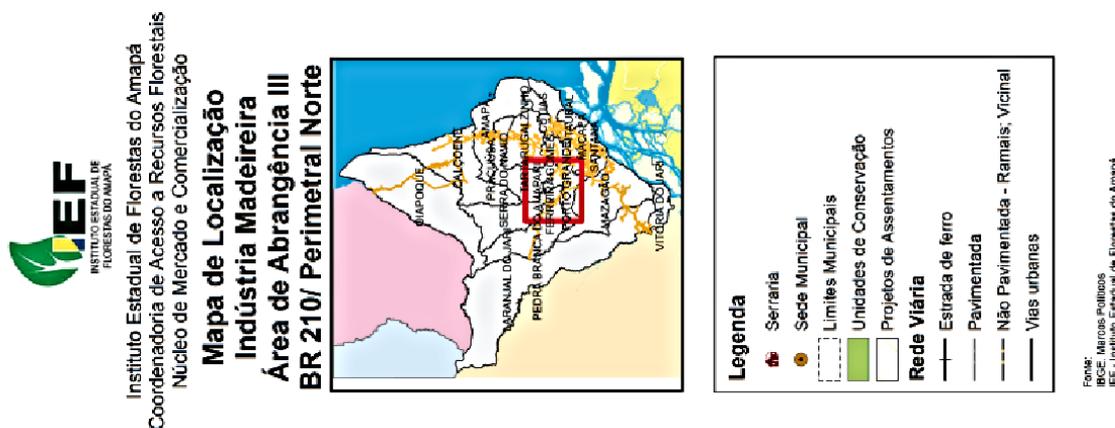
Fonte: Própria (2023)

ANEXO C – Mapa de localização de microserrarias nas regiões de várzea de Mazagão/AP



Fonte: IEF (2017) citado por SEMA (2022)

ANEXO D – Mapa de localização das serrarias no decorrer da BR-210 (Perimetral Norte)



Fonte: IEF (2017) citado por SEMA (2022)