

Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação

**MODELO MATEMÁTICO DE RESISTÊNCIA E MODELOS DE
DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA**

José Humberto Matias de Paula

Orientador: Prof. José Manoel Morales Sánchez

**TESE DE DOUTORADO EM
ARQUITETURA E URBANISMO**

Brasília, Brasil
Setembro de 2023

Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação

**MODELO MATEMÁTICO DE RESISTÊNCIA E MODELOS DE
DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA**

José Humberto Matias de Paula

Orientador: Prof. José Manoel Morales Sánchez

**TESE DE DOUTORADO EM
ARQUITETURA E URBANISMO**

Brasília, Brasil
Setembro de 2023

Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação

**MODELO MATEMÁTICO DE RESISTÊNCIA E MODELOS DE
DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA**

José Humberto Matias de Paula

Tese de Doutorado Submetida Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Como Parte dos Requisitos Necessários Para a Obtenção do Grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada por:

Prof. José Manoel Morales Sánchez, PhD (FAU/UnB)

(Orientador)

Prof. Julio Eustaquio de Melo, PhD (Aposentado)

(Examinador Externo)

Prof. Marco Aurélio Souza Bessa, DSc (UniCEUB/Fatec)

(Examinador Externo)

Prof. João da Costa Pantoja, PhD (FAU/UnB)

(Examinador Interno)

Brasília-DF, 22 de setembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

DePAULA, JOSÉ HUMBERTO MATIAS

Modelo Matemático de Resistência e Modelos de Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica [Distrito Federal] 2023.

xxv, 380p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Doutor, Arquitetura e Urbanismo, 2023).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Estruturas de Madeira

2. Madeira Tropical

3. Modelo Matemático de Resistência

4. Dimensionamento

5. Densidade Básica

I. FAU/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DePAULA, J. H. M. (2023). Modelo Matemático de Resistência e Modelos de Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica [Distrito Federal]. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 380p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: José Humberto Matias de Paula

TÍTULO: Modelo Matemático de Resistência e Modelos de Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica.

GRAU: Doutor. ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese de Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa Tese de Doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

José Humberto Matias de Paula

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Faculdade de Tecnologia

Campus Universitário Darcy Ribeiro - Universidade de Brasília – CEP: 70.910-900 Brasília-DF-Brasil.

E-mail: jhmatias2011@gmail.com ou jhdepaula@unb.br

À Dalva, minha mãe, sempre,
pertence este livro
(*In memoriam*).

AGRADECIMENTO

A realização desta Tese contou, em vários níveis, com a colaboração de diversas pessoas. Uns de forma direta, outros de forma indireta. Mas, todos contribuíram para o resultado e a quem o autor não pode deixar de manifestar o seu profundo e sincero agradecimento.

Ao Prof. Dr. José Manoel Morales Sánchez pela discussão científica e acolhimento do projeto junto ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

Ao Prof. Dr. Julio Eustaquio de Melo, pela discussão científica, um especial obrigado pela inteira disponibilidade, partilha de conhecimentos sobre o material durante a realização da pesquisa, assim como o interesse, entusiasmo e motivação que sempre demonstrou com a ideia que eu intuí e quis assim, na travessia.

Ao colega e amigo Prof. Dr. Marco Aurélio Souza Bessa, pela disponibilidade, troca de ideias e a motivação importante, durante toda essa travessia. Um especial e sincero agradecimento.

Ao colega e amigo Prof. Dr. Lenildo Santos da Silva pela motivação fundamental, participação nas bancas de orientação na graduação ENC/UnB, desde o princípio, durante toda essa travessia. Um especial e sincero agradecimento.

À Camilla, à Ágnis, ao Abner e Arthur e ao Rafael pela participação, em orientação na UnB, no desenvolvimento de modelos de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical utilizando a densidade básica, agradeço especialmente. Mestre é quem de repente aprende!...

Ao Mat./Eng. José Tavares de Barros Júnior e ao Prof. Flavio Antonio Klein pelas discussões iniciais sobre estatística inferencial para validação dos modelos de resistência desenvolvidos.

À Ana, Raul, Lara-Éverton-Henrique-Clarice e Mariana, mesmo ao longe, pelo acompanhamento, apoio, suporte, durante todo o desenvolvimento desta Tese, um especial e fraterno agradecimento.

Ao José, Bruna, Aninha, Clara, Aurora, Giovanna, Diego e Larissa pela existência, o que não é pouco, também dedico este trabalho e quem sabe, seja uma motivação, ou inspiração. Seja o que for.

Agradeço, também, o carinho e atenção da Giulieny, do Tarso e Catarina, os dois meus futuros alunos na Engenharia Civil da UnB...

Por fim, mas não menos importante, ao Prof. Athail Rangel Pulino Filho, onde tudo começou, e que me faz falta no sertão da UnB. É certo que ele gostaria de ver e conhecer esse projeto de pesquisa, minha homenagem e saudade (*In memoriam*).

Não poderia deixar de lembrar do Tufão, Nina, Filó, Amorzinha, Darling e Anny Clayde, ZéCat e Greg pela alegria e amizade incondicional. Um agradecimento que não é apenas protocolar, que só eles devem saber. Imagino.

Sobre essa travessia, ainda me valho do nosso, do meu João Guimarães Rosa, cuja obra imortal e atemporal sempre anda ao meu lado: "... Olhar para trás após uma longa caminhada pode fazer perder a noção da distância que percorremos, mas se nos detivermos em nossa imagem, quando a iniciamos e ao término, certamente nos lembraremos o quanto nos custou chegar até o ponto final, e hoje temos a impressão de que tudo começou ontem. Não somos os mesmos, mas sabemos mais uns dos outros. E é por esse motivo que dizer adeus se torna complicado! Digamos então que nada se perderá. Pelo menos dentro da gente...". Salve Rosa !!!...

E que aqui no pórtico deste Livro – à todas e a todos – caiba a homenagem mais merecida:
Agradecimento.

Gratidão.

Amizade.

Não sei dizer mais. Mas nem é preciso.

José Humberto M. de Paula.

Setembro-2023.

HOMENAGEM

Com uma homenagem ao nosso – João Guimarães Rosa – deixo aqui no pórtico desta Tese alguns aforismos do romance *Grande Sertão: Veredas* & outros livros. Acho que eles – esses aforismos – são a melhor tradução deste meu trabalho:

“– Nonada.”

“... Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.”

“... A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”

“... As coisas mudam no devagar depressa dos tempos...”

“... O homem não foi feito para o sozinho. Infinito, a melhor definição de humano.”

“... e um vaga-lume lanterneiro que riscou um psiu de luz.”

“Só quando se tem rio fundo, ou cava de buraco, é que a gente por riba põe ponte...”

“... Travessia.”

With a tribute to – João Guimarães Rosa – I will leave here in the porch of this Thesis a few aphorisms of the novel *Grande Sertão: Veredas*. I think they – these aphorisms - are the best translation of this my work:

“– Nothing.”

“... I say: the real is not in leaving or arriving: it is available to us in the middle of the crossing.”

“... That's life: warms and cools, tighten and then loosen, calm down and then restless. What she wants from us is courage.”

“... The things change in the slow fastness of time...”

“... Man was not made for the lonely. Infinite, the best definition of human.”

“... and a firefly lantern-like that scratched a psst of light.”

“Only when you have a deep river, or a hole, we put a bridge over it...”

“... Crossing.”

João Guimarães Rosa (*in Grande Sertão: Veredas*, 1956).



RESUMO

Esta Tese apresenta a formulação de um modelo matemático de resistência do material e modelos de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical utilizando a densidade básica. Os modelos de resistência do material, na concepção teórica proposta, tem a densidade básica da madeira como variável independente nos modelos de regressão linear simples e a densidade básica e a grã da madeira nos modelos de regressão linear múltipla. Os modelos de dimensionamento utilizam as funções matemáticas que simulam a resistência mecânica e de rigidez do material para o desenvolvimento de uma solução completa de dimensionamento à tração axial, compressão axial, flexão simples, flexão composta e ligações em madeira. A formulação dos modelos de dimensionamento tem como referência modelos de segurança determinístico e probabilísticos, utilizando-se de forma independente as prescrições de diferentes edições da norma brasileira de madeira: a NBR-7190/82, baseada em modelo de segurança determinístico, NBR-7190/97 e a recente edição da NBR-7190/22, ambas baseadas em modelos de segurança probabilístico. Foi também desenvolvido o modelo de dimensionamento a partir da última versão o código europeu *Eurocode 5/2004-Part 1-1: Design of Timber Structures*. Em novas edições do texto o modelo será adaptado aos códigos de projetos de estruturas de madeira Americano: *NDS-National Design Standard* e *ASCE-American Society of Civil Engineering* e à norma Canadense: *CSA 086.1 Engineering Design in Wood (Limit States Design)*.

Os modelos matemáticos de resistência mecânica e de rigidez do material foram estimados buscando-se a relação entre as variáveis por um modelo de regressão linear simples, quando a variável independente era apenas uma, a densidade básica. Quando do estudo da relação entre as variáveis existia mais de uma variável independente explicativa (duas variáveis quantitativas, ou uma variável quantitativa associada a variáveis qualitativas dicotômicas), foram estabelecidos modelos matemáticos capazes de descrever e prever a variável dependente (resistência mecânica, ou rigidez) buscando-se a relação entre elas por um modelo de regressão linear múltipla. Para desenvolvimento dos modelos de resistência foi utilizada como base amostral o Banco de Dados do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Ministério do Meio Ambiente, que é o resultado de um programa experimental consistente conduzido nos últimos trinta e sete anos. Esta campanha experimental caracterizou 259 espécies de madeiras tropicais da Amazônia, tendo como referência as normas Pan-Americanas *COPANT-Comisión Panamericana de Normas Técnicas*, que é baseada nas normas *ASTM-American Society for Testing and Materials*.

Uma ampla e robusta análise de inferência estatística dos modelos de resistência e modelos de dimensionamento é apresentada no corpo da Tese, no sentido de validar a formulação proposta. Um extenso conjunto de testes estatísticos, verificação de pressupostos e análises da concordância de Bland-Altman entre modelos experimentais e modelos matemáticos é apresentada e discutida. É possível concluir, a partir das análises de inferência estatística e de validação cruzada de análise de concordância Bland-Altman, a partir de amostras externas ao Banco de Dados utilizado, que o modelo matemático de resistência proposto utilizando a densidade básica é matematicamente e estatisticamente significativo e consistente, mas que também é capaz de simular quaisquer florestas tropicais de qualquer continente. Portanto, os modelos matemáticos de resistência e dimensionamento se constituem como uma nova ferramenta de projeto para estruturas de madeira tropical. O método baseado nos modelos matemáticos aqui propostos é muito mais simples e amplo que o método convencional baseado em dados experimentais, além de ser estatisticamente seguro de forma significativa. Portanto, é possível afirmar que a diferença é estatisticamente nula, entre os resultados de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, utilizando-se o modelo convencional experimental e o modelo matemático utilizando-se a densidade básica da madeira, conforme demonstrado no corpo da Tese.

Os resultados inéditos da pesquisa já foram publicados e apresentados em congressos científicos, mas a partir de agora serão elaborados artigos para jornais e revistas científicas de relevância. Além disso, foram escritos textos a serem publicados como livros baseados nos modelos de resistência e de dimensionamento, voltados para cursos de graduação e pós-graduação em engenharia e, também, para cursos de arquitetura. Além disso, nos últimos dois anos foram desenvolvidos dois softwares, que estão disponível para a comunidade acadêmica e escritórios de projetos, para dimensionamento de elementos estruturais de madeira utilizando os modelos de resistência da densidade básica. Os softwares tem capacidade para verificação de diversos tipos de seções simples e compostas, interagindo automaticamente com um Banco de Dados de 259 espécies de madeira tropical, sendo que o usuário, ou projetista, pode adotar não só novas espécies, como densidades básicas diferentes.

José Humberto M. de Paula.
Brasília, Distrito Federal. Setembro-2023.

ABSTRACT

This Tesis presents the formulation of a mathematical model of material strength and structural design models of tropical wood elements using basic density. The material strength models, in the proposed theoretical conception, have the basic density of wood as an independent variable in simple linear regression models and both basic density and wood grain in multiple linear regression models. The design models use mathematical functions that simulate the mechanical strength and stiffness of the material to develop a complete design solution for axial tension, axial compression, simple bending, combined axial load and bending, and wood connections. The formulation of the design models is based on deterministic and probabilistic safety models, independently using the prescriptions of different editions of the Brazilian wood standard: NBR-7190/82, based on deterministic model, NBR-7190/97 and the recent edition of NBR-7190/22, both based on probabilistic safety models. The design model was developed from the latest version of the European code Eurocode 5/2004-Part 1-1: Design of Timber Structures. In future editions of the text, the model will be adapted to the American wood structural design codes: NDS-National Design Standard and ASCE-American Society of Civil Engineering, and the Canadian standard: CSA 086.1 Engineering Design in Wood (Limit States Design).

The mathematical models of material strength and stiffness were estimated by seeking the relationship between variables through a simple linear regression model when the independent variable was only one, the basic density. When studying the relationship between variables with more than one explanatory independent variable (two quantitative variables or one quantitative variable associated with dichotomous qualitative variables), mathematical models capable of describing and predicting the dependent variable (mechanical strength or stiffness) were established using multiple linear regression models. For the development of the strength models, the sample base used was the Database of the Laboratory of Forest Products (LPF) of the Ministry of Environment of Brazil, which is the result of a consistent experimental program conducted over the last thirty-seven years. This experimental campaign characterized 259 species of tropical wood from the Amazon, with reference to the Pan-American Standards COPANT-Pan American Commission of Technical Standards, based on ASTM-American Society for Testing and Materials standards.

A comprehensive and robust statistical inference analysis of the strength and design models is presented in the book to validate the proposed formulation. An extensive set of statistical tests, verification of assumptions, and analyses of Bland-Altman agreement between experimental and mathematical models are presented and discussed. It is possible to conclude, based on the statistical inference analysis and cross-validation of Bland-Altman agreement from external samples to the Database used, that the proposed mathematical strength model using basic density is mathematically and statistically significant and consistent, but it is also capable of simulating any tropical forests from any continent. Therefore, the mathematical strength and design models constitute a new design tool for tropical wood structures. The method based on the proposed mathematical models is much simpler and broader than the conventional method based on experimental data, in addition to being statistically significantly safe. Hence, it can be stated that the difference between the results of designing tropical wood structural elements using the conventional experimental model and the mathematical model using the basic density of the wood is statistically negligible, as demonstrated in the body of the book.

The unprecedented research results have already been published and presented in scientific congresses, but from now on, articles will be written for relevant scientific journals and magazines. Additionally, texts have been written to be published as books based on the strength and design models, aimed at undergraduate and postgraduate engineering and architecture courses. Moreover, two software programs have been developed in the last two years, which are available to the academic community and design offices for the design of wood structural elements using the strength models based on basic density. The software has the capacity to verify various types of simple and composite sections, automatically interacting with a Database of 259 species of tropical wood, where the user or designer can adopt not only new species but also different basic densities.

José Humberto M. de Paula.
Brasília, Federal District.
Setembro-2023.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Desenho esquemático de corte transversal no tronco de uma árvore (Fonte desconhecida)	18
Figura 2.2 - Cerne distinto a indistintos (Imagens: LPF).....	19
Figura 2.3 : Anéis de crescimento (Imagens: LPF).....	20
Figura 2.4: Definição das tensões para diferentes direções (Borgström, 2016) (Borgström, 2016).....	21
Figura 2.5: Corpos de prova para ensaios segundo normas da COPANT (Foto: do autor).....	22
Figura 2.6: Fases de secagem da madeira (Machado, 2006).....	23
Figura 2.7: Localização da água em uma célula (Hiziroglu, 1990).....	24
Figura 2.8: Determinação do volume do corpo de prova saturado por imersão em água para cálculo da densidade básica da madeira (Fotos: do autor)	28
Figura 2.9: a) Relação tensão-deformação para peças submetidas à tração axial paralela à direção das fibras. Mecanismos de ruína típicos de tração na direção das fibras b) para fibras com células mais antigas e c) para fibras com células mais recentes. (Borgström, 2016)	30
Figura 2.10: a) Relação tensão-deformação para peças submetidas à tração perpendicular à direção das fibras. b) Mecanismo de ruína típico de tração perpendicular às fibras (Borgström, 2016).....	31
Figura 2.11: a) Relação tensão-deformação para peças, isentas de defeito, submetidas a compressão axial paralela às fibras b) Mecanismo de ruína típico de compressão axial paralela às fibras (Borgström, 2016)...	31
Figura 2.12: a) Relação tensão-deformação para peças submetidas a compressão perpendicular às fibras b) Mecanismo de ruína típico de compressão perpendicular às fibras (Borgström, 2016).....	32
Figura 2.13: Cisalhamento em diferentes direções, (Borgström, 2016).....	33
Figura 2.14: Um nó visto das quatro faces em um corpo de prova de madeira (4,5 x 4,5 cm).....	38
Figura 2.15 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 1 (Alves, 2021a)	43
Figura 2.16 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 2 (Alves, 2021a)	44
Figura 3.1. Regiões de coletas de espécies de árvores para o Programa de Caracterização de Madeiras Tropicais Brasileiras do Laboratório de Produtos Florestais – LPF, IBAMA.	57
Figura 3.2 Divisão da parte comercial da árvore em toretes de 220 cm de comprimento	60
Figura 3.3 Divisão da prancha central em peças de 8x8 cm	60
Figura 3.4 Sequência dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos.....	61
Figura 3.5 Matriz de Correlação de Pearson Com Comparação Contínua das Variáveis.....	66
Figura 3.6 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $fc0, k \times Db$	67
Figura 3.7 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $fc, 90, k \times Db$	69
Figura 3.8 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $fm, k \times Db$	71
Figura 3.9 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $fv, k \times Db$	73
Figura 3.10 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $Em, k \times Db$	75

Figura 3.11 Matriz de correlação de Pearson com a consideração contínua da força de variáveis, em tons de verde) para madeira seca (teor de umidade de 12%).....	82
Figura 3.12 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para.....	83
Figura 3.13 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para.....	85
Figura 3.14 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para.....	87
Figura 3.15 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para.....	89
Figura 3.16 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados	91
Figura 3.17: Mapa com a distribuição de madeiras tropicais no mundo.	94
Figura 3.18: Folha típica do Banco de Dados do <i>Tropical Timbers of the World</i> (Adaptada pelo autor).	95
Figura 3.19 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca América Espanhola - $fc0, kExp\ x\ fc0, kEst$	99
Figura 3.20 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), madeira seca América Espanhola - $Em, kExp\ x\ Em, kEst$	102
Figura 3.21 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca América Espanhola - $fb, kExp\ x\ fb, kEst$	105
Figura 3.22 Teste de Bland-Altman para madeira verde, América Espanhola - $fc0, kExp\ x\ fc0, kEst$	108
Figura 3.23 Teste de Bland-Altman, madeira verde, América Espanhola - $Em, kExp\ x\ Em, kEst$	110
Figura 3.24 Teste de Bland-Altman para madeira verde da América Espanhola - $fb, kExp\ x\ fb, kEst$	113
Figura 3.25 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca África - $fc0, kExp\ x\ fc0, kEst$	117
Figura 3.26 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), madeira seca África - $Em, kExp\ x\ Em, kEst$	119
Figura 3.27 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) para madeira seca, África - $fm, kExp\ x\ fm, kEst$	122
Figura 3.28 Teste de Bland-Altman para madeira verde, África - $fc0, kExp\ x\ fc0, kEst$	125
Figura 3.29 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), madeira verde, África - $Em, kExp\ x\ Em, kEst$	128
Figura 3.30 Teste de Bland-Altman para madeira verde, África - $fm, kExp\ x\ fm, kEst$ (jamovi, 2023)	131
Figura 3.31 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca Ásia e Oceania - $fc0, kExp\ x\ fc0, kEst$	134
Figura 3.32 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), madeira seca, Ásia e Oceania - $Em, kExp\ x\ Em, kEst$ (jamovi, 2023)	137
Figura 3.33 Teste de Bland-Altman Madeira Seca Ásia e Oceania - $fm, kExp\ x\ fm, kEst$ (jamovi, 2023)	140
Figura 3.34 Teste de Bland-Altman para madeira verde, Ásia e Oceania - $fc0, kExp\ x\ fc0, kEst$ (jamovi, 2023)	143
Figura 3.35 Teste de Bland-Altman, madeira verde, Ásia e Oceania - $Em, kExp\ x\ Em, kEst$ (jamovi, 2023)	145
Figura 3.36 Teste de Bland-Altman para madeira verde da Ásia e Oceania- $fm, kExp\ x\ fm, kEst$ (jamovi, 2023).....	148

Figura 5.1: Coeficientes de combinação ψ_1 e ψ_2 (NBR 7190/97).....	219
Figura 6.1: Resistência madeira x teor de umidade	235
Figura 6.2 Fator de redução resistência à instabilidade para barra comprimida axialmente na direção das fibras em função da esbeltez real da peça.....	243
Figura 6.3 Flambagem lateral com torção, em regime elástico, para viga bi apoiada de seção retangular (FLT) (Fonte: adaptada pelo autor de (Borgström, 2016)).....	245
Figura 6.4 Condições para travamento lateral efetivo em vigas de piso e cobertura, ou em outros sistemas estruturais, que possuem vigas simplesmente apoiadas em pontos intermediários (Fonte: (Borgström, 2016)	246
Figura 6.5 Flambagem lateral com torção para viga de seção retangular, não travada lateralmente, submetida a um momento fletor constante em torno do eixo de maior inércia. (Fonte: adaptada pelo autor de (Borgström, 2016)).....	248
Figura 6.6 Flambagem lateral com torção para viga livre para se deslocar lateralmente. (Fonte: adaptada pelo autor de (Borgström, 2016))......	248

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação botânica de duas espécies conhecidas no mercado (Fonte: Melo (2018)).....	17
Tabela 2.2 Intervalos de Densidade Básica de Madeira Tropical (Melo, et al., 1990).....	25
Tabela 2.3: Exemplos de variação numérica de diferentes densidades (Melo, 2019).....	25
Tabela 2.4: Coeficiente de variação médio de espécies da Amazônia (Melo, 2016).....	33
Tabela 2.5: Frequência de distribuição dos tipos de grã nas espécies constantes do Banco de Dados do LPF (Fonte: autor).....	35
Tabela 3.1 Custo para caracterização e coleta de madeiras em Curuá Una – Pará (PA) (Melo, 2019) (modificada pelo autor).....	58
Tabela 3.2 O Sistema de Amostragem Utilizado Pelo LPF (Noack, 1970) (Melo, 2016).....	59
Tabela 3.3 Estatística Descritiva Para Madeira Verde (saturada em água) (Fonte: Autor).....	63
Tabela 3.4 Distribuição da amostra do LPF por classes de densidade básica.....	63
Tabela 3.5 Matriz de Correlação de Pearson Para Madeira Verde (Fonte: Autor).....	64
Tabela 3.6 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $fc0, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	68
Tabela 3.7 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $fc, 90, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	70
Tabela 3.8 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $fm, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	72
Tabela 3.9 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $fv, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	74
Tabela 3.10 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira verde – $Em, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	76
Tabela 3.11 Modelos de Resistência Para Madeira Tropical na Condição Verde (Saturado em Água) – Variável Independente Db (Fonte: do autor).....	77
Tabela 3.12 Estatística Descritiva Para Madeira Seca (teor de umidade 12%).....	79
Tabela 3.13 Matriz de Correlação de Pearson Para Madeira Seca (teor de umidade de 12%).....	80
Tabela 3.14 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $fc0, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	84
Tabela 3.15 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $fc90, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	86
Tabela 3.16 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $fm, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	88
Tabela 3.17 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $fv, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	90
Tabela 3.18 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $Em, k \times Db$ (jamovi, 2022).....	92

Tabela 3.19 Modelos de Resistência Para Madeira Tropical na Condição Seca (teor de umidade de 12%) – Variável Independente Db (Fonte: do autor).....	93
Tabela 3.20 Estatística Descritiva Para Madeira Seca – América espanhola (teor de umidade 12%).....	96
Tabela 3.21 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra constituída pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto – madeira seca, América Espanhola - $fc0, k$	97
Tabela 3.22 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, América Espanhola (<i>Média $fc0, k$ x Dif $fc0, k$</i>) (jamovi, 2022).....	98
Tabela 3.23 <i>Análise de Bland-Altman</i> Madeira Seca, América Espanhola - $fc0, k$ <i>Expx $fc0, k$ Est</i>	98
Tabela 3.24 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, América Espanhola - Em, k	99
Tabela 3.25 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira seca América Espanhola (<i>Média Em, k x Dif Em, k</i>) (jamovi, 2022).....	100
Tabela 3.26 <i>Análise de Bland-Altman</i> , madeira seca América Espanhola - Em, k <i>Expx Em, k Est</i>	101
Tabela 3.27 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, América Espanhola fb, k	103
Tabela 3.28 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, América Espanhola (<i>Média fb, k x Dif fb, k</i>) (jamovi, 2022).....	103
Tabela 3.29 <i>Análise de Bland-Altman</i> Madeira Seca, América Espanhola – fb, k <i>Expx fb, k Est</i>	105
Tabela 3.30 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático de resistência a compressão paralela às fibras, madeira verde, América Espanhola $fc0k$	106
Tabela 3.31 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira verde, América Espanhola (<i>Média $fc0, k$ x Dif $fc0, k$</i>) (jamovi, 2022).....	107
Tabela 3.32 <i>Análise de Bland-Altman</i> para madeira verde, América Espanhola – $fc0, k$ <i>Expx $fc0, k$ Est</i> ...	108
Tabela 3.33 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra representada pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade, madeira verde, América Espanhola - Em, k (jamovi, 2022)	109
Tabela 3.34 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira verde, América Espanhola (<i>Média Em, k x Dif Em, k</i>) (jamovi, 2022).....	109
Tabela 3.35 <i>Análise de Bland-Altman</i> , madeira verde América Espanhola - Em, k <i>Expx Em, k Est</i>	110
Tabela 3.36 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, América Espanhola fb, k	111

Tabela 3.37 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear para madeira verde, América Espanhola (<i>Média fb, k x Diffb, k</i>) (jamovi, 2023).....	112
Tabela 3.38 Análise de <i>Bland-Altman</i> para madeira verde, América Espanhola – <i>fb, kExpx fb, kEst</i>	113
Tabela 3.39 Estatística Descritiva Para Madeira Seca – América espanhola (teor de umidade 12%).....	114
Tabela 3.40 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra constituída pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto – madeira seca, África - <i>fc0, k</i>	115
Tabela 3.41 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, África (<i>Média fc0, k x Diffc0, k</i>) (jamovi, 2023).....	116
Tabela 3.42 Análise de <i>Bland-Altman</i> Madeira Seca, África - <i>fc0, kExpx fc0, kEst</i>	117
Tabela 3.43 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, África - <i>Em, k</i>	118
Tabela 3.44 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise (jamovi, 2023).....	118
Tabela 3.45 Análise de <i>Bland-Altman</i> , madeira seca África - <i>Em, kExpx Em, kEst</i>	119
Tabela 3.46 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para resistência de ruptura à flexão – madeira seca, África <i>fm, k</i>	121
Tabela 3.47 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, África (<i>Média fm, k x Diffm, k</i>) (jamovi, 2022).....	121
Tabela 3.48 Análise de <i>Bland-Altman</i> Madeira Seca, África – <i>fm, kExpx fm, kEst</i>	122
Tabela 3.49 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático de resistência a compressão paralela às fibras, madeira verde, África <i>fc0k</i>	123
Tabela 3.50 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira verde, África (<i>Média fc0, k x Diffc0, k</i>) (jamovi, 2023).....	124
Tabela 3.51 Análise de <i>Bland-Altman</i> para madeira verde, África – <i>fc0, kExpx fc0, kEst</i>	125
Tabela 3.52 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, África - <i>Em, k</i>	126
Tabela 3.53 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira verde, África (<i>Média Em, k x Dif Em, k</i>) (jamovi, 2023).....	127
Tabela 3.54 Análise de <i>Bland-Altman</i> , madeira verde, África - <i>Em, kExpx Em, kEst</i>	128
Tabela 3.55 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, África <i>fm, k</i>	129

Tabela 3.56 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear para madeira verde, África (<i>Média fm, k x Diffm, k</i>) (jamovi, 2023).....	130
Tabela 3.57 Análise de <i>Bland-Altman</i> para madeira verde, África – <i>fm, kExp_xfm, kEst</i> (jamovi, 2023)..	130
Tabela 3.58 Estatística Descritiva Para Madeira Seca – Ásia e Oceania (teor de umidade 12%)(jamovi, 2023)	132
Tabela 3.59 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, Ásia e Oceania - <i>fc0, k</i>	132
Tabela 3.60 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, Ásia e Oceania (<i>Média fc0, k x Diffc0, k</i>) (jamovi, 2023).....	133
Tabela 3.61 Análise de <i>Bland-Altman</i> Madeira Seca, Ásia e Oceania - <i>fc0, kExp_xfc0, kEst</i> (jamovi, 2023)	134
Tabela 3.62 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, Ásia e Oceania - <i>Em, k</i>	135
Tabela 3.63 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira seca, Ásia e Oceania (<i>Média Em, k x Dif Em, k</i>) (jamovi, 2023).....	136
Tabela 3.64 Análise de <i>Bland-Altman</i> , madeira seca Ásia e Oceania - <i>Em, kExp_xEm, kEst</i> (jamovi, 2023)	137
Tabela 3.65 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, Ásia e Oceania <i>fb, k</i> (jamovi, 2023)	138
Tabela 3.66 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, Ásia e Oceania (<i>Média fm, k x Diffm, k</i>) (jamovi, 2023).....	139
Tabela 3.67 Análise de <i>Bland-Altman</i> Madeira Seca, Ásia e Oceania – <i>fm, kExp_xfm, kEst</i> (jamovi, 2023)	140
Tabela 3.68 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático de resistência a compressão paralela às fibras, madeira verde, Ásia e Oceania, <i>fc0k</i> ...	141
Tabela 3.69 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira verde, Ásia e Oceania (<i>Média fc0, k x Diffc0, k</i>) (jamovi, 2023).....	142
Tabela 3.70 Análise de <i>Bland-Altman</i> para madeira verde, Ásia e Oceania – <i>fc0, kExp_xfc0, kEst</i> (jamovi, 2023).....	142

Tabela 3.71 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra representada pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade, madeira verde, Ásia e Oceania - E_m, k (jamovi, 2023)	144
Tabela 3.72 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira verde, Ásia e Oceania (<i>Média E_m, k x Dif E_m, k</i>) (jamovi, 2023).....	144
Tabela 3.73 <i>Análise de Bland-Altman</i> , madeira verde Ásia e Oceania - $E_m, kExp$ $E_m, kEst$ (jamovi, 2023)	145
Tabela 3.74 <i>Teste t de Student</i> para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, Asia e Oceania f_m, k	146
Tabela 3.75 Linha de dispersão <i>Média x Diferença</i> , teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear para madeira verde, Ásia e Oceania (<i>Média f_m, k x Dif f_m, k</i>) (jamovi, 2023).....	147
Tabela 3.76 <i>Análise de Bland-Altman</i> para madeira verde, Asia e Oceania – $f_m, kExp$ $f_m, kEst$	148
Tabela 3.77 <i>Análise de concordância e generalização do modelo matemático proposto</i>	152
Tabela 55.1: <i>Coeicientes de fluência ϕ</i>	219
Tabela 6.6.1: Valores de γ_w para estados limites últimos – NBR 7190/2022	233
Tabela 6.2 Valores k_{mod1} (NBR 7190/2022).....	234
Tabela 6.3 Valores de k_{mod2} (NBR 7190: 2022)	235
Tabela 6.4 Classes de umidade (NBR 7190: 2022)	235
Tabela 6.5 Comprimento efetivo da viga (pontos travados lateralmente).....	255

LISTA DE SIGLAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA–Analysis of Variance
ASCE-American Society of Civil Engeneering
ASD-Allowable Strength Design
COPANT-Comisión Panamericana de Normas Técnicas
CSN-Companhia Siderúrgica Nacional
FEM-Fábrica de Estruturas Metálicas
IBAMA-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBDF-Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
LPF-Laboratório de Produtos Florestais
LRFD -Load and Resistance Factor Design
MMA-Ministério do Meio Ambiente
NBR-Norma Brasileira da ABNT
NDS-National Design Standard
SFB-Serviço Florestal Brasileiro
SI-Sistema Internacional de Unidades

fck: limite de resistência do concreto à compressão;.....	6
Ffca: tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm ²);.....	184
Fn: tensão admissível na compressão perpendicular às fibras;.....	188
Fy: limite de escoamento do aço à tração;.....	6
map: massa aparente, com determinado teor de umidade ;.....	28
mv	
Vs: volume em condição seca na estufa;.....	26
Vv	
λ0: esbeltez limite que separa o trecho da flambagem inelástica da flambagem elástica de Euler..	185
φv: fator de ponderação resistência ao cisalhamento = 0,10;	180
b: largura da seção no plano de corte considerado (cm);.....	180, 181, 182
CPA: tensão de ruptura na compressão paralela às fibras;.....	62, 78
CPE: tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras;	62, 78
D: diâmetro da seção transversal circular;.....	183
DE: Dureza Janka paralela às fibras;.....	62, 78
e = MN: excentricidade fictícia na direção perpendicular ao eixo de flexão;.....	182
FEND: fendilhamento;	62, 78
I: momento de inércia da seção (cm ⁴);.....	180, 181
MOR: tensão de ruptura na flexão;.....	62, 78
S: momento estático da seção transversal em relação à linha neutra (cm ³);.....	180
volume (Vap): volume aparente, com determinado teor de umidade;.....	28
W: Módulo resistente elástico (cm ³);.....	179
γ': Coeficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira;.....	189
λ: índice de esbeltez real da peça;.....	183

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	vi
HOMENAGEM	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xviii
SUMÁRIO	xx
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	5
1.2.1 <i>Hipóteses e Objetivos Gerais</i>	7
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
1.2.3 <i>Justificativas</i>	10
1.3 ORGANIZAÇÃO DA ESTRUTURA DO TEXTO DA TESE	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
2.2 NOMENCLATURA BOTÂNICA E COMERCIAL	17
2.3 ESTRUTURA MACROSCÓPICA DA MADEIRA	18
2.3.1 <i>Sobre a Casca</i>	18
2.3.2 <i>Sobre o Alburno</i>	19
2.3.3 <i>Sobre o Cerne</i>	19
2.3.4 <i>Sobre a Medula</i>	20
2.3.5 <i>Sobre os Anéis de Crescimento</i>	20
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS MADEIRAS PARA PROJETO DE ESTRUTURAS	20
2.4.1 <i>Sobre a Umidade</i>	23
2.4.2 <i>Sobre a Densidade</i>	24
2.4.3 <i>Resistência à Tração Paralela à Direção das Fibras (TPA)</i>	29
2.4.4 <i>Resistência à Tração Perpendicular à Direção das Fibras ($f_t, 90, k = TPE$)</i>	30
2.4.5 <i>Resistência a Compressão Paralela à Direção das Fibras (CPA)</i>	30
2.4.6 <i>Resistência a Compressão Perpendicular às Fibras (CPE)</i>	31
2.4.7 <i>Resistencia Longitudinal ao Cisalhamento (CIS)</i>	32

2.5	FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DA MADEIRA	33
2.5.1	<i>Sobre a Variabilidade Natural do Material</i>	33
2.5.2	<i>Sobre o Teor de Umidade (Mostrar Gráfico)</i>	34
2.5.3	<i>Sobre Defeitos Naturais</i>	34
2.5.4	<i>Sobre a Influência da Grã na Resistência de Madeiras Tropicais (Simplificar e passar este texto para o item de MRLM considerando a grã)</i>	35
2.5.5	<i>Sobre a Influência dos Nós</i>	38
2.5.6	<i>Sobre a Influência do Tempo de Duração do Carregamento (Deformação lenta)</i>	39
2.5.7	<i>Sobre Biodeterioração</i>	39
2.5.8	<i>Sobre a Influência da Temperatura</i>	39
2.6	INTRODUÇÃO À ESTATÍSTICA INFERENCIAL – MÉTODOS DE ANÁLISE	40
2.6.1	<i>Delineamento Experimental e Amostral</i>	40
2.6.2	<i>Testes de Hipóteses e Hipóteses Estatísticas</i>	41
2.6.3	<i>Análise Estatística Inferencial e Testes de Hipóteses a Serem Utilizados</i>	41
2.6.4	<i>O Nível de Significância e o Nível de Confiança</i>	45
2.6.5	<i>Pressupostos das Análises Estatísticas Inferenciais</i>	45
2.6.6	<i>Sobre os Modelos de Regressão Linear Simples e Múltipla</i>	49
2.6.7	<i>Análise da Presença de Outliers na Distribuição das Amostras</i>	53
2.6.8	<i>Teste de Generalização do Modelo Com Amostras Diferentes</i>	54
3	MODELOS DE RESISTÊNCIA PARA MADEIRA Verde e seca	56
3.1	INTRODUÇÃO	56
3.2	ANÁLISE DA ALEATORIEDADE DO SISTEMA DE AMOSTRAGEM UTILIZADO PELO LPF	56
3.3	MODELOS DE RESISTÊNCIA PARA MADEIRA VERDE	61
3.3.1	<i>Estatística Descritiva Para Madeira Verde</i>	62
3.3.2	<i>Análise do Relacionamento Entre as Variáveis Para Madeira Verde</i>	64
3.3.3	<i>Modelo de Resistência Para Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Verde – f_{c0}, k</i>	67
3.3.4	<i>Modelo de Resistência Para Compressão Perpendicular às Fibras Para Madeira Verde – f_{c90}, k</i>	69
3.3.5	<i>Modelo de Resistência Para Ruptura Por Flexão de Madeira Verde – f_m, k</i>	71
3.3.6	<i>Modelo de Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras Para Madeira Verde – f_v, k</i>	73
3.3.7	<i>Modelo Para o Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde – E_m, k</i>	74
3.4	MODELOS DE RESISTÊNCIA PARA MADEIRA SECA	77
3.4.1	<i>Estatística Descritiva Para Madeira Seca</i>	78
3.4.2	<i>Análise do Relacionamento Entre as Variáveis Para Madeira Seca</i>	79
3.4.3	<i>Modelo de Resistência Para Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Seca – f_{c0}, k</i>	82
3.4.4	<i>Modelo de Resistência Para Compressão Perpendicular às Fibras Para Madeira Seca – f_{c90}, k</i>	84
3.4.5	<i>Modelo de Resistência Para Ruptura Por Flexão de Madeira Seca – f_m, k</i>	86
3.4.6	<i>Modelo de Resistência Para Cisalhamento Paralelo às Fibras Para Madeira Seca – f_v, k</i>	88
3.4.7	<i>Modelo Para o Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde – E_m, k</i>	90

3.5	TESTE DE GENERALIZAÇÃO DO MODELO COM AMOSTRAS EXTERNAS DE MADEIRAS TROPICAIS DE OUTROS CONTINENTES	93
3.5.1	<i>Análise de Concordância Entre os Modelos Matemáticos de Resistência e os Modelos Experimentais de Madeiras Tropicais Verde e Seca da América Espanhola</i>	95
3.5.2	<i>Análise de Concordância Entre os Modelos Matemáticos de Resistência e os Modelos Experimentais de Madeiras Tropicais Verde e Seca da África</i>	114
3.5.3	<i>Análise de Concordância Entre os Modelos Matemáticos de Resistência e os Modelos Experimentais de Madeiras Tropicais Verde e Seca da Ásia e Oceania</i>	131
3.5.4	<i>Sobre o Método Científico e a Generalização do Modelo Matemático.....</i>	148
4	DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA COM MODELO DE SEGURANÇA DETERMINÍSTICO PELA NBR 7190/82.....	155
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	155
4.2	DIMENSIONAMENTO DE BARRAS TRACIONADAS	159
4.2.1	<i>Considerações Gerais</i>	159
4.3	BARRAS COMPRIMIDAS	160
4.3.1	<i>Considerações Gerais</i>	160
4.3.2	<i>Resistência Admissível à Compressão Axial</i>	162
4.3.3	<i>Funções Adimensionais Para a Resistência à Compressão Axial.....</i>	171
4.4	BARRAS FLETIDAS	179
4.4.1	<i>Hipóteses Básicas.....</i>	179
4.5	ESFORÇO CORTANTE ADMISSÍVEL NA FLEXÃO SIMPLES	180
4.5.1	<i>Considerações Gerais</i>	180
4.6	BARRAS SUBMETIDAS A FLEXÃO COMPOSTA RETA.....	181
4.6.1	<i>Resistência Admissível à Compressão Axial</i>	181
4.6.2	<i>Condições de Segurança na Flexão Composta Reta</i>	181
4.7	VERIFICAÇÃO DE CARGAS LOCALIZADAS PARA MADEIRA SECA (UMIDADE EM 12%).....	189
4.7.1	<i>Hipóteses básicas.....</i>	189
4.7.2	<i>Considerações de dimensionamento</i>	189
4.8	LIGAÇÕES PARAFUSADAS.....	192
4.8.1	<i>Ligações parafusadas com duas peças laterais metálicas.....</i>	194
4.8.2	<i>Ligações parafusadas com duas peças laterais de madeira</i>	196
4.8.3	<i>Esforços inclinados em relação às fibras.....</i>	196
4.8.4	<i>Espaçamentos mínimos entre parafusos – uma peça principal com duas cobrejuntas laterais de madeira</i>	198
5	DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA COM MODELO DE SEGURANÇA PROBABILÍSTICO PELA NBR 7190/1997.....	200

5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	200
5.2	BARRAS TRACIONADAS.....	200
5.2.1	<i>Resistência Para Barras Tracionadas.....</i>	200
5.3	BARRAS COMPRIMIDAS	202
5.3.1	<i>Hipóteses Básicas.....</i>	202
5.3.2	<i>Resistência Barras Comprimidas</i>	203
5.4	BARRAS FLETIDAS	211
5.4.1	<i>Hipóteses Básicas.....</i>	211
5.4.2	<i>MADEIRA VERDE.....</i>	211
5.4.3	<i>Madeira Seca.....</i>	212
5.5	ESFORÇO CORTANTE ADMISSÍVEL NA FLEXÃO SIMPLES	212
5.5.1	<i>Madeira Verde.....</i>	212
	<i>Resistência ao esforço cortante é dado por:.....</i>	212
5.5.2	<i>Madeira Seca.....</i>	212
5.6	BARRAS SUBMETIDAS A FLEXÃO COMPOSTA	213
5.6.1	<i>Hipóteses Básicas.....</i>	213
5.6.2	<i>Flexo-Tração</i>	213
5.6.3	<i>Flexo-Compressão.....</i>	216
5.6.4	<i>Condição de Resistência.....</i>	217
5.6.5	<i>2. Condição de Estabilidade</i>	217
6	DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA COM Método DE SEGURANÇA PROBABILÍSTICO PELA NBR 7190/2022 e EUROCODE 5/2004	229
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	229
6.2	MODELOS DE RESISTÊNCIA PARA O MATERIAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA.....	229
6.2.1	<i>Modelo de Resistência de Madeira Tropical Para Tensão de Ruptura na Flexão – MOR (Madeira Verde e Seca) 229</i>	
6.2.2	<i>Modelo de Resistência de Madeira Tropical Para Compressão Paralela às Fibras – CPA (Madeira Verde e Seca) 230</i>	
6.2.3	<i>Modelo de Resistência de Madeira Tropical Para Cisalhamento Longitudinal – CIS (Madeira Verde e Seca) 231</i>	
6.2.4	<i>Modelo de Resistência da Madeira Para Compressão Perpendicular às Fibras – CPE (Madeira Verde e Seca) 231</i>	
6.2.5	<i>Modelo de Regressão Linear Para Módulo de Elasticidade à Flexão - MOE (Madeira Verde e Seca) 232</i>	
6.3	SEGURANÇA E DESEMPENHO	233
6.3.1	<i>Coefficiente de Minoração da Resistência – γ_w</i>	233
6.3.2	<i>Coefficiente de Modificação – kmod.....</i>	234

6.4	MODELOS DE DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA.....	236
6.5	DIMENSIONAMENTO DE BARRAS TRACIONADAS	238
6.5.1	<i>Hipóteses Básicas</i>	238
6.5.2	<i>Modelo de Dimensionamento Para Elementos Estruturais Submetidos à Tração Axial</i>	238
6.6	DIMENSIONAMENTO DE BARRAS COMPRIMIDAS	239
6.6.1	<i>Hipóteses Básicas</i>	239
6.6.2	<i>Modelo de Dimensionamento Para Elementos Estruturais Submetidos a Compressão Axial Verificação da Resistência e Estabilidade</i>	240
6.7	DIMENSIONAMENTO DE BARRAS FLETIDAS	243
6.7.1	<i>Hipóteses Básicas</i>	243
6.7.2	<i>Resistência ao Momento Fletor Para Ruptura à Flexão</i>	244
6.7.3	<i>Momento Resistente à Flambagem Lateral Com Torção (FLT)</i>	245
6.7.4	<i>Verificação à Flexão Oblíqua</i>	258
6.7.5	<i>Esforço Cortante Admissível na Flexão Simples</i>	260
6.8	DIMENSIONAMENTO DE BARRAS SOLICITADAS A FLEXÃO COMPOSTA	261
6.8.1	<i>Hipóteses Básicas</i>	261
6.8.2	<i>Barras Flexotracionadas</i>	262
6.8.3	<i>Barras Flexocomprimidas</i>	263
6.9	CLASSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE MADEIRA TROPICAL POR USO ESPECÍFICO	268
6.9.1	<i>Classificação em Usos Finais</i>	268
6.9.2	<i>Estrutura de Cobertura Para Galpões e Edifícios (Viga, Caibro e Ripa)</i>	269
6.9.3	<i>Estruturas Para Pontes (Pontes Vicinais, Passarelas de Pedestres)</i>	270
7	Vibração em pisos de madeira utilizando a densidade básica devido uso em atividades humanas.....	274
7.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	274
7.2	MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO PARA A FREQUÊNCIA NATURAL DE PISOS DE MADEIRA.....	274
8	CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	278
8.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	278
8.2	OBJETIVOS GERAIS ATINGIDOS	278
8.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES	278
8.4	CONCLUSÕES	279
9	BIBLIOGRAFIA.....	280
	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	287
10	ANEXOS e apêndices	293
10.1	ANEXO A1: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA ORDENADAS PELO NOME CIENTÍFICO- MADEIRA VERDE.....	293

10.2	ANEXO A2: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA ORDENADAS PELO NOME CIENTÍFICO- MADEIRA SECA.....	301
10.3	ANEXO A3: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA ORDENADAS PELO NOME POPULAR - MADEIRA VERDE	309
10.4	ANEXO A4: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA ORDENADAS PELO NOME POPULAR - MADEIRA SECA.....	317
10.5	ANEXO A5: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA ORDENADAS PELA DENSIDADE BÁSICA - D_b MADEIRA VERDE	324
10.6	ANEXO A6: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA ORDENADAS PELA DENSIDADE BÁSICA - D_b -MADEIRA SECA	332
10.7	APÊNDICE B1: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS VERDE E SECA DA ÁFRICA POR ORDEM DE DENSIDADE BÁSICA	340
10.8	APÊNDICE B2: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS VERDE E SECA DA ÁSIA E OCEANIA POR ORDEM DE DENSIDADE	346
10.9	APÊNDICE B3: TABELAS DE ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS VERDE E SECA DA AMÉRICA POR ORDEM DE DENSIDADE	351

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Esta é a Estória. A madeira é um dos materiais estruturais mais antigos utilizados pelo homem na construção de edificações. Acredita-se que a primeira estrutura usada pelo Homem tenha sido uma árvore caída acidentalmente sobre um curso de água, tornando-se assim pinguela, ou “passarela”. O Homem sai da caverna – seu primeiro edifício – para uma cabana de madeira. A percepção da utilidade das árvores em benefício do Homem remonta à pré-história. *“A lenda conta que, quando o homem abandonou a gruta, o seu refúgio de pedra, abandonou também a escuridão e o medo. Saiu e construiu a sua cabana de madeira, limpa e arejada”* (Braghieri, 2005). A madeira estabelece assim um marco importante na evolução da espécie afirmando-se como o primeiro grande material de construção (Laranjeira, 2009). É possível afirmar que a madeira se confunde com o desenvolvimento do DNA do *Homo sapiens*. Alguns dos edifícios mais antigos do mundo são construções de madeira. Templos japoneses do século VII, igrejas norueguesas do século XII e habitações da Idade Média, trazem até à atualidade a antiga ligação da civilização com os edifícios estruturados em madeira (Laranjeira, 2009).

A especialização e evolução do Homem levou a um crescente conhecimento da madeira, como material de utilização de técnica heterogênea e com amplas possibilidades de uso na construção. Portugal se tornou o primeiro império global do planeta e com ele a capacidade de mobilidade sobre água, conseguida como povo navegador, se constituindo em construtores especializados de embarcações de madeira (Crowley, 2016). Portanto, foi com o domínio da técnica e utilização da madeira que se uniu o Mundo em uma esfera. Por outro lado, os povos da montanha viviam em perfeita harmonia com a natureza e a floresta, dado que era a própria que lhes oferecia a matéria-prima para as suas habitações. Foi assim, existiam laços entre a madeira e a população, o que teve resultados práticos no progresso e desenvolvimento de todo o tipo de estruturas construídas com este material (Laranjeira, 2009).

A História arrastou a sabedoria do artesanato e as leis da tradição das construções em madeira. A experiência acumulada e os conhecimentos adquiridos são únicos, relativamente a qualquer outra ciência ou tecnologia, pelo que são muitas vezes adaptados a outros materiais. *“Desde o antigo Egito encontramos a ideia de estais presente nas embarcações usadas, mas é apenas no século XX que se constrói a primeira ponte estaiada moderna...”* (Moreira, 2008).

A utilização de tipologias estruturais aparentes, assim como a precisão e detalhe na elaboração dos elementos resistentes, vem muito antes do ferro e do aço, são expressão das características próprias da madeira como material, da singularidade e diferenciação desta concepção estrutural.

Aliás, faz-se das estruturas de madeira “eternas”, especialmente pela possibilidade da substituição, pois, é justamente pela existência de planos de resistência definidos e autônomos, que permite que peças no conjunto possam ser substituídas. Se mesmo a rocha calcárea, das grutas utilizadas como abrigo pelo homem pré-histórico, surgiu da sedimentação imemorial de carapaças e esqueletos de animais dos mares internos primitivos, podem ser consideradas vivas, porque não, e muito mais, viva é a madeira. A eternidade das estruturas em madeira não reside em esconder o envelhecimento e o desgaste causado pelo tempo pois, como matéria orgânica que é, a madeira tem um ciclo de vida. Reside sim na garantia de que o material se mantém vivo e em contínua transformação. “...a madeira é um material ainda vivo. E comporta-se como tal. O risco que corremos é a sua morte” (Braghieri, 2005).

A certificação de que a madeira se mantém viva é uma garantia de longevidade das estruturas construídas com esse material. Habita no cumprimento de uma conveniente, ligeira e frequente manutenção, eficaz e correta resolução de focos de falecimento, tal como na utilização consciente e cuidada da construção. “Somente assim uma construção de madeira pode durar eternamente. Não teme nada, se constantemente vigiada. Abandoná-la, mesmo brevemente, pode-lhe ser fatal” (Braghieri, 2005).

A fatalidade da madeira encerra-se em três predadores principais. A água, que altera propriedades físicas e destrói órgãos vitais de uma forma lenta e contínua. O fogo, que surge de forma repentina e devastadora podendo destruir toda a estrutura de madeira. Predadores biológicos, que veem na madeira um habitat perfeito quando encontram nela as condições ideais para sua sobrevivência (Laranjeira, 2009).

Uma edificação em madeira encerra num só espaço qualidades e vantagens únicas que nenhuma outra concepção e material estrutural consegue reunir. A natureza orgânica da madeira é transmitida ao próprio edifício tornando-se parte do ambiente em que se insere. Variações de temperatura e umidade exteriores são sentidas no interior de forma suave e controlada (Braghieri, 2005) (Laranjeira, 2009).

Essa é a estória. Assim, e mesmo assim, a sociedade deixou de parte toda a estima, gosto, agrado e interligação com a madeira, sem verdadeiros motivos racionais. A novidade transmitida por outros materiais tais como o aço e principalmente o concreto, este último em especial no Brasil, levou a um domínio quase que completo em todos os tipos de construções, mesmo quando não correspondiam à melhor solução. Apesar disso, o trabalho de pesquisa e desenvolvimento realizado nos últimos quarenta anos, na Europa e nos Estados Unidos, apoiado na sabedoria e técnicas tradicionais, devolveram à madeira o papel que lhe era devido na construção civil. Ainda não no Brasil. É assim que os derivados da madeira e a pré-fabricação vem, também, contribuindo de forma

importante para que a madeira volte a desempenhar o papel fundamental em países desenvolvidos e com tradição na sua utilização. A madeira e derivados tornaram-se de novo competitivos em todos os aspectos incluindo o preço. Nos Estados Unidos, Canadá e países escandinavos, todos com elevados níveis de vida, mais de 90% das edificações residenciais são construídos em cada ano em madeira. No Japão a mesma taxa corresponde a mais de 50%. Essa realidade ainda não é a realidade brasileira, hoje (Laranjeira, 2009).

Apesar da utilização de estrutura de madeira ter pouca tradição no Brasil (comparativamente com os países anteriormente referenciados), com o advento do concreto armado caíram em desuso completo. Antes do século XX, e em todo o período colonial brasileiro, a utilização da madeira nas construções tradicionais era basicamente a única solução apontada para coberturas e pavimentos. Contudo, nunca foi além dessa aplicação, acabando mesmo por ser abandonada em detrimento de outros materiais. Atualmente, mas ainda de forma esporádica, há no mercado da construção civil no Brasil, a opção de uso de casas totalmente construídas em madeira. Simultaneamente, mas de forma ainda lenta e pequena, no Brasil a sociedade começa a ter percepção das vantagens desta solução. No entanto, continua a existir um preconceito em relação às estruturas de madeira associando-as a mitos de insegurança e durabilidade. Assim, é fundamental difundir que as estruturas construídas em madeira, quando comparadas com outras soluções, são capazes de satisfazer de forma equivalente ou superior, todas as exigências de desempenho aplicáveis. É com essa história e contexto que se situa e vem se desenvolvendo a utilização da madeira, como material estrutural no País.

A utilização de um material como elemento estrutural e construtivo é, comumente, influenciado pelas tradições e padrões culturais de uma sociedade. Associado a esses padrões culturais há questões históricas relacionadas ao ensino de estruturas de aço e de madeira nas escolas de engenharia e arquitetura no Brasil.

No País, materiais como o concreto, o aço e a madeira têm histórias de desenvolvimento e uso diferentes entre si, desde o início do século passado. Já na primeira metade do Século XX se desenvolve uma escola de arquitetura moderna no Brasil, tendo como material estrutural o concreto armado e protendido em menor escala. Na década de 1940, com a inauguração da CSN - Cia Siderúrgica Nacional e mais tarde da sua fábrica de estruturas metálicas – a FEM – por um breve período há uma considerável utilização de estruturas de aço na construção de edifícios no Brasil, especialmente no Rio de Janeiro. No final da década de 1950 um fato que chama atenção é o uso do aço, como elemento estrutural, na construção de Brasília - a maior expressão da arquitetura moderna - mesmo tendo como material o concreto armado. Assim é que edifícios ícones dessa arquitetura moderna, como o Congresso Nacional e os Ministérios, foram construídos em estruturas de aço. Mas, utilizando-se material e produtos – perfis e chapas de aço - ainda importado dos Estados Unidos.

No que se refere ao uso da madeira como material estrutural, não houve nem por um breve período, o uso intensivo na construção de edifícios, em alguma região ou local do País, como ocorreu com o aço. Por outro lado, enquanto que para o concreto armado, e especialmente para o aço, é possível utilizar os resultados de programas de pesquisas desenvolvidas no exterior (os aços estruturais tem características semelhantes em todo o mundo), a madeira tem outra realidade sob o ponto de vista técnico e tecnológico (Melo, 2019).

Na Europa existem pouco menos de vinte espécies de madeiras, enquanto que na Amazônia os botânicos estimam, embora seja controverso, da ordem de três a quatro mil espécies arbóreas (Melo, 2019) (Dias, et al., 2019). Estudos recentes de identificação de espécies arbóreas a partir de imagens de sensoriamento remoto, levando-se em consideração padrões espectrais, texturais e estruturais das copas, estimam a existência da ordem de 16 mil espécies arbóreas na Amazônia (Rocco Lahr, 2020). Portanto, para o uso de madeira tropical em estruturas, ou outra função mesmo que não estrutural, é preciso conhecer as suas propriedades físicas, mecânicas, além dos aspectos tecnológicos relativos ao seu comportamento. A realidade atual é que a grande maioria das espécies de madeira da Amazônia ainda não foi caracterizada, às vezes nem mesmo classificada, ou até identificada.

Nas universidades brasileiras de modo geral não existem linhas de pesquisa consolidadas para o estudo e uso de espécies de madeira tropical. Assim, em virtude disso e aliado ao seu comportamento complexo como material, ainda não existe um meio técnico profissional expressivo, com formação e capacitação suficiente, que pudesse contribuir no desenvolvimento e uso da madeira no País.

Diante desse quadro a madeira como material de construção no Brasil ainda está relegada a uma forma quase empírica e tradicional. Hoje, tem o seu uso restrito a acessórios e obras provisórias, como escoramentos, formas em geral, postes, dormentes, estacas de fundações, dentre outros menos importantes. O uso da madeira de uma forma racional depende de amplos estudos para identificação, classificação e caracterização das espécies. Mas, existe uma diferença fundamental quando um programa de estudo envolve milhares de espécies, que é o caso brasileiro, ou quando envolve pouco menos de duas dezenas de espécies, como é a realidade da Europa e da América do Norte.

No Brasil, um programa de pesquisa voltado para o desenvolvimento e uso da madeira, obrigatoriamente, tem que levar em consideração a existência entre três mil e quatro mil espécies de madeira tropical – o caso da floresta amazônica. Programas dessa natureza, especialmente em florestas tropicais, são difíceis e dispendiosos em virtude da necessidade de elaboração de inventários florestais, a coleta de espécimes e posterior caracterização e realização de ensaios em laboratório. Esses trabalhos de coleta, portanto, exigem planejamento, tempo, além da necessidade de dispendiosos recursos materiais, financeiros e pessoal técnico especializado. Diante dessa realidade

um programa tradicional de caracterização de espécies tropicais da Amazônia, que possa contribuir no desenvolvimento do uso da madeira em nível nacional é, praticamente, inviável, especialmente considerando a situação da ciência e tecnologia no momento no Brasil (Melo, 2018). No Capítulo 2 deste trabalho é apresentada uma alternativa, que em parte pode contribuir com o uso e desenvolvimento do uso da madeira no Brasil, levando-se em conta essa realidade aqui apresentada.

1.2 Objetivos e Justificativas

Neste item são apresentados os objetivos e justificativas deste projeto de Tese tendo-se como referência e orientação vantagens e desvantagens do uso de madeira tropical como material estrutural. Dentre as vantagens está o baixo consumo de energia na transformação da madeira e de produtos florestais para a construção, especialmente quando é crescente a tomada de consciência e preocupação com questões ambientais e de preservação o planeta. Neste aspecto a madeira consome em média quatro vezes menos energia para a sua transformação, quando comparada à produção de concreto e da ordem de sessenta vezes menos que a energia consumida para a produção de aço.

No que se refere às dificuldades que precisam ser superadas para uso da madeira na construção, em especial no Brasil, além de aspectos culturais importantes, encontram-se fatores relacionados à complexidade referente à mecânica do material. Portanto, a superação dessas dificuldades pode estar relacionada ao desenvolvimento de modelos que facilitem, não só a caracterização de espécies, mas a concepção, modelação, o dimensionamento e o detalhamento de estruturas de madeira. Preferencialmente, é desejável que uma formulação, matemática ou experimental, seja acessível não só aos pesquisadores da área, aos engenheiros de projeto, aos fabricantes e construtores, mas especialmente, aos arquitetos – onde tudo tem início, ou começa. É nesse sentido e observando essa realidade que foi estabelecido algumas premissas, objetivos gerais e específicos para este trabalho, conforme a seguir.

Modelos de resistência para peças de concreto armado e aço para diferentes formas de seções podem ser representadas por funções de interação de esforços, conforme as Equações (1.1) e (1.2), abaixo:

$$R_n = \phi (P_1, P_2, \dots, f_{ck}) \quad (1.1)$$

$$R_n = \phi (P_1, P_2, \dots, F_y) \quad (1.2)$$

Onde P_1, \dots, P_n são resultantes de tensões, características geométricas da seção ou do elemento estrutural. O f_{ck} e o F_y são propriedades mecânicas do concreto e do aço obtidas por ensaios, e são tomados, geralmente, como variáveis independentes para os modelos de resistência. Na Equação (1.1)

o f_{ck} é o limite de resistência do concreto à compressão e na Equação (1.2) o F_y é o limite de escoamento do aço à tração. O ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos de concreto para determinação do f_{ck} é relativamente fácil de ser realizado. O ensaio de tração simples de chapas de aço é extremamente fácil de ser realizado e de ser compreendido. Praticamente, todas as considerações e critérios para o dimensionamento de elementos estruturas de aço advêm do ensaio de tração simples. Portanto, para o aço nos os estados limites relacionados à segurança de barras a compressão, flexão, flexocompressão e flexotração, os modelos de resistência estão relacionados diretamente a uma única variável - o Limite de Escoamento (F_y). Além disso, o problema da determinação da resistência de peças de aço é mais simples que na madeira, pelo comportamento que pode ser considerado isotrópico do aço. Por outro lado, a madeira tem um comportamento ortotrópico, onde as propriedades mecânicas podem ser consideradas constantes ao longo de um mesmo eixo, mas variam de uma direção para a outra. Os modelos tradicionais de resistência de peças de madeira, portanto, utilizam tensões de comparação para as diferentes direções de solicitação, tornando o dimensionamento complexo não só para o engenheiro e, especialmente, para o arquiteto. Isso torna a concepção, a análise e o dimensionamento em projetos de estruturas de madeira de difícil entendimento para os escritórios de projeto em geral. Além, claro, de dificultar o ensino básico dessa disciplina nas escolas de arquitetura e engenharia.

A determinação da forma e função estrutural em projetos de estruturas de madeira é, portanto, conceitualmente complexa e trabalhosa. Além disso, os aspectos tecnológicos do material, seus produtos e condições do mercado brasileiro, que praticamente só dispõe de madeira em condição verde, na grande maioria das situações, contribuem para o uso limitado da madeira como material estrutural.

Importantes centros de pesquisa em madeira no Brasil, estudaram e caracterizaram madeira tropical nas últimas três décadas, no Brasil. Nesse sentido, destaca-se o Centro de Pesquisa de Produtos Florestais- CPPF, ligado ao Instituto de Pesquisa da Amazônia-INPA, em Manaus-AM. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, com o Centro de Tecnologia de Recursos Florestais- CT/FLORESTA, em São Paulo-SP. O Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeira-LaMEM, vinculado a Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo-EESC/USP, em São Carlos-SP. O Laboratório de Produtos Florestais, ligado ao IBAMA/MMA, em Brasília-DF, empreendeu nos últimos trinta anos, seguramente, o maior e mais completo programa de caracterização de madeiras tropicais do mundo. O LPF caracterizou mais de 250 espécies arbóreas, constituindo um banco de dados que pode ser considerado representativo para madeiras tropicais, não só pelo processo aleatório de coleta, mas também pelo largo espectro de densidades estudadas. O Banco de dados do LPF está disponível para acesso público desde o ano 2000 (LPF/IBAMA, 2016). O

programa de estudos caracterizou da ordem de 7% do total estimado de espécies de madeiras tropicais da Amazônia Brasileira, distribuídas estatisticamente entre as faixas de baixa, média e alta densidades.

O que se sabe da literatura é que existe uma forte correlação entre algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira, com outras propriedades. Uma delas é a Densidade Básica da madeira (Noack, 1970) (Melo, 2019). Portanto, o objetivo é a partir do Banco de Dados do LPF construir um modelo matemático que possa estimar, ou explicar, propriedades e outras características de espécies arbóreas tropicais, mesmo espécies que ainda não foram caracterizadas, e que podem ser importantes para o projeto de estruturas de madeira. O que se supõe é que seja possível não só estimar com precisão propriedades mecânicas e físicas de espécies já conhecidas e caracterizadas, mas também novas espécies não caracterizadas ou mesmo ainda não descritas. Pretende-se, também, utilizar esse modelo de resistência do material para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira, utilizando-se apenas da Densidade Básica, como variável independente, intuitivamente de modo similar como é feito para os elementos estruturais de aço e concreto, conforme apresentado anteriormente. Os estudos indicam que para a madeira tropical a Densidade Básica é uma propriedade que apresenta forte correlação com outras propriedades mecânicas e físicas da madeira (Noack, 1970) (Melo, 2019). Isso sugere que a estimação da resistência mecânica e física possa ser utilizada em modelos de resistência de elementos estruturais, mantendo-se a concordância estatística com os métodos experimentais tradicionais. Essa é uma hipótese a ser comprovada, ou não, por essa Tese.

1.2.1 Hipóteses e Objetivos Gerais

Umberto Eco faz reflexões sobre o que significa elaborar uma Tese (Eco, 2008), inserido no ambiente da pesquisa científica da universidade italiana na década de 1970, no seu livro sobre *Como Se Faz Uma Tese Em Ciências Sociais*: (1) identificar um tema preciso; (2) recolher documentação sobre ele; (3) pôr em ordem estes documentos; (4) reexaminar em primeira mão o tema à luz da documentação recolhida; (5) dar forma orgânica a todas as reflexões precedentes; (6) empenhar-se para que o leitor compreenda o que se quis dizer e possa, se for o caso, recorrer à mesma documentação a fim de retomar o tema por conta própria. Fazer uma tese significa, pois, aprender a pôr ordem nas próprias ideias e ordenar os dados: é uma experiência de trabalho metódico; quer dizer, construir um “objeto” que, como princípio, possa também servir aos outros. Assim, não importa tanto o tema da tese, quanto importa a experiência de trabalho que ela comporta (Eco, 2008). Enfim, elaborar uma tese é como exercitar a memória. E não importa se a exercitamos decorando poemas de Drummond, os aforismos presentes nos contos curtos, novelas, ou romance de Rosa. Por certo, se o caso for aprimorar a memória, é melhor aprender coisas que nos interessam ou nos sirvam: mas, por vezes, mesmo aprender coisas que possam parecer inúteis, ou que não sejam passíveis de fazer sentido

prático, constitui bom exercício. Analogamente, embora seja melhor fazer uma tese sobre um tema que agrade ao pesquisador, o tema é secundário, diante do método de trabalho e à experiência daí advinda. Uma tese estuda um objeto por meio de determinados instrumentos. Em certos casos, pelo contrário, o objeto é um fenômeno real. No caso do presente projeto de pesquisa, as fontes não existem, ou não foram identificadas, ainda que sob a forma de textos escritos, mas devem tornar-se os textos que deverão ser inseridos na tese como forma de documentos, como dados estatísticos resultados de programas experimentais ainda não analisados (Eco, 2008: adaptação do autor).

O ensaio apresenta reflexões, também, sobre o que é a cientificidade. Nesse sentido um estudo é científico, segundo argumenta Umberto Eco, quando responde aos seguintes requisitos: (a) O estudo debruça-se sobre um objeto reconhecível e definido de tal maneira que seja reconhecível igualmente pelos outros, mas não tem necessariamente, o termo objeto, um significado físico; (b) O estudo deve dizer do objeto algo que ainda não foi dito ou rever sob uma óptica diferente o que já se disse; (c) um trabalho é científico se (observados os requisitos *a* e *b*) acrescentar algo ao que a comunidade já sabia, e se todos os futuros trabalhos sobre o mesmo tema tiverem que levá-lo em conta, ao menos em teoria. Naturalmente, a importância científica se mede pelo grau de indispensabilidade que a contribuição estabelece; (d) O estudo deve fornecer elementos para a verificação e a contestação das hipóteses apresentadas e, portanto, para uma continuidade pública. Esse é um requisito fundamental (Eco, 2008: adaptado pelo do autor).

A finalidade de uma pesquisa, portanto, é a obtenção da verdade pela comprovação ou demonstração de um problema científico a ser solucionado. Nas pesquisas científicas e acadêmicas, uma hipótese corresponde a uma possibilidade de explicação sobre determinada causa de estudo. Um objeto de pesquisa pode ter diversas hipóteses. Hipótese é uma suposição, um pressuposto, tese de que algo pode (ou não) ser verosímil, que seja possível de ser verificado, a partir da qual se extrai uma ou mais conclusões. Uma hipótese científica é uma proposição especulativa que, se aceita de forma provisória, pode ser ponto de partida de uma investigação. Hipótese nula é um conceito do âmbito da estatística e da probabilidade, que será em parte utilizada neste trabalho, que afirma que uma hipótese é considerada verdadeira até que surjam evidências que provem ao contrário. A verdade ou refutação da hipótese é determinada graças a raciocínios ou experiências, sendo de responsabilidade do pesquisador pôr em práticas métodos de comprovação, ou demonstração para se descobrir quais hipóteses são mais prováveis ou verdadeiras. Se uma hipótese é confirmada, ela se transforma na fundamentação de uma teoria, se ela é refutada, se transforma em um contra-argumento.

A pergunta que esta Tese, e neste contexto, poderia responder é: “A densidade básica, associada ou não com outras propriedades mecânicas de espécies de madeira tropical, é suficiente

para explicar e estimar de forma representativa as propriedades físicas e mecânicas da madeira, tanto no processo de caracterização quanto na formulação matemática para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira?”

Dentro deste contexto e sob esses conceitos apresentados e discutidos neste item, é possível estabelecer alguns objetivos gerais desta Tese, dentre os quais se destacam:

1. Desenvolver um modelo matemático de resistência do material capaz de estimar propriedades mecânicas e físicas de madeiras tropicais, a partir de outras propriedades da madeira, tendo como referência a amostra constituída pelo Banco de Dados Experimentais de Espécies de Madeiras Tropicais já caracterizadas pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF.
2. Desenvolver modelos para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical utilizando o modelo matemático de resistência do material.

1.2.2 Objetivos específicos

Dentro os objetivos específicos do projeto de Tese, destacam-se:

1. Desenvolver um modelo matemático de resistência de madeira tropical tomando-se a densidade básica como variável independente quantitativa.
2. Desenvolver um modelo para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical utilizando o modelo matemático de resistência do material a partir da densidade básica, tendo como referência um modelo de segurança determinístico.
3. Desenvolver um modelo para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical utilizando o modelo matemático de resistência do material a partir da densidade básica, tendo como referência um modelo de segurança probabilístico.
4. Avaliar a viabilidade de desenvolver um modelo matemático de resistência de madeira tropical tomando-se como variável independente quantitativa a resistência a compressão paralela às fibras na condição seca ($f_{c,0,k}$) (teor de umidade de 12%).
5. Avaliar a viabilidade de um modelo matemático de resistência de madeira tropical com regressão linear múltipla tomando-se como variáveis independentes quantitativas a densidade básica (D_b) e a resistência a compressão paralela às fibras na condição seca ($f_{c,0,k}$) (teor de umidade de 12%).
6. Avaliar a influência da grã da madeira nos modelos de resistência de madeira tropical, tomando-se como variável independente quantitativa a densidade básica e os tipos de grã como variável qualitativa dicotômica.
7. Avaliar a significância estatística do modelo matemático de resistência de madeira tropical utilizando a densidade básica como variável independente em níveis de significância e confiança normalmente adotadas em engenharia de estruturas.

8. Elaborar uma validação cruzada na análise de regressão linear no sentido de verificar se o modelo matemático de resistência de madeira tropical é generalizável para toda a população, ou se está restrito apenas à amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão.

1.2.3 Justificativas

Os conceitos envolvidos na proposta desta Tese apresentam uma abordagem inédita, segundo uma ampla pesquisa do estado da arte disponível na área do comportamento da madeira como material, seus produtos e usos. Assim, não foi identificado em nenhuma das plataformas digitais de produção científica disponíveis - relatórios técnicos, comunicados, artigos científicos, monografias, repositórios digitais de dissertações, ou teses - que tratasse, ou mesmo discutisse o tema em questão da forma aqui abordada pelo autor. Portanto, não foi encontrado na literatura disponível estudos amplos que propusessem um modelo matemático em que propriedades físicas e/ou mecânicas de espécies de madeira tropical sejam suficientes para explicar e estimar de forma representativa outras propriedades físicas e/ou mecânicas da madeira, tanto no processo de caracterização do material, quanto na formulação de modelos matemáticos para dimensionamento de elementos estruturais de madeira, utilizando a densidade básica. Desta forma, a proposta de Projeto de Tese e de pesquisa científica aqui apresentada, até onde se sabe, é inédita e o estudo se justifica, também, a partir das seguintes considerações:

1. O Brasil possui da ordem de 25% da área coberta de florestas tropicais no mundo e 58% das florestas tropicais da América Latina (Rocco Lahr, 2020) (Pereira, 2001) (Olorunnisola, 2018).
2. O Brasil possui área estimada de 270 milhões de hectares de florestas tropicais, o que corresponde a uma reserva de aproximadamente 35 bilhões de metros cúbicos de madeira com potencial de exploração (Rocco Lahr, 2020).
3. No Brasil utilizam-se a cada ano entre 100 e 120 milhões de metros cúbicos de madeira, para diversos fins, o que permitiria a partir das reservas existentes a exploração contínua por aproximadamente 350 anos, mesmo sem um sistema adequado manejo florestal. Cabe ressaltar que em um regime de exploração a partir de manejo florestal adequado (utilização de 4 a 5 árvores por hectare, com espécies diversificadas) seria possível utilizar a floresta por tempo indefinido (Rocco Lahr, 2020).
4. A associação dos usos da madeira à devastação das florestas, especialmente da floresta amazônica, está relacionada às ideias errôneas divulgadas, fazendo parecer que o seu emprego se constitui numa perigosa ameaça ecológica. Não está sendo defendida, aqui, a exploração irracional e predatória da floresta. O que se almeja é a aplicação de um manejo fundamentado em técnicas há muito tempo por engenheiros florestais e profissionais de áreas correlatas, que pode e poderá garantir a perenidade das reservas florestais. Trata-se de procedimento largamente difundido nos chamados países de primeiro mundo (Gesualdo, 2003) (Dias, et al., 2019) (Rocco Lahr, 2020).
5. É importante lembrar, também, que o crescimento, a extração e o desdobro de árvores envolvem baixo custo de energia, além de não provocarem maiores danos ao meio ambiente, desde que providenciada a respectiva reposição. Materiais estruturais, como o aço e o concreto armado, são produzidos por

processos altamente poluentes, antecidos por agressões ambientais consideráveis para a obtenção de matéria-prima. Os referidos processos requerem alto consumo energético e a matéria-prima retirada da natureza jamais será resposta. O contrário se verifica com a madeira, cuja renovação se processa mesmo sob rigorosas condições climáticas. Tomando-se a madeira como referência, a energia consumida para produzir um metro cúbico ($\frac{MJ}{m^3}$) de concreto é 3 vezes maior e para o aço é 370 vezes maior que para a madeira. É fundamental observar que no caso do concreto a energia provém da queima de combustíveis fósseis, para o aço da queima do carvão e para a madeira, fundamentalmente, da energia solar, conforme adaptado pelo autor de (Calil Jr, 1997) (Dias, et al., 2019) (Rocco Lahr, 2020).

6. Outro aspecto que favorece a madeira é a relação entre o valor da energia consumida na produção e a resistência média do material, que para a madeira é da ordem de 8, para o aço é da ordem de 780 e para o concreto é em média 64. Quando se analisa a relação entre a resistência e a densidade do material, para a madeira é 103, para o aço é 38 e para o concreto é 13, conforme adaptado pelo autor de (Calil Jr, 1997) (Dias, et al., 2019) (Rocco Lahr, 2020).
7. Os projetos de edificações, atualmente, especialmente no continente europeu, levam em consideração não só aspectos econômicos, mas também os aspectos ambientais e sociais. Nesse sentido, pela emergência climática e a partir de uma abordagem do ciclo de vida das edificações, a utilização de madeira representa menor consumo de energia para a produção do material, além do menor consumo de energia para elaboração dos seus produtos em relação a resistência e a densidade da madeira. Essa economia energética se torna ainda mais importante que o eventual aumento do consumo de matéria gerando assim uma redução importante em emissões de CO_{2eq} . Levando-se em consideração o ciclo de vida das edificações e os aspectos ambientais, sociais e econômicos, é possível afirmar que a madeira se constitui desde já como o material de construção do futuro (Hauke, 2016) (ArcelorMittal, 2021) (De PaulaFilho, 2022).
8. Existência de uma grande diversidade de espécies de árvores tropicais na Amazônia: os botânicos estimam entre três e quatro mil espécies arbóreas na Amazônia (Melo, 2018) (Rezende, et al., 1988). Estudos recentes para identificação de espécies arbóreas a partir de imagens de sensoriamento remoto, levando-se em consideração padrões espectrais, texturais e estruturais das copas, estimam a existência da ordem de 16 mil espécies arbóreas na Amazônia (Rocco Lahr, 2020).
9. No Brasil até o momento foi estudado a partir de programas consistentes de caracterização de madeiras tropicais da ordem de 500 espécies (Rocco Lahr, 2020) (LPF/IBAMA, 2016).
10. No restante do mundo foi estudado, por diversas instituições de pesquisa com base em programas de caracterização de diversos países, como Inglaterra, França e Estados Unidos, da ordem de 370 espécies (Chudnoff, 1981, 1984).
11. O alto custo para a caracterização das novas espécies existentes na Amazônia que já foram identificadas, além do grande número de espécies que ainda nem foram identificadas. Os custos previstos em valores atualizados para caracterização da ordem de 3.700 espécies, considerando as estimativas do LPF (LPF/IBAMA, 2016), baseados nas despesas reais do programa já realizado pelo LPF, é da ordem de 35 milhões de reais (Melo, 2019).
12. É necessária uma grande quantidade de tempo para as coletas em campo e posterior ensaio em laboratórios, para um programa convencional de caracterização de mais de três mil e setecentas espécies arbóreas da Amazônia. Tomando-se como referência recursos humanos similares aos

utilizados no programa já elaborado e executado nos últimos trinta anos pelo LPF, seriam necessários surpreendentes 156 anos para realização de estudos, coleta e transporte de espécies. Posteriormente a isso, com recursos humanos e materiais semelhantes aos já utilizados no programa do LPF, seriam gastos da ordem de 31 anos para a realização dos ensaios em laboratório (Melo, 2018).

13. Uma formulação matemática consistente, capaz de explicar e estimar propriedades mecânicas e físicas baseada em propriedades da madeira, como a densidade básica, cuja coleta e ensaios experimentais sejam mais precisos, simples e baratos, poderá reduzir os custos e prazos necessários para a caracterização das espécies existentes na Amazônia, já identificadas e ainda não estudadas, ou aquelas que nem mesmo foram identificadas (Melo, et al., 1992) (Melo, 2019).
14. É de conhecimento do meio científico que existe uma forte correlação entre algumas propriedades físicas e mecânicas, como a densidade básica, a densidade aparente, o módulo de elasticidade da madeira e a resistência a compressão paralela às fibras, com as demais propriedades importantes para o projeto de estruturas de madeira (Noack, 1970) (Melo, et al., 1992) (Melo, 2018) (Melo, 2019).
15. O desenvolvimento de uma formulação matemática que explique a resistência do material utilizando outras propriedades da madeira, pode simplificar o entendimento do comportamento da madeira como material estrutural, contribuindo para o ensino, a formação e capacitação de técnicos, engenheiros e, especialmente, de arquitetos, aonde realmente se imagina, se inicia e se desenvolve um projeto de estruturas de madeira (Melo, 2016) (Melo, et al., 2016) (Melo, 2019).

Portanto, é neste contexto e sentido que se situa a proposta de pesquisa científica desta Tese e se justifica alocar recursos para seu desenvolvimento.

1.3 Organização da Estrutura do Texto da Tese

A Tese inicia-se com este capítulo introdutório, que faz um enquadramento histórico e evolutivo das estruturas de madeira e habitações, assim como a relação da madeira com o Homem. São definidos alguns pressupostos e motivações que determinaram os objetivos a serem buscados na realização deste trabalho. Apresentam-se os objetivos e justificativas, além da hipótese fundamental da pesquisa científica proposta na Tese. A diversidade representada pelo bioma das florestas tropicais, em especial da Amazônia, além da extensa área com espécies tropicais que o Brasil possui, são destacadas na justificativa. A existência de amplo e consistente trabalho de caracterização de espécies tropicais, já realizados no Brasil, mas que ainda se encontravam de forma bruta, reforçam as justificativas da Tese. A possibilidade de desenvolvimento de uma formulação matemática, que utilize a plataforma de espécies tropicais já caracterizadas, aliadas à indicação de há fortes correlações entre propriedades da madeira, além das questões relacionadas aos custos e prazos para caracterização de espécies, também são abordados na discussão de proposições do trabalho. O Capítulo 1 culmina com a síntese organizacional da Tese.

No Capítulo 2 apresenta-se uma Revisão Bibliográfica que aborda inicialmente sobre as principais propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais, que são importantes para o projeto

de estruturas. Nos tópicos seguintes são apresentados, na perspectiva de usuário, quais são os principais fatores importantes para se definir os testes estatísticos para validação da pesquisa. As ferramentas estatísticas mais adequadas para a análise de significância dos modelos matemáticos foram escolhidas a partir destes fatores, especialmente o tipo de variáveis envolvidas, se as variáveis envolvidas obedecem aos parâmetros de distribuição normal e se os dados da amostra são pareados, ou não pareados. Embora o tamanho da amostra para estimação das médias já tenha sido definido pelo programa experimental de caracterização de espécies arbóreas do LPF, foi feita na Tese uma verificação do tamanho da amostra utilizada, no sentido de se verificar a adequação do programa experimental. Este estudo do tamanho da amostra consta, também, como parte dos estudos estatísticos da Tese.

No Capítulo 3 apresenta-se a Metodologia utilizada no trabalho com enfoque sobre a validação e verificação da concordância entre o modelo experimental representado pelo Banco de Dados de Madeiras Tropicais Brasileiras, desenvolvido pelo LPF, e o modelo matemático desenvolvido na Tese capaz de estimar propriedades mecânicas e físicas de madeiras tropicais a partir de outras propriedades, especialmente a densidade básica, para madeiras na condição verde. O modelo matemático de estimação de propriedades para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%), proposto por Bessa (Bessa, 2018), foi refeito a partir da densidade básica como variável independente e não a densidade aparente, de modo a se evitar o acúmulo de erros estatísticos do tipo I. A validação do novo modelo e verificação de concordância com o modelo experimental são discutidos e apresentados. As formulações matemáticas propostas nesta Tese para madeiras nas condições verde e seca, também, tiveram a concordância verificada para bases amostrais diferentes dos dados brutos originais do LPF, utilizados na análise dos modelos de regressão linear. Os estudos de concordância entre os modelos matemáticos e bases amostrais externas foram feitos a partir de banco de dados experimentais constantes na literatura, referentes a propriedades mecânicas e de rigidez de 370 espécies de madeiras tropicais provenientes da América Espanhola, África, Ásia e Oceania. Os dados experimentais desses bancos externos são provenientes de programas experimentais realizados nos últimos trinta anos, especialmente nos Estados Unidos, Inglaterra e na França (Chudnoff, 1981, 1984). Os dados desses programas experimentais externos foram integralmente digitalizados, sistematizados e adaptados pelo autor, constando como anexo desta Tese. Finalizado o capítulo são apresentados dois modelos de regressão linear múltipla: o primeiro que avalia a influência, na resistência da madeira, do tipo de grã como variável qualitativa dicotômica independente; o segundo modelo que avalia a melhoria no desempenho da capacidade de estimação a partir da utilização de duas variáveis preditoras quantitativas decimais, a densidade básica (D_b) e a resistência a compressão paralela às fibras (CPA).

No Capítulo 4 apresenta-se um modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical. O modelo de dimensionamento verifica elementos estruturais solicitados à tração e a compressão axial, à flexão simples, à flexão composta oblíqua, além de ligações. A formulação toma como referência o modelo de segurança determinístico presente na norma brasileira NBR-7190/82 (ABNT, 1982).

No Capítulo 5, de forma similar, é apresentado um modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, tomando-se como referência o modelo de segurança determinístico presente na norma brasileira NBR-7190/97 (ABNT, 1997). O modelo de dimensionamento verifica elementos estruturais solicitados à tração e a compressão axial, à flexão simples, à flexão composta oblíqua, além de ligações.

No Capítulo 6 é apresentado um modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, tomando-se como referência o modelo de segurança probabilístico presente na norma brasileira NBR-7190/22 (ABNT, 2022) e no Eurocode 5 (Eurocode 5, 2004). O modelo de dimensionamento verifica elementos solicitados à tração e a compressão axial, à flexão simples, à flexão composta oblíqua, além de ligações, tanto pela norma brasileira recentemente publicada, quanto pelo código europeu correspondente.

No Capítulo 7 apresenta um método analítico simplificado para determinar a frequência e a aceleração de sistemas de piso de madeira tropical, que utiliza o modelo matemático para estimar o módulo de elasticidade a partir da densidade básica. O método simplificado foi descrito e apresentado por (Murray, 2003) aperfeiçoando estudos de Tilden (1966) e pode ser aplicado a painéis de piso sujeitos à atividade do caminhar de pessoas, em pisos de concreto, ou em tábuas corridas de madeira. A adaptação para estruturas de madeira será feita pela consideração do amortecimento, tanto da estrutura interna nua, quanto dos elementos não estruturais (de Murray et al, 2003).

No Capítulo 8 sintetiza-se os principais comentários e considerações, tendo-se como referência os objetivos gerais e específicos esperados inicialmente para a Tese. Comenta-se também sobre alguns estudos já desenvolvidos, mas que não foram incluídos na Tese em virtude da amplitude do escopo, por decisão do autor juntamente com os orientadores. Acrescentam-se, também, sugestões para trabalhos complementares.

A estrutura pós-textual do documento da Tese apresenta a Bibliografia Consultada e parte das Referências Bibliográficas que o autor compilou durante o desenvolvimento da pesquisa e entende como sendo importantes sobre o tema e tópicos complementares.

Os Anexos A contêm, adaptadas pelo autor, as tabelas das espécies de madeiras tropicais brasileiras que compõem o Banco de Dados do LPF. São apresentadas tabelas ordenadas em sequência alternada pela condição de teor de umidade (madeira verde e seca) da seguinte forma:

ordenamento por Nome Popular das Espécies, ordenamento por Ordem Crescente do Valor da Densidade Básica da Madeira e por Nome Científico das Espécies. Para as poucas espécies do Banco de Dados que, eventualmente, não dispunham de resultados experimentais para propriedades mecânicas, os valores foram estimados utilizando-se o modelo matemático desenvolvido nesta Tese e constam das tabelas do anexo, mas estão destacadas em fonte itálica e de cor vermelha, para melhor informação e compreensão do leitor.

Os Anexos B contém as tabelas de espécies de madeiras tropicais de outros continentes obtidos da literatura, com adaptações de forma, para madeira nas condições verde e seca. As tabelas estão organizadas pela ordem crescente do valor da densidade básica para espécies de madeiras tropicais da África, Ásia e Oceania e América Tropical Espanhola. O Banco de Dados, originalmente em formato de arquivo não editável, foi digitalizado para compor a amostra experimental externa para as análises de concordância com o modelo proposto matemático proposto. Também neste caso, para as poucas espécies do Banco de Dados que, eventualmente, não dispunham de resultados experimentais para propriedades mecânicas, os valores foram estimados utilizando-se o modelo matemático desenvolvido nesta Tese e constam das tabelas desse anexo, mas estão destacadas em fonte itálica e de cor vermelha, para melhor informação e compreensão do leitor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações Iniciais

As florestas tropicais se distribuem, especialmente, entre os trópicos de Câncer ao norte (27,47^o de latitude norte) e de Capricórnio (27,47^o de latitude sul). Nos Continentes se distribuem aproximadamente nas seguintes proporções: 58% na América Latina, 23% na Ásia, 18% na África e os restantes 2% no norte da Oceania. No Continente Americano a maior parte se encontra na América do Sul, especialmente na Amazônia Brasileira. A Amazônia espanhola se distribui desde a Bolívia, Peru, Venezuela, mas especialmente pela Colômbia, além de uma região menor nas Guianas, Suriname e América Central, além de uma pequena parte ao sul do México. O Brasil abriga da ordem de 25% das florestas tropicais do planeta (Olorunnisola, 2018). Na África essas florestas se distribuem no centro-oeste do Continente, abaixo da região dos grandes desertos. A leste se distribuem ao longo da costa, margeando e emoldurando a região das grandes savanas, além de uma faixa não muito larga na região leste da Ilha de Madagascar, distribuindo-se praticamente de norte a sul. Na Ásia Continental a distribuição compreende o sudoeste da Índia, grande parte do Vietnã, sul de Myanmar, Leste do Laos, Sudoeste da Tailândia, Sul do Camboja e praticamente toda a Malásia. A região dos grandes arquipélagos ao sul da Ásia é praticamente toda coberta por florestas tropicais, compreendendo os arquipélagos da Indonésia, Filipinas e ilhas de Brunei, Papua Nova Guiné e Timor Leste. Na Oceania há apenas uma pequena região coberta por florestas tropicais no norte e nordeste da Austrália. Os botânicos estimam que na África existem da ordem de 1.000 espécies arbóreas tropicais (Olorunnisola, 2018). A Ásia abrigaria da ordem de 2.000 espécies e a maior diversidade estaria na Amazônia, onde se estima entre 3.000 (Melo, 2019) (LPF/IBAMA, 2016) e 4.000 (Rezende, et al., 1988). Estudos recentes para identificação de espécies arbóreas a partir de imagens de sensoriamento remoto, levando-se em consideração padrões espectrais, texturais e estruturais das copas, estimam a existência da ordem de 16 mil espécies arbóreas na Amazônia (Rocco Lahr, 2020). Portanto, na Amazônia, a grande maioria dessas espécies arbóreas tropicais ainda não foram caracterizadas, ou sequer estudadas. O maior programa de estudo e caracterização de espécies de madeira tropical do mundo foi conduzido, nos últimos trinta anos, pelo Laboratório de Produtos Florestais-LPF, do Ministério do Meio Ambiente do Governo do Brasil e está disponível desde o ano de 2000 (IBAMA, 1997). Neste programa foram caracterizadas e estudadas 259 espécies de madeiras tropicais. Não há outra experiência com essa dimensão e a abrangência realizada, conduzida em outros países, seja na Europa ou nos USA.

A Floresta Amazônica brasileira abriga variados recursos naturais, como há décadas é sabido, e em especial recursos florestais, não só pela diversidade, mas pela qualidade e quantidade

disponíveis. A Amazônia brasileira ocupava originalmente uma área em torno de 270 milhões de hectares (2,7 milhões de quilômetros quadrados), nas regiões Norte e Centro-oeste do País, abrangendo os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, representando da ordem de 33% do território nacional. As reservas atuais da Floresta Amazônica são estimadas em 35 bilhões de metros cúbicos de madeira tropical (Rezende, et al., 1988). Infelizmente, permanecem indícios evidentes de que sua exploração ainda é seletiva e predatória, responsável por mais de 760.000 km² (aproximadamente 28%) de seus 2,7 milhões de quilômetros quadrados de área original de Floresta Amazônica, já devastados de modo praticamente irreversível, de acordo com os dados publicados em 2016 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, entidade ligada ao Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil (Melo, 2019) (Dias, et al., 2019) (Rocco Lahr, 2020).

2.2 Nomenclatura Botânica e Comercial

A Nomenclatura Botânica é um código internacional que permite classificar e identificar os vegetais, baseando-se em suas características morfológicas, anatômicas e químicas dos órgãos vegetativos e reprodutivos. Dentro desta classificação se encontram os dois grandes grupos de vegetais produtores de madeira, por apresentarem árvores que podem ser exploradas com fins comerciais e, conseqüentemente, estruturais. São as dicotiledôneas, também chamadas de folhosas e as coníferas (Esau, 1976). A espécie é a unidade básica da classificação, isto é, somente com a identificação até a espécie, poderemos ter certeza do seu comportamento com base nas propriedades de caracterização. Como exemplo, segue a Tabela 2.1 com a classificação botânica de duas espécies conhecidas no mercado.

Tabela 2.1: Classificação botânica de duas espécies conhecidas no mercado (Fonte: Melo (2018))

Nome Comum	Mogno	Pinheiro do Paraná
Reino	Vegetal	Vegetal
Seção	Fanerogama	Fanerogama
Divisão	Angiospermae	Gmnospermae
Classe	Dicotiledoneae	Coniferae
Ordem	Geraniales	Coniferales
Família	Meliaceae	Araucariaceae
Gênero	Swietenia	Araucária
Espécie	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Araucaria angustifolia</i>

O Nome Comum ou Nomenclatura Comercial da madeira é o nome popular da árvore de uma determinada espécie. Normalmente tem origem regional e muitas vezes estes nomes são dados pela

aparente semelhança com as madeiras já tradicionalmente comercializadas. A extensão territorial do Brasil, a grande quantidade de espécies disponíveis e o pouco conhecimento deste material, explica a existência de múltiplos nomes comuns para uma mesma espécie de madeira, assim como, um mesmo nome para diferentes espécies comercializadas (Camargos, et al., 2001). Já o nome científico é único por espécie, de acordo com o código internacional de nomenclatura botânica. Portanto, é muito importante que na especificação de uma determinada espécie, seu nome científico esteja presente (Melo, et al., 1992) (Melo, 2019).

2.3 Estrutura Macroscópica da Madeira

A árvore é constituída de células com propriedades específicas, que se agregam umas às outras formando os elementos que desempenham as funções vitais de seu crescimento, que é a transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e a sustentação do vegetal. Fazendo-se um corte transversal no tronco ou caule de uma árvore conforme mostrado na Figura 2.1, as seguintes partes se destacam:



Figura 2.1 Desenho esquemático de corte transversal no tronco de uma árvore (Fonte desconhecida)

2.3.1 Sobre a Casca

A casca é constituída na parte externa por células mortas e na parte interna por tecidos vivos (floema) especializados na condução da seiva elaborada. Têm como função também de proteger a árvore contra as intempéries, ressecamento e ataques de fungos.

2.3.2 Sobre o Alburno

É formado pela parte mais externa da madeira, onde ocorre o transporte ascendente de líquidos retirados do solo (seiva bruta) e a estocagem de substâncias de reserva. A maioria das células é viva, geralmente apresenta madeira de cor clara, mais leve que o cerne e susceptível ao ataque de fungos e insetos. Entre a casca e o alburno existe uma camada de células denominada câmbio, que por divisões sucessivas vão formando novas camadas de madeira, aumentando o diâmetro do tronco. Assim, à medida que novas camadas de alburno são formadas, elas vão se distanciando do câmbio e perdendo gradativamente a função de condução da seiva elaborada, adquirindo uma coloração mais escura em decorrência da decomposição e transformação de algumas substâncias de reservas, dando origem ao cerne. O mesmo fenômeno ocorre com a casca, em que a parte mais externa vai se distanciando do câmbio, perdendo a função de conduzir a seiva e, em consequência, as células morrem. Por ser constituída de madeira menos densa, geralmente contém mais umidade do que o cerne sendo a parte da madeira mais adequada para o tratamento com preservativos (Wood Handbook, 2002).

2.3.3 Sobre o Cerne

Está situado logo após o alburno, em direção ao centro do tronco. Nesta região as células estão inativas, os poros de algumas espécies obstruídos por tilos ou gomas e as cavidades celulares impregnadas de substâncias extrativas (tanino, resinas, gorduras e carboidratos). Já não há mais circulação de seiva, e a presença de extrativos, tóxicos aos organismos degradadores da madeira, dá

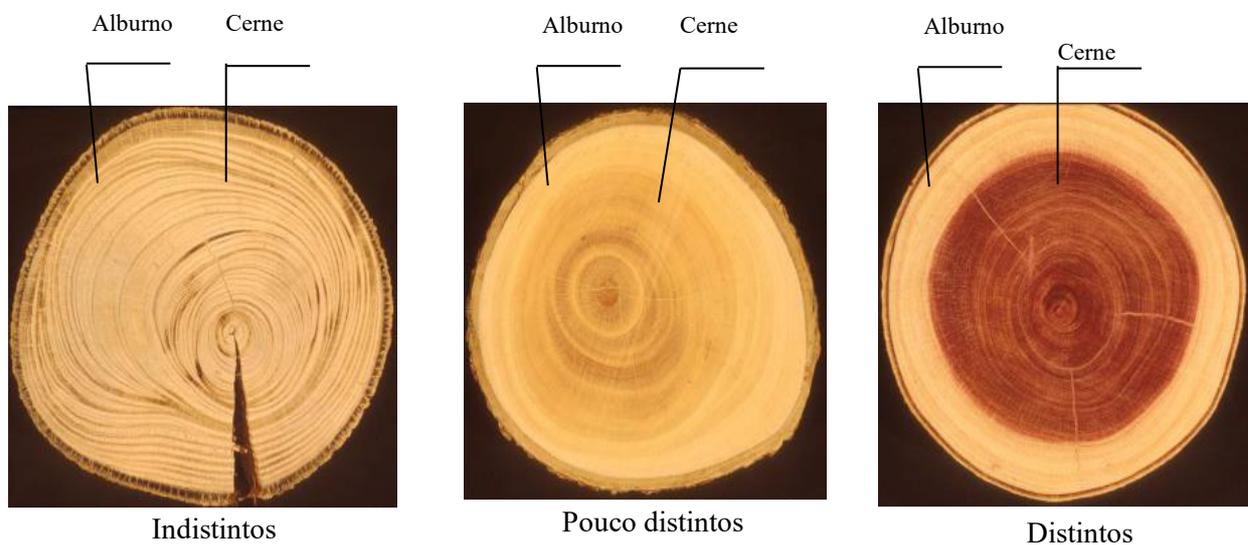


Figura 2.2 - Cerne distinto a indistintos (Imagens: LPF)

a esta parte da árvore maior durabilidade natural e maior densidade. Normalmente o cerne é de cor mais escura que o alburno, devido a alterações químicas dos extrativos, existindo, portanto, a possibilidade de ambos serem indistintos, conforma mostra a Figura 2.2 - Cerne distinto a indistintos (Imagens: LPF). Conseqüentemente, a obstrução dos poros e cavidades celulares, torna o cerne mais

difícil de secar e mais resistente a impregnação de substâncias preservativas, porém dificulta a ação de fungos e insetos pela ausência de condições ideais de desenvolvimento.

2.3.4 Sobre a Medula

É a parte mais interna e mais velha do tronco da árvore. Pode ser central ou excêntrica e com diâmetro variável. Em torno da medula, existe uma camada de madeira que se formou na juventude da árvore, quando se iniciou o aumento do diâmetro do tronco, denominado lenho juvenil. Para algumas espécies é frágil, pouco resistente e menos estável que o restante da madeira do tronco, contribuindo para o surgimento de defeitos no processo de secagem. A medula e lenho juvenil são susceptíveis ao ataque de fungos e insetos, dando origem aos ocos no tronco, mesmo na árvore viva.

2.3.5 Sobre os Anéis de Crescimento

É uma série de camadas de crescimento concêntricas, muitas vezes alternados em partes claras e escuras de diferentes espessuras, que vão da medula até a casca, resultantes das divisões sucessivas do câmbio influenciado por condições ambientais e por condições específicas da espécie. Desta forma, as atividades do câmbio não são de forma contínua. Em regiões onde as estações do ano são bem definidas, os anéis de crescimento são bem diferenciados. Na primavera e verão, época mais propícia ao crescimento da árvore, a camada de madeira formada possui menor densidade. Já no outono e inverno, período de repouso vegetativo, a camada de madeira possui maior densidade e de maior resistência. O número de anéis de crescimento na seção transversal do tronco permite avaliar a idade da árvore, considerando que cada anel se desenvolveu durante o ano. A Figura 2.3 mostra a seção transversal com anéis distintos de crescimento Figura 2.3.



Figura 2.3 : Anéis de crescimento (Imagens: LPF)

2.4 Propriedades Físicas e Mecânicas das Madeiras Para Projeto de Estruturas

A madeira como material de construção difere de várias maneiras do aço, do concreto ou de outros compostos. É um material biológico, natural e com propriedades variáveis, com uma relação

constitutiva que pode ser considerada ortotrópica, o que significa possuir diferentes propriedades em relação à direção das fibras, mas constante em um mesmo eixo. Além disso, é um material higroscópico, em que o teor de umidade muda de acordo com o teor de umidade relativa e a temperatura do ambiente circundante. Quando se escolhe um determinado tipo de concreto ou tipo de aço, os fabricantes desses materiais os produzem de acordo com procedimentos bem estabelecidos para se obter um padrão específico, com variabilidade mais ou menos controlada, pelo processo de siderúrgico de produção do aço, ou de dosagem da mistura do concreto. Quando se trata de madeira, especialmente de madeira tropical, seleciona-se uma classe de madeira, ou mais adequadamente se escolhe uma espécie específica, por algum tipo de classificação de resistência não destrutiva e de acordo com o uso da estrutura. Isso significa separar o material existente, que foi formado durante um longo período de tempo e, muitas vezes em condições muito diferentes, com base em relações estatísticas. A madeira serrada é produzida a partir de uma variedade muito grande de toras provenientes de muitas árvores diferentes. Estas árvores vêm frequentemente de florestas com condições silviculturais diversas e de períodos de rotação que podem ser longos, as vezes de vinte anos, ou mais, dependendo do tempo ciclo de manejo (Borgström, 2016).

As propriedades físicas e mecânicas da madeira variam significativamente em relação à orientação das fibras. Dessa forma, especialmente para madeira serrada, as propriedades são diferentes para as direções radiais, longitudinais e tangenciais. Em situação de projetos em madeira, portanto, é muito importante reconhecer se o elemento estrutural está sendo solicitado na direção paralela, ou perpendicular às fibras. Na direção paralela às fibras a madeira tem uma resistência bem maior que na direção perpendicular, onde a resistência é tipicamente da ordem de $\frac{1}{10}$ do sentido longitudinal e, algumas vezes, próxima de zero (Borgström, 2016) (Bessa, 2018).

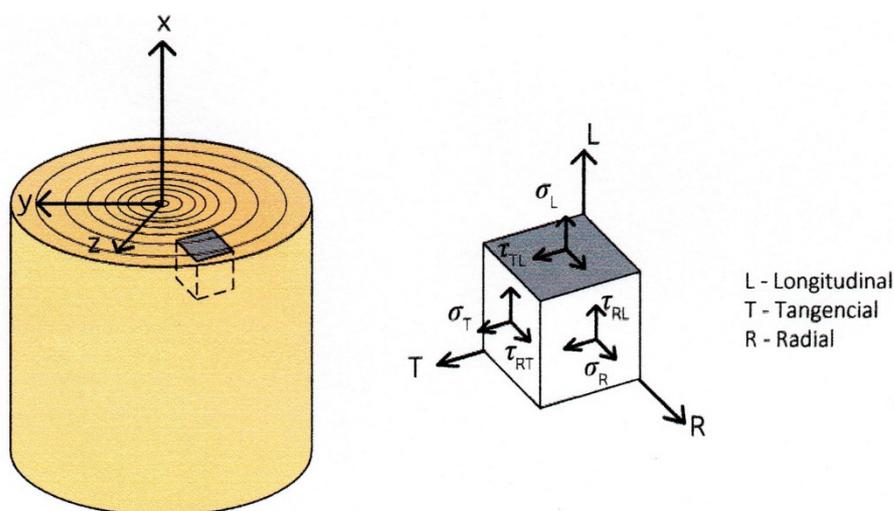


Figura 2.4: Definição das tensões para diferentes direções (Borgström, 2016) (Borgström, 2016)

A estrutura da árvore, admitindo-se uma descrição em termos extremamente singelos de um modelo simplificado das células em forma tubular, em arranjo matricial ligados pela lignina, pode-se explicar as diferentes propriedades da madeira de acordo com a direção das fibras, ou seja, a anisotropia do material. Com uma estrutura de tubos distribuídos em forma matricial é possível entender que a resistência à compressão é maior paralela às fibras do que perpendicular às fibras (Borgström, 2016). Para o estudo das propriedades mecânicas da madeira é necessário definir uma distribuição de tensões conforme a Figura 2.4, que apresenta um elemento infinitesimal cúbico de tensões orientado conforme a figura. Para madeira a diferença entre a direção radial (R) e a tangencial (T) é frequentemente desconsiderada. As direções são denominadas como σ_0 ou σ_{\parallel} e σ_{90} ou σ_{\perp} , para a direção paralela e perpendicular às fibras, respectivamente. Para se descrever o comportamento “real” da madeira na fase elástica, 12 constantes são necessárias: os módulos de elasticidade E_L , E_R , E_T , os módulos de elasticidade transversal G_{LR} , G_{LT} , G_{GT} e os coeficientes de Poisson ν_{LR} , ν_{RL} , ν_{LT} , ν_{TL} , ν_{RT} , ν_{TR} . Normalmente, os coeficientes de Poisson são admitidos como em pares iguais, o que torna possível eliminar três constantes. Ao se desconsiderar a diferença na direção tangencial e radial, o número de variáveis pode ser reduzido a seis, muitas vezes denotadas por E_{\parallel} , E_{\perp} , G_{\parallel} , G_{\perp} , ν_{\parallel} e ν_{\perp} (onde \parallel é paralelo à direção da fibra e \perp é perpendicular à direção da fibra) (Borgström, 2016).



Figura 2.5: Corpos de prova para ensaios segundo normas da COPANT (Foto: do autor)

Os corpos de prova para determinação das propriedades físicas e mecânicas de madeiras para projeto de estruturas segundo as Normas da COPANT são mostrados na Figura 2.5. Os corpos de prova são apresentados na seguinte sequência para os ensaios de resistência ao fendilhamento

(FEND), tração perpendicular às fibras (TPE), determinação da densidade básica (D_b), resistência à tração paralela às fibras (TPA), resistência longitudinal ao cisalhamento (CIS), resistência a compressão perpendicular às fibras (CPE), ensaio de dureza (DUR), resistência a compressão na direção das fibras (CPA) e na posição horizontal encontra-se o corpo de prova (5 x 5 x 75 cm) para ensaio de ruptura à flexão (MOR) (COPANT 555, 1973).

2.4.1 Sobre a Umidade

A madeira é caracteristicamente higroscópica, isto é, tende permanentemente a equilibrar o seu teor de umidade com o teor de umidade e a temperatura do ambiente e local em que se encontra, como já foi dito. A água é um componente indissociável da substância lenhosa, se encontrando basicamente de duas formas: impregnada nas paredes celulares e como água livre, contida nos espaços celulares e intercelulares. Geralmente, as ligações com a substância lenhosa das paredes celulares são extremamente fracas. Por isso é que essa água livre pode ser extraída com facilidade sem provocar quaisquer perturbações à forma e dimensão das peças de madeira (Machado, 2006).

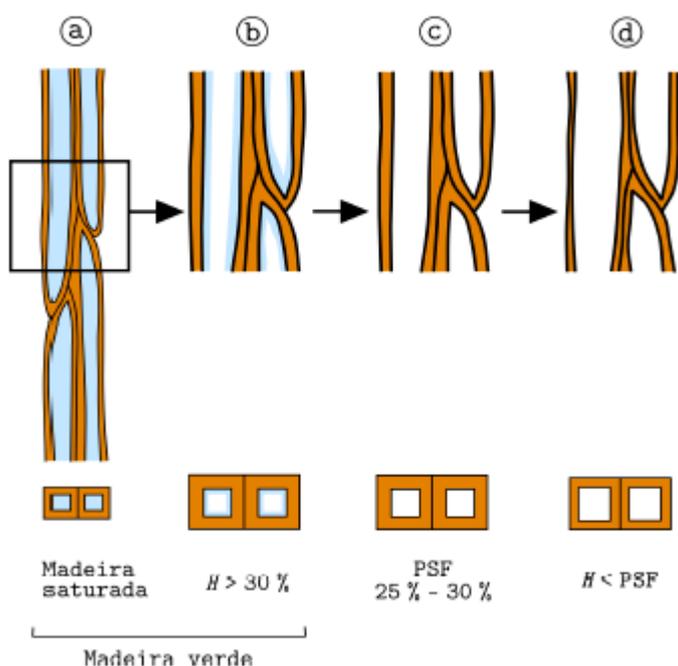


Figura 2.6: Fases de secagem da madeira (Machado, 2006)

Madeiras de árvores vivas ou recém cortadas apresentam elevada porcentagem de umidade, sendo usualmente denominada como madeira saturada ou madeira na condição verde. A madeira ao ficar exposta ao meio ambiente perde umidade contínua e rapidamente pela evaporação, até atingir o ponto de saturação das fibras (*PSF*), que para madeiras tropicais varia entre 25% a 30%. Nesse estado correspondendo ao *PSF*, a madeira perde toda a água livre, mas essa perda ainda interfere muito

pouco na estabilidade dimensional ou nas propriedades mecânicas e de rigidez do material. Após atingir o *PSF* a evaporação prossegue de forma mais lenta, até perder a água de impregnação das paredes celulares e alcançar a umidade de equilíbrio do local onde se encontra. Como a água de impregnação faz parte da estrutura da parede celular, a sua perda altera esta estrutura, causando a contração ou perda de dimensões. O teor de umidade de equilíbrio está relacionado com a espécie, com a sua densidade básica da madeira, a temperatura e o teor de umidade relativa do ar do ambiente, interferindo substancialmente nas propriedades da madeira, no que se refere às mudanças dimensionais, especialmente nas direções tangenciais e radiais (Machado, 2006) (Hiziroglu, 1990). A expressiva diferença de perda de dimensões nas direções tangenciais, radiais e longitudinal traz como consequência, uma série de defeitos que se manifestam principalmente como rachaduras, empenamentos e torcimentos. Como a contração depende da espécie de madeira é de se esperar que espécies com baixas contrações e com baixas diferenças entre contrações tangenciais e radiais, a tendência a apresentar defeitos durante o processo de secagem seja menor. De maneira geral, em ambiente com temperatura da ordem de 21°C e umidade relativa do ar de 65%, madeiras tropicais tendem a atingir um teor de umidade de equilíbrio por volta de 12% (COPANT 460, 1972) (Melo, 2016) (Melo, 2019).



Figura 2.7: Localização da água em uma célula (Hiziroglu, 1990)

2.4.2 Sobre a Densidade

Densidade é definida como massa da amostra por unidade de volume. Por coincidência das definições de unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), onde as grandezas básicas são o comprimento, a massa e tempo e no Sistema MKS e MKS técnico as grandezas básicas são o comprimento, a força e o tempo, o valor numérico de massa, em unidades do SI, é praticamente igual

ao valor numérico de peso, em unidades do MKS técnico. Desta forma, é comum expressar a densidade ou massa específica, como a relação entre peso e volume de uma amostra. Como a massa e o volume, representam a parte sólida (madeira), líquida (água) e vazios celulares e intercelulares, foram definidos quatro valores de densidades para uma mesma amostra de madeira. Isto se faz, pela importância da densidade como parâmetro referencial de qualidade da madeira em relação a usos específicos e diferença numérica entre elas. Portanto, a palavra densidade, pode trazer dúvidas ou interpretações errôneas, se não vier acompanhada das condições de umidade que foi obtida. A densidade do material lenhoso (somente madeira) é de aproximadamente 1500 kg/m^3 , independente da espécie. Porém este valor nada representa em condições normais de utilização. Assim, a densidade é definida como a relação entre o peso da amostra de madeira e o peso do volume de água deslocada, pela imersão da amostra (Hoyle, 1971), sendo, portanto, adimensional. Como no sistema métrico a densidade da água é aproximadamente igual a unidade, o valor numérico da densidade e o peso específico é o mesmo. Neste trabalho serão admitidas as seguintes classes para a densidade básica, estabelecidas por (Melo, et al., 1990) (Melo, 2019):

Espécies de madeira de densidade básica baixa:

$$D_b \leq 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Espécies de madeira de densidade básica média:

$$500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} < D_b \leq 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Espécies de madeira de densidade básica alta:

$$D_b > 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tabela 2.2 Intervalos de Densidade Básica de Madeira Tropical (Melo, et al., 1990)

As normas de caracterização especificam os procedimentos para obtenção do peso da amostra (dimensões e precisão de balança) e seu volume (medidas diretas com paquímetro, imersão em água ou mercúrio) na determinação dos valores da densidade. As duas espécies de madeira citadas a seguir, na Tabela 2.3, mostram a variação numérica das diferentes densidades para madeiras tropicais constantes no banco de dados do LPF (LPF/IBAMA, 2016).

Tabela 2.3: Exemplos de variação numérica de diferentes densidades (Melo, 2019)

Espécie	Densidade (Seca em estufa) (Kg/m ³)	Densidade (Básica) (Kg/m ³)	Densidade (Aparente a 12%) (Kg/m ³)	Densidade (Verde saturada) (Kg/m ³)
Castanha-de-cutia - <i>Acioa edulis</i>	990	820	1040	1230

2.4.2.1 Densidade Verde

É a relação entre a massa (m_v) e o volume (V_v), ambos em condição de saturação das fibras e vazios celulares e intercelulares. Nestas condições, se diz simplesmente madeira saturada. Como acima do ponto de saturação das fibras, o volume permanece constante, o mesmo não acontece com o peso, considerando a quantidade de água livre que se encontra nos vazios celulares e intercelulares. Daí a importância de verificar se a densidade verde é saturada, ou a um determinado teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras, principalmente para madeiras de baixa densidade. É utilizada na estimativa de peso para transporte, peso próprio de estruturas e na aplicação de programas de secagem. Normalmente, a densidade verde encontrada na bibliografia, é em condição saturada, isto é, também os vazios internos estão completamente cheios de água (COPANT 461, 1972).

$$D_v = \frac{m_v}{v_v} \left(\frac{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ ou } \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (2.1)$$

2.4.2.2 Densidade seca

É a relação entre a massa (m_s) e o volume (V_s), ambos em condição seca em estufa, a 0 % de teor de umidade. É uma característica importante na escolha de espécies de madeira para fins energéticos (COPANT 461, 1972).

$$D_s = \frac{m_s}{v_s} \left(\frac{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ ou } \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (2.2)$$

2.4.2.3 Densidade Básica

A Densidade Básica é uma propriedade fácil de ser obtida e compreendida. É a relação entre a massa da madeira seca em estufa a 0% de teor de umidade e o volume verde saturado (V_v), determinada a partir de corpos de prova padronizados (2 x 2 x 10 cm), conforme a Equação (2.3). Quando se deseja determinar a massa específica no próprio corpo de prova de ensaio de caracterização, utiliza-se seção (5 x 5 x 10 cm), conforme estabelecido pela COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas). Para determinação da massa seca (m_s) os corpos de prova devem ser empilhados com separadores numa estufa elevando-se a temperatura gradualmente até 103°C ± 2°C. Após peso

constante, a massa seca é obtida em balança com precisão especificada por norma (0,2%). A determinação do volume do corpo de prova saturado (V_v) é, normalmente, feita com medição direta ou indireta por imersão em água. Coloca-se um recipiente com água sobre a balança cuidadosamente nivelada, zerando-se o seu indicador de leitura. Com um dispositivo apropriado, conforme o mostra a Figura 2.8, a extremidade do corpo de prova é fixada numa agulha fina e colocado totalmente submerso na água. A leitura do visor da balança vai fornecer o volume do corpo de prova, pelo princípio de empuxo de Arquimedes. Dentre as várias densidades da madeira, a densidade básica é o parâmetro mais utilizado como referência às propriedades de espécies de madeira. É uma propriedade fácil de ser quantificada, como foi descrito acima e que, conceitualmente, pode ser facilmente compreendida, mesmo para aqueles que não são do meio técnico.

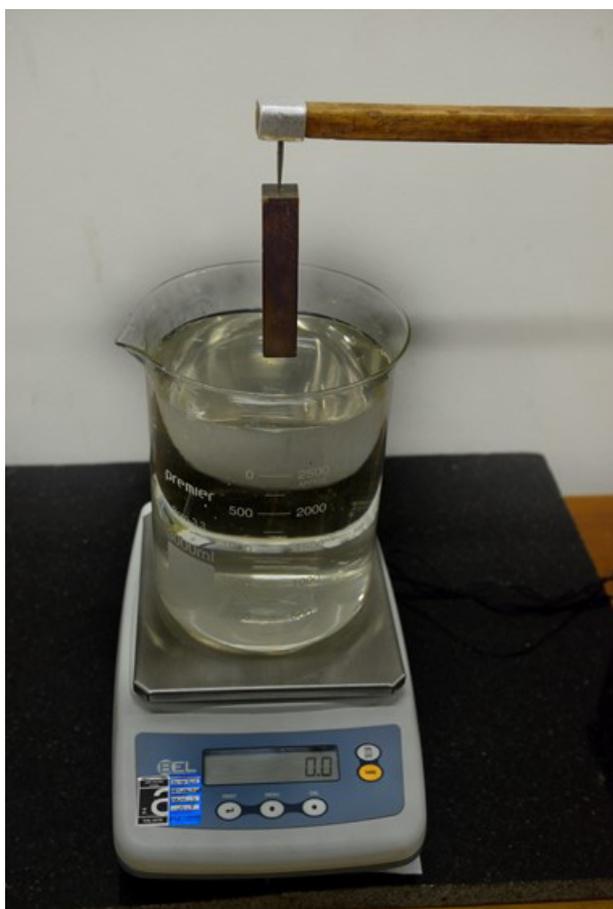




Figura 2.8: Determinação do volume do corpo de prova saturado por imersão em água para cálculo da densidade básica da madeira (Fotos: do autor).

Por ser mais fácil de determinar, ser mais precisa em termos de condições de umidade e através dela ser possível estimar a densidade aparente, a densidade básica é muito usada na comparação entre propriedades de espécies e na condução de programas de secagem (COPANT 461, 1972). Como exemplo de valores mais extremos de densidade básica, de espécies de madeira da Amazônia pode-se citar:

Muirapixuna - *Cassia scleroxylon*, com $D_b = 1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Fava-bolota/visqueiro - *Parkia gigantocarpa*, com $D_b = 260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$D_b = \frac{m_s}{v_v} \quad \left(\frac{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ ou } \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (2.3)$$

2.4.2.4 Densidade Aparente

A Densidade Aparente é a relação entre a massa (m_{ap}) e o volume (V_{ap}), ambos a um determinado teor de umidade. Normalmente, a densidade aparente é determinada a 12% ou 15% de teor de umidade (COPANT 461, 1972). É a densidade mais difícil de se obter, pela necessidade de condicionar a madeira em ambiente climatizado, sendo, portanto, um processo demorado, além de muitas vezes ser necessário corrigir os valores obtidos, em virtude da variação que normalmente ocorre em torno do teor de umidade desejado. É utilizada na avaliação do peso próprio de estruturas em viga laminada colada, em madeira maciça seca e para comparação de espécies para usos específicos (COPANT 461, 1972).

$$D_{ap} = \frac{m_{ap}}{v_{ap}} \left(\frac{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ ou } \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (2.4)$$

2.4.3 Resistência à Tração Paralela à Direção das Fibras (TPA)

Os ensaios experimentais de madeira são feitos com corpos de prova isentos de defeitos, sendo possível estudar o efeito de se carregar elementos estruturais de madeira em diferentes direções. O ensaio para estimar resistência à tração axial na direção das fibras (TPA) mostra que a relação tensão-deformação é quase linear até a ruptura (Figura 2.9). Em nível do material dois modos de falha são possíveis (ou uma combinação deles): para fibras formadas por células mais antigas, onde as paredes são mais espesas, a lamela média se rompe e as fibras são puxadas para fora do arranjo tubular matricial do material. Para fibras formadas por células mais recentes, onde as paredes são mais finas, as fibras podem se romper por ruptura. Em ambas as hipóteses, geralmente, o mecanismo de ruína é frágil, portanto, sob o ponto de vista da segurança estrutural, trata-se de fenômeno de ruína sem aviso, ou catastrófica. O valor da resistência da madeira à tração paralela à direção das fibras é bem mais alta que a correspondente resistência a compressão axial. Para o Banco de Dados do LPF com madeiras tropicais brasileiras na condição seca (teor de umidade de 12%), tomando-se como referência o MOR, como tensão resistente nominal de tração paralela às fibras, o menor valor encontrado é da ordem de 31 MPa ($D_b = 0,26 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$), chegando-se a valores surpreendentes de 190 MPa ($D_b = 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) (COPANT 742, 1973) (LPF/IBAMA, 2016) (Melo, 2016) (Borgström, 2016).

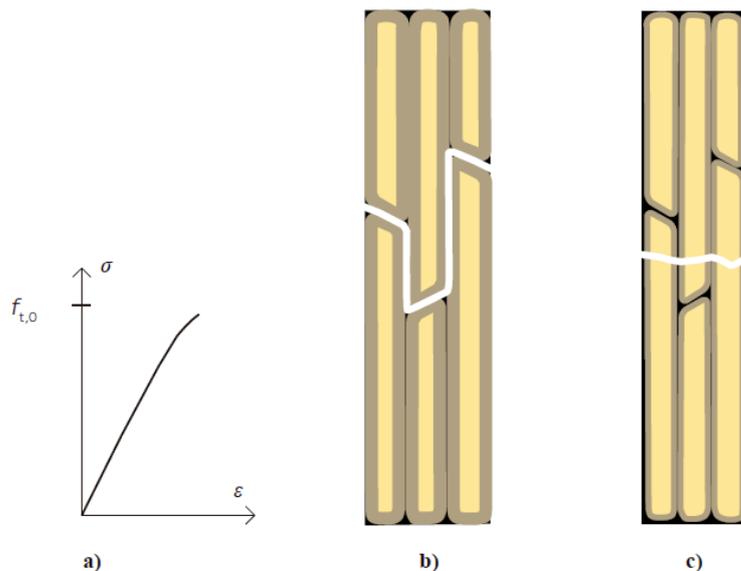


Figura 2.9: a) Relação tensão-deformação para peças submetidas à tração axial paralela à direção das fibras. Mecanismos de ruína típicos de tração na direção das fibras b) para fibras com células mais antigas e c) para fibras com células mais recentes. (Borgström, 2016)

2.4.4 Resistência à Tração Perpendicular à Direção das Fibras ($f_{t,90,k} = TPE$)

As forças para romper, ou mesmo separar, as fibras são muito mais baixas, quando peças de madeira são solicitadas à tração perpendicular à direção das fibras (TPE) (COPANT 743, 1973). A rigidez é menor para a direção perpendicular às fibras. A Figura 2.10 mostra que a resistência da madeira para tração perpendicular às fibras ($f_{t90,k}$), geralmente, é muito baixa. Para as madeiras tropicais em condição seca (teor de umidade de 12%), estudadas pelo LPF, os valores de $f_{t90,k}$ variam de 1,5 MPa ($D_b = 0,29 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) a 7,7 MPa ($D_b = 0,90 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$). Também é possível observar que a rigidez é muito menor nessa direção, caracterizada pela menor inclinação da reta no diagrama tensão-deformação, conforme a Figura 2.10 (Borgström, 2016) (LPF/IBAMA, 2016).

2.4.5 Resistência a Compressão Paralela à Direção das Fibras (CPA)

Na compressão paralela à direção das fibras (CPA) a tensão principal será paralela à direção axial das fibras (tubos). Os tubos carregados axialmente são muito mais estáveis e podem suportar um alto nível de solicitação. Quando o nível de carga atinge um determinado valor, algumas fibras começam a perder estabilidade e são empurradas umas contra as outras. A partir do início da flambagem dos tubos, a madeira perde a capacidade de suportar acréscimo de cargas e o comportamento pode ser classificado como em regime plástico.

A Figura 2.11 mostra o diagrama típico da relação tensão-deformação para corpos de prova de madeira, isentos de defeitos, submetidos a forças de compressão paralela às fibras. Para as madeiras tropicais em condição seca (teor de umidade de 12%) estudadas pelo LPF, os valores de $f_{c0,k}$ (CPA) variam de 22,6 MPa ($D_b = 0,26 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) a cerca de 100 MPa ($D_b \approx 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) (COPANT 464, 1972) (Borgström, 2016) (LPF/IBAMA, 2016).

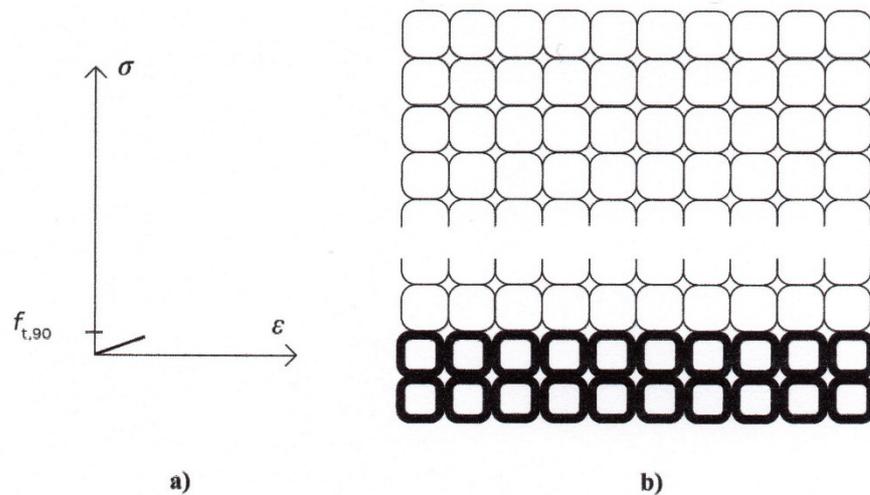


Figura 2.10: a) Relação tensão-deformação para peças submetidas à tração perpendicular à direção das fibras. b) Mecanismo de ruína típico de tração perpendicular às fibras (Borgström, 2016).

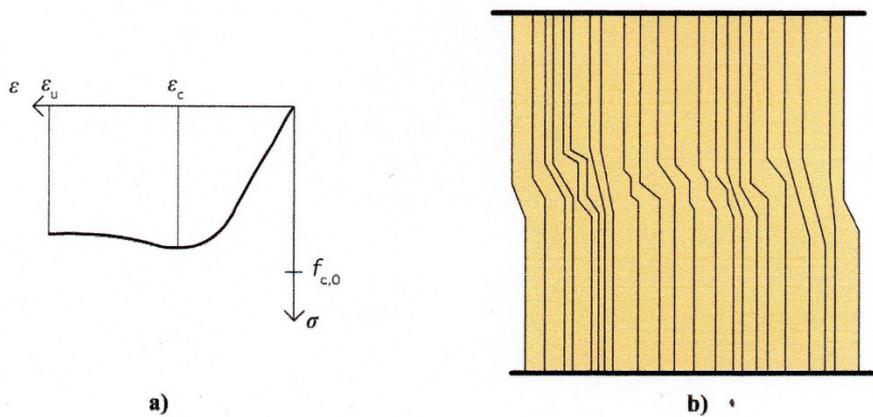


Figura 2.11: a) Relação tensão-deformação para peças, isentas de defeito, submetidas a compressão axial paralela às fibras b) Mecanismo de ruína típico de compressão axial paralela às fibras (Borgström, 2016)

2.4.6 Resistência a Compressão Perpendicular às Fibras (CPE)

As células da madeira na compressão perpendicular às fibras (CPE), são esmagadas. Esmagar uma estrutura em forma de tubo a partir do lado requer baixa força e, conseqüentemente, tanto a rigidez quanto a força para esse mecanismo de ruína, são baixas. No entanto, não é possível definir um modo de falha real na compressão perpendicular às fibras. O que se verifica é que, mesmo quando todas as células são esmagadas, o nível de tensão pode ainda aumentar. A Figura 2.12 mostra o diagrama tensão-deformação para madeira solicitada à compressão perpendicularmente às fibras (COPANT 466, 1972).

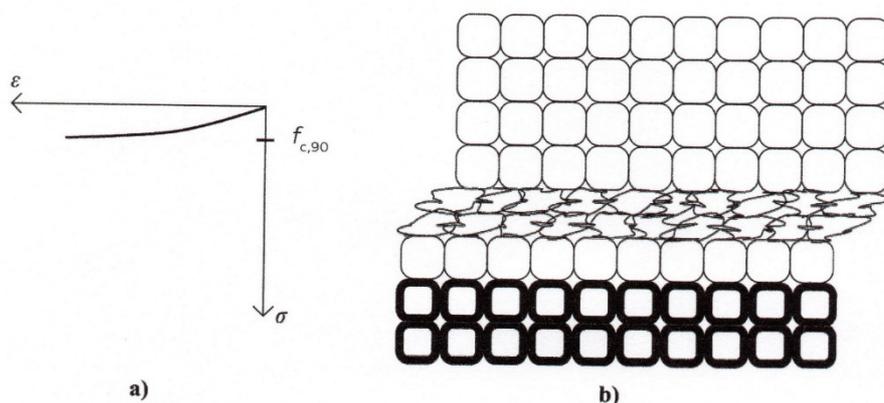


Figura 2.12: a) Relação tensão-deformação para peças submetidas a compressão perpendicular às fibras b) Mecanismo de ruína típico de compressão perpendicular às fibras (Borgström, 2016)

Para as madeiras tropicais na condição seca (teor de umidade de 12%) caracterizadas pelo LPF o nível máximo da tensão resistente $f_{c90,k}$ (CPE) varia de 1,9 – 27,5 MPa, para densidades básicas no intervalo de 0,29 – 0,97 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Há uma diferença na quantidade de deformação para o mesmo nível de carga, dependendo da posição dos anéis na peça de madeira. O módulo de elasticidade perpendicular às fibras é maior em fibras constituídas por células mais antigas e com paredes mais espesas, do que em células mais recentes e com paredes menos espesas. Isso, no entanto, não é levado em consideração ao se dimensionar elementos de madeira.

2.4.7 Resistência Longitudinal ao Cisalhamento (CIS)

A resistência ao cisalhamento da madeira é mais alta em planos paralelos à direção das fibras (CIS). O valor de $f_{v0,k}$ varia para as madeiras tropicais na condição seca (teor de umidade de 12%), estudadas pelo LPF, entre 3,8 MPa e 23,6 MPa, correspondentes a densidades básicas $D_b = 0,26 \text{ g/cm}^3$ e $D_b = 1,01 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. A resistência ao cisalhamento perpendicular à direção das fibras τ_{RT} é, geralmente, da ordem da metade da resistência longitudinal ao cisalhamento (COPANT 463, 1973) (LPF/IBAMA, 2016).

Em estruturas de madeira o cisalhamento na direção τ_{RL} (longitudinal-radial) e τ_{TL} (longitudinal-tangencial), conforme está na Figura 2.13, são os mais comuns. A resistência ao cisalhamento na direção tangencial τ_{TL} é menor, pois a linha de falha passa pela camada mais fraca com madeiras mais recentes na árvore (ou mais novas), em comparação com a direção radial τ_{RL} , na qual a área de falha tem que passar pela madeira mais recente (ou mais nova) e também pelas mais antigas (ou mais velhas) (Borgström, 2016). Para o engenheiro, no entanto, não é possível distinguir entre τ_{RL} e τ_{TL} , de modo que o menor dos dois valores é o usado pelas normas de projeto. Para a falha ao cisalhamento em decorrência a esforços de torção, as fibras em forma de tubo rodam (ou giram) umas contra as outras em vez de cortar as células na direção longitudinal. Embora o cisalhamento

devido à torção não seja tão comum em vigas quadradas, ou retangulares, é recomendável evitar solicitações por torção em peças de madeira. É importante ressaltar que a resistência ao cisalhamento, bem como a tração perpendicular às fibras, é altamente influenciada pelo fendilhamento resultantes da secagem da madeira (Borgström, 2016).

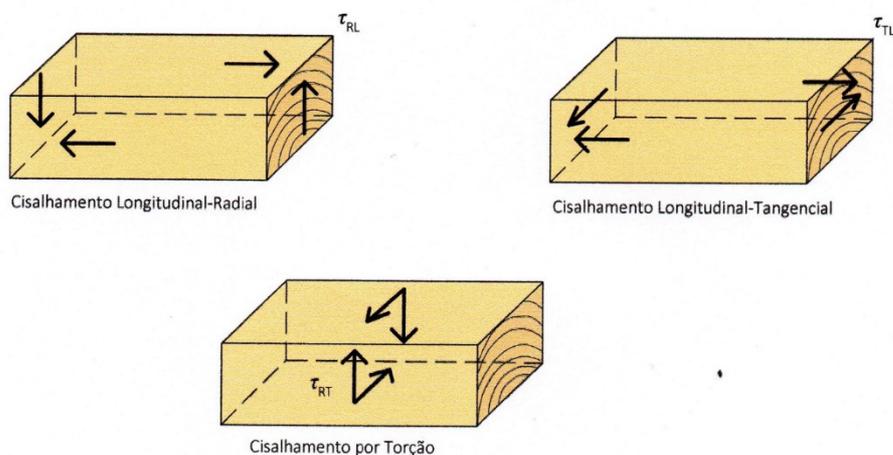


Figura 2.13: Cisalhamento em diferentes direções, (Borgström, 2016).

2.5 Fatores Que Afetam a Resistência da Madeira

Existem várias características da madeira que, para uso em engenharia, podem ser vistas como defeitos. Nesse sentido, os principais fatores que afetam a resistência da madeira são descritos abaixo (Wangarrd, 1981) (Melo, 2016) (Melo, 2019).

2.5.1 Sobre a Variabilidade Natural do Material

Sendo de origem botânica, é de se esperar que a madeira apresente diferenças em relação às suas propriedades físicas e de resistência. As variações na sua composição e estrutura orgânica se refletem em diferenças significativas nas propriedades entre espécies distintas, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore. Para algumas propriedades esta variabilidade tende a ser maior do que para outras. Como as propriedades de resistência de uma mesma espécie tendem para uma distribuição normal, a variabilidade é medida através do coeficiente de variação.

A Tabela 2.4 mostra os coeficientes de variação médios de propriedades da madeira, importantes para o projeto estrutural, tanto na condição verde (saturada em água) e seca (teor de umidade de 12%). Estes valores foram obtidos em ensaios normalizados com corpos de prova sem defeitos, com mais de 250 espécies caracterizadas pelo LPF. Para efeito de caracterização é importante que o sistema de amostragem leve em consideração toda esta variabilidade, para se conseguir uma representatividade significativa de uma determinada espécie de madeira.

Tabela 2.4: Coeficiente de variação médio de espécies da Amazônia (Melo, 2016)

Propriedade	Número de corpos de prova	Número de espécies	Coeficiente de variação (%)	
			Verde	Seco
Módulo de elasticidade – Flexão (MOE)	2046	251	13	11
Tensão de ruptura - Flexão estática (MOR)	2046	251	14	16
Tensão de ruptura - Compressão paralela às fibras (CPA)	2022	245	14	13
Tensão no limite proporcional - Compressão perpendicular às fibras (CPE)	1651	241	23	17
Tensão de ruptura - Cisalhamento paralela às fibras (CIS)	1992	248	15	17
Tensão de ruptura - Tração perpendicular às fibras (TPA)	1965	240	26	30
Dureza Janka paralela às fibras	1993	246	16	17
Dureza Janka perpendicular às fibras	1993	246	19	19
Tensão de ruptura – Fendilhamento	1500	188	29	26
Densidade básica (D_b)	1537	169	9	
Densidade verde (D_v)	1537	118	4	
Densidade aparente (D_{ap} umidade de 12%)	400	44	8	
Total Geral de Corpos de Prova – Programa de Ensaio LPF	20682	-	-	

2.5.2 Sobre o Teor de Umidade (Mostrar Gráfico)

A madeira varia consideravelmente as propriedades de resistência, com a variação do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. À medida que a madeira vai secando, sua resistência aumenta. A resistência aumenta aproximadamente 4%, e a rigidez de aproximadamente 2%, para um decréscimo de 1% no teor de umidade. Em geral isto acontece pela aproximação das cadeias de celulose, em virtude da perda de água de impregnação, com o conseqüente aumento da rigidez e do atrito nos diversos elementos anatômicos da madeira. O teor de umidade tem grande influência nas propriedades físicas e mecânicas, no comportamento na secagem, na eficiência nos processos de preservação e durabilidade natural. Além disso, influencia na trabalhabilidade da madeira, no acabamento e produtos derivados. Portanto, é essencial se fazer a secagem da madeira até a umidade de equilíbrio para uma utilização racional e econômica.

2.5.3 Sobre Defeitos Naturais

Os ensaios em pequenos corpos de prova, isentos de defeitos, não refletem o comportamento real de peças estruturais de madeira sob a ação de cargas, devido a características peculiares associadas ao processo de crescimento da árvore. Os nós, inclinação das fibras e rachaduras são os defeitos mais comuns que têm influência diferenciada na resistência da madeira, em função do tipo de solicitação. Daí a necessidade de se realizar ensaios específicos para determinar esta influência e posteriormente estabelecer um sistema de classificação visual ou mecânico não destrutivo, a ser empregado em peças estruturais comerciais.

2.5.4 Sobre a Influência da Grã na Resistência de Madeiras Tropicais (Simplificar e passar este texto para o item de MRLM considerando a grã)

O termo grã refere-se ao arranjo das células que constituem a madeira ao longo do tronco, em relação ao plano de serragem, ou corte de uma peça de madeira. Quando uma madeira é rachada, ela parte seguindo a direção dos elementos axiais, ou seja, ao longo da grã. A grã tem influência decisiva na qualidade da madeira serrada, nos defeitos que podem surgir durante o processo de secagem, na estabilidade dimensional e na resistência mecânica e rigidez de peças estruturais (Melo, et al., 2016). Portanto, a orientação dos elementos anatômicos (fibras e traqueídes) resultam em diferentes arranjos, conhecidos como tipos de grã. As espécies de madeiras tropicais brasileiras, caracterizadas e que constituem o Banco de Dados do LPF, foram classificadas segundo o tipo de grã apresentado, em: espécies de grã direita (*d*), entrecruzada ou revessa (*r*), irregular (*i*), inclinada (*in*), ondulada (*o*) e direita-reversa ($\frac{d}{r}$). A distribuição das espécies de acordo com a grã, no Banco de Dados do LPF, tem frequências de ocorrência conforme a Tabela 2.5, abaixo. No que se refere à orientação das fibras em relação ao eixo do tronco, já foi observada, inclusive, a variação de grã dentro de uma mesma espécie.

Tabela 2.5: Frequência de distribuição dos tipos de grã nas espécies constantes do Banco de Dados do LPF (Fonte: autor)

Tipo de Grã	Frequência (%)	Número de Espécies
Direita (<i>d</i>)	35,66	92
Revessa (<i>r</i>)	35,66	92
Irregular (<i>i</i>)	15,50	40
Inclinada (<i>in</i>)	8,53	22
Ondulada (<i>o</i>)	4,26	11
Direita-Revessa ($\frac{d}{r}$)	0,39	1
Total	100,0	258

Cada tipo de grã pode influir significativamente de forma diferente na trabalhabilidade, ou usinagem com máquinas convencionais de carpintaria, na qualidade do acabamento superficial na desempenadeira, lixa, torno e furação com broca. Madeiras com *grã direita* apresentam os elementos anatômicos (fibras e traqueídes) com certo paralelismo com o eixo vertical da árvore e quando rachada apresentam uma superfície lisa. Verifica-se que madeiras com grã direita racham com maior facilidade em virtude do paralelismo de seus elementos anatômicos e também facilitam a operação de serragem. Por outro lado, normalmente, é necessário fazer pré-furo com broca para penetração de pregos e nos entalhes que sofrem esforço perpendicular às fibras, deve-se tomar cuidado com a possibilidade de rachaduras por fendilhamento. A grã direita é a orientação mais comum e desejável,

por fornecer madeira serrada de maior qualidade, tanto em termos de resistência estrutural, quanto de processamento primário e secundário, acabamento e estabilidade dimensional no processo de secagem (Melo, et al., 2016).

Madeiras com *grã revessa*, ou entrecruzada, possuem os elementos anatômicos axiais alinhados obliquamente se entrelaçando ao longo ao eixo longitudinal do tronco, mas alternadamente para o lado esquerdo e direito. Espécies com esse tipo de grã, geralmente, são difíceis de trabalhar (lixa e plaina), apresentando mais defeitos como empenamento e são mais difíceis de rachar.

Madeiras de *grã irregular* apresentam os elementos anatômicos axiais com variações irregulares de orientação em relação ao eixo longitudinal da tora, ou peça de madeira. Geralmente são difíceis de trabalhar com plaina e lixa, além de apresentam mais defeitos como empenamentos (Melo, et al., 2016).

Madeira de *grã inclinada* apresenta um desvio angular dos seus elementos anatômicos axiais, com relação ao eixo longitudinal da árvore. Espécies com esse tipo de grã são difíceis de ser rachadas no sentido radial, pois nessa direção encontram-se as camadas sucessivas de crescimento, inclinadas em direções opostas. Pela mesma razão, a superfície radial de uma peça de madeira serrada apresenta-se, geralmente, com faixas ásperas ao tato, intercaladas com faixas lisas.

Madeiras com *grã ondulada* apresentam os elementos anatômicas em movimentos ondulados ao longo do comprimento da árvore. Essas ondulações ocorrem geralmente no plano tangente aos anéis de crescimento da madeira. Ao se partir a madeira no plano tangencial, obtém-se uma superfície lisa e, no plano radial, obtém-se uma superfície transversalmente corrugada (Melo, et al., 2016).

A influência da grã nas propriedades de resistência à flexão estática, compressão axial, compressão perpendicular às fibras, cisalhamento longitudinal e rigidez é tratada de forma geral e apenas qualitativa, pelo menos na bibliografia consultada durante o desenvolvimento desta Tese, especialmente quando se trata de madeira tropical. Dessa forma, referências sobre a influência da grã, se restringem à considerações qualitativas e genéricas quanto a perda, ou ganho, de resistência e rigidez em peças de madeira, para cada tipo de solicitação (Melo, et al., 1992) (Melo, 2016) (Borgström, 2016) (Melo, 2019).

O autor elaborou um estudo, em virtude da ausência de informações consistentes na literatura, inclusive estrangeira, sobre a influência da grã na resistência e rigidez de madeiras tropicais. O estudo com discussão detalhada é apresentado no Item-4.5 desta Tese, a partir de um modelo de regressão linear múltipla tomando-se como variável independente quantitativa a densidade básica e os tipos de grã como variável qualitativa dicotômica. O objetivo foi verificar a existência de alguma afinidade, ou grau de dependência entre a resistência, ou rigidez da madeira, com os tipos de grã quando associadas à densidade, tanto para madeira na condição verde (saturada em água), quanto para

madeira na condição seca (teor de umidade de 12%). O modelo de regressão linear múltipla foi elaborado a partir do espaço amostral representado pelo Banco de Dados do LPF. Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos pelo estudo, com algumas conclusões preliminares. O estudo de regressão linear múltipla avalia a influência do tipo de grã em relação ao módulo de elasticidade (MOE), à resistência à flexão (MOR), à resistência a compressão paralela às fibras (CPA), à resistência a compressão perpendicular às fibras (CPE) e em relação à resistência ao cisalhamento longitudinal (CIS).

Sobre o módulo de elasticidade (MOE) os estudos de regressão mostraram que, para madeira verde, existem evidências significativas da influência da *grã direita* no valor do módulo de elasticidade. Em espécies com grã direita verifica-se que o módulo de elasticidade, considerando a influência da grã, é superior ao valor estimado apenas a partir da densidade básica, em todo o espaço amostral das espécies caracterizadas pelo LPF. Em espécies com os demais tipos de grã (*r, i, in, o, d/r*) o módulo de elasticidade é sempre menor quando comparado com o valor estimado apenas a partir da densidade básica, considerando a amostra do banco de dados. Contudo, em ambos os casos a variação no valor do módulo de elasticidade, embora ocorra, não é numericamente representativa. Para madeira seca os estudos de regressão demonstram que há evidências significativas que o tipo de grã não influencia no valor do módulo de elasticidade.

O estudo de regressão linear sobre a influência da grã na resistência à flexão para madeira verde (MOR), mostrou que não existem evidências estatisticamente significativas da influência do tipo de grã na resistência de ruptura à flexão. Para madeira seca o modelo de regressão elaborado mostra que existem evidências estatisticamente significativas da influência da *grã inclinada* no valor do MOR. Nas espécies de grã inclinada e madeira seca verificou-se que a resistência à ruptura a flexão é sempre menor que a resistência considerando apenas a densidade básica.

O estudo de regressão linear sobre a influência da grã na resistência a compressão paralela às fibras para madeira verde (CPA), mostrou que não existem evidências estatisticamente significativas da influência do tipo de grã na resistência a compressão paralela às fibras. Por outro lado, para madeira seca existem evidências estatisticamente significativas da influência da *grã revessa* e da *grã direita* no valor do CPA. Para madeira seca, nas espécies de grã direita e baixa densidade básica, verificou-se que o CPA estimado, considerando a influência da grã, é superior ao CPA estimado somente a partir da densidade básica. Por outro lado, para espécies de grã direita de média e alta densidade básica, o CPA estimado considerando a influência da grã direita é inferior ao CPA estimado a partir da densidade básica da espécie. Para madeira seca, nas espécies de grã revessa verificou-se que o CPA estimado considerando a influência da grã é superior ao CPA estimado considerando apenas a densidade básica como variável independente, para todo o espaço amostral.

O estudo de regressão linear sobre a influência da grã na resistência ao cisalhamento longitudinal (CIS) mostrou que existem evidências significativas, para madeira verde, da influência da *grã direita* e da *grã inclinada* no valor do CIS. Nas espécies de grã direita verificou-se que o CIS estimado, considerando a influência da grã, é inferior ao CIS estimado somente a partir da densidade básica, em todo o espaço amostral. Nas espécies de grã inclinada verificou-se que o CIS estimado, considerando a influência da grã, é superior ao CIS estimado somente a partir da densidade básica, em todo o espaço amostral. Para madeira seca e espécies de grã direita verificou-se que o CIS estimado considerando a influência da grã é inferior ao CIS estimado somente a partir da densidade básica como variável quantitativa independente, em todo o espaço amostral. Nas espécies de grã inclinada verificou-se que o CIS estimado, considerando a influência da grã, é superior ao CIS estimado somente a partir da densidade básica, em todo o espaço amostral.

A influência da grã na resistência a compressão perpendicular às fibras (CPE) mostrou que existem evidências significativas, para madeira verde, da influência da *grã direita* e da *grã irregular* no valor do CPE. Nas espécies de grã direita verificou-se que o CPE estimado considerando a influência da grã é inferior ao CPE estimado somente a partir da densidade básica como variável quantitativa independente, em todo o espaço amostral. Nas espécies de grã irregular verificou-se que o CPE estimado considerando a influência da grã, é superior ao CPE estimado somente a partir da densidade básica, em todo o espaço amostral. Para madeira seca e espécies de grã direita verificou-se que o CPE estimado considerando a influência da grã é inferior ao CPE estimado somente a partir da densidade básica, para toda a amostra.

2.5.5 Sobre a Influência dos Nós

Os nós são consequências do surgimento dos galhos durante o crescimento da árvore. A influência do nó no comportamento estrutural da madeira depende do seu tamanho, posição e tipo de esforço atuante. No que se refere ao tipo de solicitação, verifica-se que a influência do nó na resistência a tração na direção das fibras, é maior que na compressão paralela às fibras. Isso se deve à descontinuidade e desvio da inclinação das fibras em relação ao eixo do tronco. A Figura 2.14 mostra um nó visto das quatro faces de um corpo de prova de madeira, onde fica claro o desvio das fibras na região do nó. As normas de classificação visual fornecem as dimensões e localizações dos nós considerados aceitáveis em peças estruturais de madeira (Dias, et al., 2019) (Borgström, 2016) (Melo, 2016) (Karlsen, 1976).

Figura 2.14: Um nó visto das quatro faces em um corpo de prova de madeira (4,5 x 4,5 cm)



(Foto: Bertil Enquist) (Borgström, 2016).

2.5.6 Sobre a Influência do Tempo de Duração do Carregamento (Deformação lenta)

Normalmente os ensaios de caracterização de resistência mecânica de espécies de madeira são realizados com aplicação de carga num tempo relativamente curto, em torno de 5 minutos. Na prática, as peças estruturais são submetidas a carregamento de longa duração, ocorrendo deformações adicionais que dependem do tempo. Este fenômeno, comum em outros materiais de construção, como o concreto, é denominado fluência da madeira. Devido às características visco elásticas da madeira estas deformações podem crescer durante vários anos até se estabilizar. Este efeito tende a aumentar com o aumento do teor de umidade e do carregamento. Outro fenômeno visco elástico da madeira é a relaxação que se manifesta quando, ao se manter a deformação constante, os esforços necessários vão diminuindo ao longo do tempo (Melo, 2019) (Borgström, 2016).

2.5.7 Sobre Biodeterioração

A degradação na madeira é causada principalmente por fungos, insetos, fatores físicos e químicos, além de desgastes mecânico. O conhecimento da forma como agem e alteram o aspecto natural da madeira bem como as condições ideais de proliferação, são essenciais para que medidas preventivas adequadas e eficientes sejam tomadas (Melo, 2016).

2.5.8 Sobre a Influência da Temperatura

A influência da temperatura na resistência é mais significativa quando a madeira fica exposta a temperaturas altas, por um longo período de tempo. Para curtos períodos de duração, com a temperatura variando em torno de 220°C, a resistência da madeira diminui, porém recupera a resistência com a diminuição da temperatura. A madeira seca é menos sensível a variação de temperatura do que a madeira verde (Melo, 2016).

2.6 Introdução à Estatística Inferencial – Métodos de Análise

Este item apresenta uma introdução à estatística descritiva e a estatística inferencial aplicada. A estatística descritiva representa um conjunto de métodos também chamados de estatística simples e tem por objetivo fazer com que os dados coletados sejam compreendidos mais facilmente, por meio da organização, simplificação, descrição e apresentação dos dados, utilizando-se medidas que resumem os dados brutos. A estatística inferencial é representada por um conjunto de métodos de análise que permite estimar parâmetros e inferir sobre uma população com base apenas na amostra delimitada na pesquisa. Portanto, é possível fazer inferências sobre características da população a partir de dados apenas de uma parte da população, a amostra, podendo-se tomar decisões mais adequadas e fazer previsões sobre a amostra e a população. Alguns exemplos de análises inferenciais ou testes de hipóteses são: Qui-quadrado, Anova, Teste t, Correlação, Regressão Linear (Jamovi, 2022) (Alves, 2021a) (Alves, 2021b) (Alves, 2021c) (Barreto, 2011) (Carvalho, et al., 2015).

Os conceitos discutidos neste item fazem parte de conhecimentos estatísticos consolidados e tradicionalmente apresentados na literatura que aborda o assunto, mas aqui é apresentado em contextos, motivações e objetivos específicos à pesquisa da Tese. Portanto, o que se pretende é somente estabelecer, a partir da literatura, um roteiro em bases clássicas para análise estatística descritiva e inferencial, estabelecendo-se pressupostos necessários a serem obedecidos, especialmente para análises paramétricas dos dados.

2.6.1 Delineamento Experimental e Amostral

Inicialmente tem-se o questionamento científico que esta Tese quer responder, conforme já discutido anteriormente, que é: “A densidade básica, associada ou não com outras propriedades mecânicas de espécies de madeira tropical, é suficiente para explicar e estimar de forma representativa as propriedades físicas e mecânicas da madeira, tanto no processo de caracterização quanto na formulação matemática para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira?” A partir deste questionamento é necessário definir alguns itens fundamentais para a análise:

- A população alvo onde se dará a amostragem dos elementos.
- As variáveis de interesse a serem extraídas dos elementos amostrados da população.
- O método de amostragem adequado para a pesquisa estabelecida pela Tese.
- O tamanho adequado da amostra para a pesquisa.
- A análise estatística inferencial que responderá as hipóteses estabelecidas pela pergunta científica da Tese.

Portanto, basicamente os itens descritos acima devem ser definidos na fase inicial da pesquisa, no delineamento experimental de modo que o questionamento científico da Tese seja respondido de forma adequada (Alves, 2021a).

2.6.2 Testes de Hipóteses e Hipóteses Estatísticas

A estimação de parâmetros populacionais e também os testes de hipóteses são feitos pela estatística inferencial. Estas ferramentas permitem, além de estimar parâmetros, como a média da população, também inferir sobre outras de suas características com base em dados amostrais. Como há interesse em se estudar características da população, com base em conhecimento prévio e associações, é possível formular hipóteses sobre a população em estudo. Assim, para se realizar uma análise inferencial e testes de hipóteses, é preciso sempre definir *a priori* as duas hipóteses estatísticas: a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_1). A hipótese nula (H_0) é a mais simples, de que “*não há relação entre as variáveis*”, ou “*não há diferenças entre grupos*”. Já, a complementar a H_0 , a hipótese alternativa (H_1) é de que “*há relação entre as variáveis*”, ou “*há diferenças entre grupos*”. Portanto, a decisão final do teste de hipóteses sempre consiste em *rejeitar* ou *não rejeitar* a hipótese nula (H_0). Isso vai acontecer de acordo com o *nível de significância* definido *a priori* e com o *valor de p* obtido na análise inferencial. Assim, *rejeitar* H_0 , significa *aceitar* H_1 como verdadeira. *Não rejeitar* H_0 , significa estar *aceitando* H_0 como verdadeira (Alves, 2021a) (Barreto, 2011) (Carvalho, et al., 2015).

2.6.3 Análise Estatística Inferencial e Testes de Hipóteses a Serem Utilizados

A população alvo e as variáveis devem ser definidas e classificadas de forma adequada para permitir que a hipótese a ser respondida pela Tese possa ser corretamente avaliada. Após definido o questionamento que se quer responder, a população a trabalhar e quais variáveis devem ser consideradas a partir dos elementos da amostra, é possível estabelecer as análises estatísticas inferenciais que são mais adequadas e, conseqüentemente, os pressupostos que devem ser obedecidos nessa análise estatística. Na análise inferencial sempre se tem apenas uma variável dependente, ou variável resposta (que sofre o efeito) e uma, ou mais variáveis independentes/explicativas (que causam o efeito). As variáveis precisam também estar corretamente definidas quanto ao seu tipo, se quantitativa, ou qualitativa, para que se possa escolher os testes estatísticos mais adequados. Há dois grandes grupos de análises inferenciais:

- As análises inferenciais que *buscam diferenças entre os grupos/categorias* que compõem a variável independente, quanto a uma característica quantitativa da variável dependente. Na Tese essa análise será utilizada na verificação da concordância estatística entre os modelos obtidos experimentalmente e os modelos matemáticos de resistência da madeira propostos, dependendo da análise de pressupostos a serem obedecidos pela distribuição das variáveis e/ou distribuição dos resíduos.
- As análises inferenciais que *buscam alguma relação explicativa entre as variáveis independentes e a variável dependente*, sendo elas quantitativas ou qualitativas. Na Tese dependendo dos pressupostos a serem obedecidos pela distribuição das variáveis, será possível verificar uma correlação entre as variáveis e, também, estabelecer modelos matemáticos capazes de descrever e prever a variável dependente com base na variável, ou variáveis independentes.

Assim, em síntese, os passos para se estabelecer e escolher os testes estatísticos mais adequados para a pesquisa desta Tese, são:

- i. Definir quais variáveis precisam ser incluídas na análise para responder aos questionamentos da pesquisa da Tese.
- ii. Identificar qual ou quais variáveis são independentes (causam o efeito) e qual variável é dependente (sofre o efeito).
- iii. Identificar qual ou quais são os tipos das variáveis: quantitativa (discreta, ou contínua), ou qualitativa (nominal, ou ordinal).
- iv. Identificar se as variáveis independentes e dependentes são pareadas, quando as diferentes observações/medições são de alguma forma relacionadas; ou não pareadas, quando as diferentes observações/medições não são relacionadas.

Desta forma, é possível adotar a análise inferencial mais adequada pelos Fluxogramas da Figura 2.15 e Figura 2.16, a partir das informações estabelecidas nos itens acima. Assim, para se estabelecer à análise estatística mais apropriada para a pesquisa é necessário, primeiro classificar as variáveis em quantitativas (discreta, ou contínua), e/ou qualitativa (nominal ou ordinal); segundo, também definir as variáveis independentes (a que causa o efeito) e qual é a variável dependente (a que sofre o efeito). Na maioria das vezes haverá duas análises indicadas, a primeira é paramétrica, quando a distribuição dos resíduos se ajusta à distribuição normal, e a segunda é a análoga não paramétrica, quando a distribuição de resíduos não se ajusta à distribuição normal. Para a pesquisa desta Tese, primeiro determina-se quais e quantas variáveis independentes serão utilizadas para explicar a variável dependente. Quando a variável independente for apenas a densidade básica (quantitativa contínua) correlacionada à variável dependente (quantitativa contínua) e caso a distribuição de resíduos se ajuste a uma distribuição normal, a análise será paramétrica. Neste caso, serão estabelecidos modelos matemáticos capazes de descrever e prever a variável dependente com base na variável independente, buscando-se a relação entre as variáveis por uma Regressão Linear Simples (veja-se Figura 2.15 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 1 (Alves, 2021a) Figura 2.15).

O FLUXOGRAMA (PARTE 1)

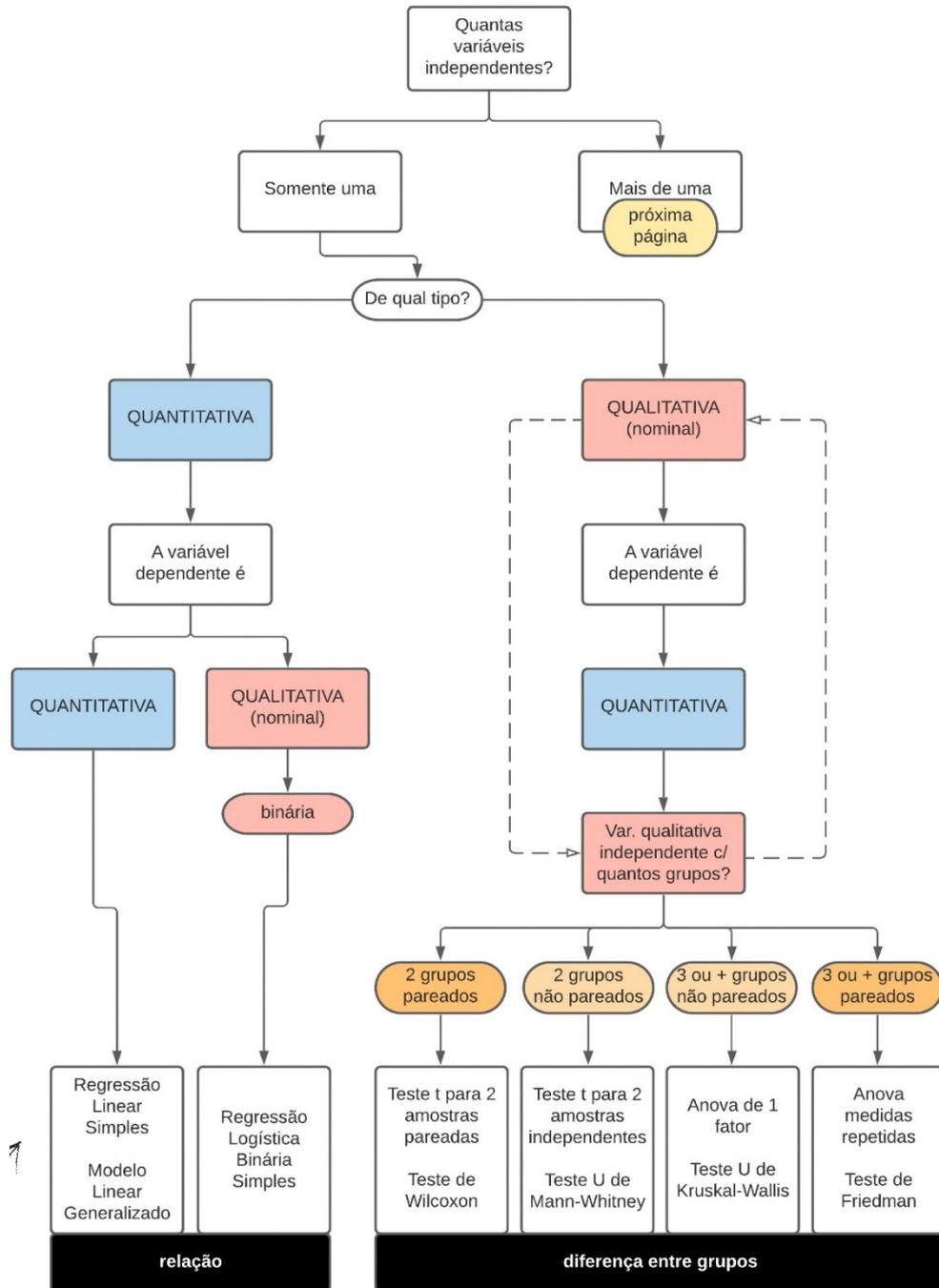


Figura 2.15 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 1 (Alves, 2021a)

O FLUXOGRAMA (PARTE 2)

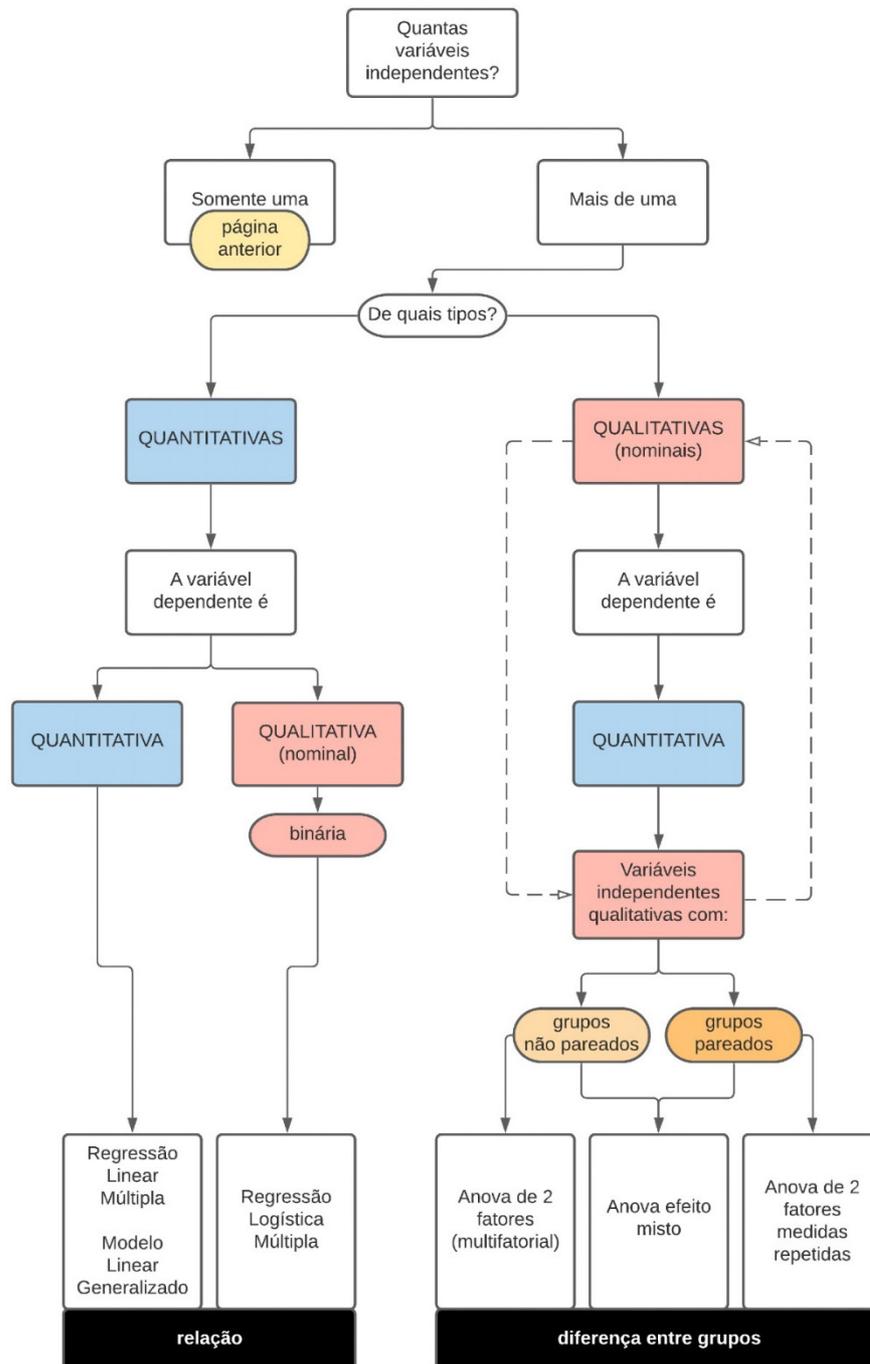


Figura 2.16 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 2 (Alves, 2021a)

Caso a distribuição de resíduos não se ajuste a uma distribuição normal, poderá ser feita uma transformação das variáveis, ou mesmo análises não paramétricas correspondentes, buscando-se a relação entre as variáveis por um Modelo Linear Generalizado (veja-se Figura 2.15 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 1 (Alves, 2021a), Figura 2.15).

Quando do estudo da relação entre as variáveis, existirem mais de uma variável independente explicativa (duas variáveis quantitativas, ou uma variável quantitativa associada a variáveis qualitativas dicotômicas), sendo a variável dependente também quantitativa contínua e na hipótese da distribuição de resíduos se ajustar a uma distribuição normal, a análise estatística inferencial será paramétrica. Neste caso, serão estabelecidos modelos matemáticos capazes de descrever e prever a variável dependente com base nas variáveis independentes, buscando-se a relação entre elas por uma Regressão Linear Múltipla (veja-se Figura 2.15 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 1 (Alves, 2021a) Figura 2.15). Da mesma forma, caso a distribuição de resíduos não se ajuste a uma distribuição normal, a análise será não paramétrica, podendo ainda buscar a relação entre as variáveis por um Modelo Linear Generalizado (veja-se Figura 2.15 Fluxograma para definição da análise estatística inferencial a ser aplicada – Parte 1 (Alves, 2021a), Figura 2.16).

2.6.4 O Nível de Significância e o Nível de Confiança

O nível de significância é um valor de corte, um critério definido para se rejeitar a hipótese nula ou não e, conseqüentemente, poder afirmar se a análise inferencial é estatisticamente significativa, ou não significativa. O nível de significância deve sempre ser definido antes da execução da análise de inferência estatística, para que seu resultado não seja enviesado. O seu valor depende fundamentalmente do tamanho calculado para a amostra da pesquisa e, normalmente, é definido como $\alpha = 0,05(5\%)$, ou como $\alpha = 0,01 (1\%)$. Um tamanho amostral adequado acarreta em diminuição do erro amostral e ao contrário, amostras excessivamente pequenas levam a resultados não confiáveis. Para esta pesquisa os critérios de coleta aleatória e o tamanho da amostra foi definido inicialmente pelo LPF para um nível de significância $\alpha = 5\%$ e conseqüentemente para um nível de confiança de 95% ($100 - \alpha$). Assim, deve-se comparar o *valor de p*, resultado de cada análise de inferência estatística, com o nível de significância (α) definido *a priori* como 5% (IBAMA, 1997) (IBDF, 1988) (Melo, et al., 1990) (Melo, et al., 1992) (LPF/IBAMA, 2016). Assim:

- Se o *valor de p* for menor ou igual a 5%, significa que há concordância entre modelos comparados, ou que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa.
- Se o *valor de p* for maior que 5%, significa que não há concordância entre modelos comparados, ou que a relação entre as variáveis não é estatisticamente significativa.

2.6.5 Pressupostos das Análises Estatísticas Inferenciais

As análises estatísticas inferenciais devem obedecer a alguns pressupostos, ou premissas, que não devem ser violadas nos testes paramétricos e, em alguns casos, nem nos testes não paramétricos. Caso alguma dessas premissas seja violada, há possibilidade de se fazer correções nos testes estatísticos, transformações nas variáveis brutas, ou realizar as versões correspondentes dos testes não

paramétricos. Caso haja violação de alguma premissa em testes paramétricos e se opte por fazer transformação da distribuição de variáveis, todas as premissas devem ser testadas novamente. Contudo, esses pressupostos tem menos força, ou importância, se as amostras são grandes, caso da pesquisa desta Tese, onde o número de observações é de $N \cong 250$. Abaixo seguem algumas informações importantes para se entender o que os pressupostos mais importantes significam (Alves, 2021a) (Alves, 2021b) (Alves, 2021c) (Barreto, 2011) (Charnet, et al., 2008):

- a) *Linearidade das Variáveis e Correlação de Pearson*: A premissa de linearidade da relação entre as variáveis pode ser verificada por meio do gráfico de dispersão, analisando-se a ocorrência de tendência linear, ou não, da relação entre as variáveis. O Coeficiente de Correlação de Pearson (r) mede a força e a direção de uma correlação linear entre duas variáveis quantitativas ou ordinais e seu valor pode variar entre -1 e $+1$. Nesta análise a busca pela relação entre duas variáveis quantitativas, ocorre sem a definição de qual é independente ou dependente. A correlação entre as variáveis não significa causalidade, ou seja, mesmo que se tenha encontrado uma correlação significativa, esse resultado não quer dizer que uma variável está causando ou interferindo na variação da outra. A análise de regressão linear poderá, também, comprovar a linearidade entre as variáveis correlacionadas, caso haja significância estatística do modelo global de regressão (Raposo, 2020) (Alves, 2021c) (Honório, 2022).

- b) *Independência das Observações*: Esta premissa aplica-se a todas as análises inferenciais e não deve ser violada nos testes paramétricos e nem nos testes não paramétricos. Ela significa que os elementos (observações) da amostra não podem apresentar dependência entre si, pois a sua violação pode gerar resultados enviesados e enganosos. Portanto, a definição de uma população adequada para a pesquisa, a determinação correta do tamanho da amostra e a seleção dos elementos que irão compor essa amostra, é base primordial para a independência das observações. Assim, uma forma eficiente de se evitar a dependência das observações é selecionar os elementos a serem amostrados de forma aleatória. Para estabelecimento do banco de dados de madeira tropical, utilizado na pesquisa da Tese, o LPF estabeleceu um protocolo de coleta aleatória, que foi adaptado para as condições da floresta amazônica (Noack, 1970) (Melo, 2019) (Raposo, 2020) (Alves, 2021a) (Honório, 2022).

- c) *Normalidade da Distribuição dos Resíduos*: A normalidade dos dados brutos, ou da distribuição dos resíduos, representa a mais importante premissa para os testes inferenciais paramétricos. Os testes paramétricos são mais robustos que os não paramétricos, por isso são na maioria das vezes,

preferíveis. Assim, antes de se fazer a análise inferencial principal é preciso definir se os resíduos se ajustam à distribuição normal. A verificação do ajuste dos resíduos à normalidade pode ser feita por meio de gráficos (como o *QQ-Plot*), ou por testes inferenciais de normalidade. Os testes de normalidade mais utilizados são os de *Shapiro-Wilk*, *Anderson-Darling* e *Kolmogorov-Smirnov*. Para amostras grandes ($n \geq 50$), os dois primeiros testes têm a tendência de rejeitar a hipótese nula, mesmo ela sendo verdadeira. Dessa forma, na pesquisa desta Tese, onde a amostra é grande ($n \cong 250$), será considerado para análise da normalidade o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, que é reconhecidamente adequado para amostras grandes. A interpretação dos resultados destes testes de normalidade é: obtendo-se um *valor de p maior que o nível de significância* ($p > \alpha = 0,05$), significa que não há diferença significativa entre a distribuição de resíduos e a distribuição normal, ou que os resíduos se ajustam à distribuição normal (Raposo, 2020) (Alves, 2021c) (Honório, 2022) (jamovi, 2022).

- d) *Homocedasticidade das Variâncias*: As variâncias dos termos de erros devem ser estatisticamente constantes em todo o domínio da função de regressão. Contudo, os testes não são sensíveis a desvios moderados de uniformidade da variância. A verificação da homocedasticidade geralmente é feita por meio de testes, como o de *Bleusch-Pagan*, *Goldfeld-Quandt* e *Harrison-McCabe*, ou pela análise de gráficos de resíduos padronizados. Caso esse pressuposto seja violado, há a possibilidade de se fazer correções nos testes, ou ainda fazer transformações nas variáveis dependentes, independentes, ou em ambas simultaneamente, verificando-se então a homocedasticidade das variáveis transformadas. A interpretação destes testes de homocedasticidade, é: obtendo-se um *valor de p maior que o nível de significância* ($p > \alpha = 0,05$), indica que não há variação estatisticamente significativa das variâncias ao longo do domínio, ou que a distribuição de resíduos é homocedástica (Raposo, 2020) (Alves, 2021c) (Honório, 2022) (jamovi, 2022).
- e) *Independência ou Ausência de Autocorrelação dos Resíduos*: Os modelos de regressão linear precisam atender a ausência de correlação entre os dados de observações e os erros, isto é, os erros e os elementos integrantes de série de observações da amostra devem ser independentes sob a condição de normalidade, em todo o domínio da função de regressão linear. O conceito de independência dos resíduos está ligado à independência dos dados de coleta. Dessa forma, a situação ideal é aquela onde cada coleta se realiza independentemente uma da outra e de forma aleatória, de modo que o conhecimento e as características de um elemento da amostra não interfira em outra observação dessa mesma amostra. Nesse sentido, existirá autocorrelação quando um

termo de erro relacionado a uma das observações é influenciado pelo termo de erro de qualquer outra observação. Na pesquisa desta Tese, tendo-se em vista que a estrutura de dados utilizada nos modelos de regressão para estimação de resistência da madeira, são de corte transversal e obtida através de amostras aleatórias. Portanto, não há razões, à priori, para considerar que o termo de erro de uma observação aleatória teria qualquer correlação com o termo de erro de outra observação. A consequência da autocorrelação dos erros é que, geralmente, se obtém modelos de regressão linear ineficientes, onde as variâncias amostrais são excessivamente grandes, quando comparadas com aquelas que podem ser obtidas por um método de estimação ligeiramente diferente. Nestes casos de autocorrelação a análise inferencial paramétrica não tem validade, especialmente a estatística F e o teste t de Student, pois dependem da variância do estimador. A ausência de autocorrelação pode ser verificada pela análise dos gráficos de resíduos padronizados: a dispersão dos resíduos ao longo do domínio da regressão não deve apresentar nenhum padrão com formato de sino, ondas, funil, ou tendência linear. Os principais testes paramétricos para verificação de autocorrelação são o de *Durbin-Watson* e *Breusch-Godfrey*. A interpretação dos resultados destes testes é a mesma dos testes anteriores: um valor de p maior que o nível de significância ($p > \alpha = 0,05$) indica que os erros não estão estatisticamente autocorrelacionados, portanto não violando o pressuposto. A violação pode ser verificada também pela estatística de Durbin-Waston (*DW*): Assim, se $1 \leq DW \leq 3$, os erros não estão estatisticamente autocorrelacionados (Raposo, 2020) (Alves, 2021c) (Honório, 2022).

- f) *Ausência de Multicolinearidade*: A ausência de multicolinearidade é uma premissa somente aplicável nas análises de regressão linear múltipla. Na regressão linear múltipla a ausência de multicolinearidade significa que as variáveis independentes não devem apresentar correlação elevada entre si, que indica, de certo modo, que as variáveis são redundantes. Neste caso, a força da correlação entre as variáveis independentes pode ser verificada em uma matriz de correlação de Pearson. Normalmente remove-se uma das variáveis da regressão linear múltipla, quando há correlações acima de 70% ($r > 0,7$) entre o par de variáveis. A multicolinearidade aumenta a variância dos coeficientes de regressão linear, tornando-os instáveis, o que pode significar que os coeficientes para algumas variáveis independentes podem não ser estatisticamente significativos. Nesse caso, a multicolinearidade torna algumas variáveis preditoras estatisticamente insignificantes, quando deveriam ser estatisticamente representativas. Sem multicolinearidade as variáveis podem ser significativas e, conseqüentemente, importantes para modelo de regressão. Uma multicolinearidade moderada não é necessariamente um grande problema, mas a multicolinearidade grave deve ser evitada. A ausência de multicolinearidade pode ser verificada

pelo fator de inflação da variância (*VIF*) e o índice de tolerância, que avaliam o quanto a variância de um coeficiente estimado para a regressão aumenta, se as variáveis preditoras estiverem correlacionadas. Para o teste de multicolinearidade, se o *VIF* for igual a 1 (um) não há nenhuma multicolinearidade entre as variáveis independentes preditoras. Mas, se o *VIF* for maior que 1 as variáveis podem estar correlacionadas. A maioria dos autores estabelece que os testes que resultem em $VIF < 10$ e $Tolerância > 0,1$, indicam que a colinearidade entre as variáveis da regressão não é significativa. O caso em que $VIF \geq 10$, indica que os coeficientes de regressão estão mal estimados devido à multicolinearidade (Raposo, 2020) (Alves, 2021c) (Honório, 2022) (jamovi, 2022).

2.6.6 Sobre os Modelos de Regressão Linear Simples e Múltipla

Os modelos de regressão vêm sendo utilizados para a execução de tarefas de previsão e estimação por regressão linear simples e múltipla. O termo regressão surgiu originalmente em estudos de biologia e genética, na década de 1880, na Inglaterra. Nos anos e décadas subsequentes essa tendência de correlacionar variáveis sob um referencial matemático, levou ao desenvolvimento dos modelos de regressão. Hoje essa classe de modelos apresenta formalização abrangente e refinada, assim como interpretações sofisticadas (Barreto, 2011) (Alves, 2021a) (Anscombe, 1963) (Carvalho, et al., 2015) (Charnet, et al., 2008) (Honório, 2022) (jamovi, 2022).

Os métodos matemáticos intrínsecos às análises estatísticas de dados correspondem a modelos em que algumas medidas das observações não são obtidas com perfeita precisão, estando sujeitas a aleatoriedade. Essa aleatoriedade pode ser causada por uma série de fatores: aleatoriedades resultantes do processo de amostragem, erros de mensuração, ou por não conhecimento pleno do conjunto de informações relevantes, além de outras causas. Diante disso, um elemento crucial em toda análise estatística de dados é o conceito de variáveis aleatórias. De maneira simples e intuitiva, variáveis aleatórias são grandezas das quais não se conhece os valores ao certo. De um modo geral, a formulação de um modelo matemático em engenharia pode ser vista como uma tentativa de se entender, ou interpretar um fenômeno físico. Mas, em algumas vezes um modelo determinístico pode não ser suficiente para a explicação de um fenômeno, que muito certamente envolve aspectos de incertezas entre variáveis. Estes fenômenos específicos, em que o relacionamento entre variáveis não é exato, havendo a presença de incerteza, necessitam de um modelo probabilístico para a sua investigação (Carvalho, et al., 2015), (Barreto, 2011) (Alves, 2021a) (Charnet, et al., 2008) (Raposo, 2020) (jamovi, 2022) (Honório, 2022).

A análise de regressão, sinteticamente, visa modelar matematicamente o relacionamento entre uma variável resposta e uma, ou mais variáveis explicativas, com o objetivo específico de estimar a variável resposta em função das variáveis explicativas (também chamadas de variáveis preditoras).

No que se refere ao relacionamento entre variáveis, o modelo matemático a ser desenvolvido depende diretamente do fenômeno estudado. Em presença de incerteza, um modelo matemático $Y = f(X)$ exprimindo o relacionamento entre as variáveis X e Y corresponde, na realidade, a uma aproximação para esse relacionamento. Portanto, pode existir um padrão sistemático identificável que rege a variação de Y em função de X (materializado pela relação funcional), mas ele não é exato, pois há presença de incerteza em relação aos valores para Y em função de X . Se forem dispostos em um gráfico os pontos para os pares de valores (X, Y) observados para as duas variáveis, verificar-se-á que alguns, ou todos os pontos localizam-se fora da linha funcional que ajusta o relacionamento entre X e Y . Portanto, há uma dispersão em torno da trajetória demarcada pela função $Y = f(X)$. Pode-se referir a este relacionamento com um “relacionamento estatístico” (Barreto, 2011) (Alves, 2021a) (Alves, 2021b). Um modelo matemático (probabilístico) pode ser formulado, tendo por base um relacionamento estatístico entre duas variáveis, pressuposto que se ajuste de forma aproximada ao padrão observado para os dados e leve em conta a incerteza a este tipo de relacionamento. Em tal modelo, uma função permite relacionar distribuições de probabilidades para os valores de Y em função dos níveis (ou valores) para X (cada nível de X implica uma distribuição de probabilidade para Y) (Barreto, 2011) (Alves, 2021a).

Os modelos de regressão, neste contexto, são formulados como possuindo estas características. Quando se analisa um conjunto de dados de um espaço amostral S_n , ou população que apresenta alguma correlação entre as variáveis do fenômeno estudado, resulta a necessidade de se criar um modelo matemático que possa exprimir essa interdependência. Assim, pode-se desenvolver modelos matemáticos por meio de uma função que possa exprimir, com uma margem de erro estimada, uma associação entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes. O modelo escolhido deve ser adequado no grau, no aspecto geométrico da curva, além de abranger somente as variáveis que são relevantes, ao descrever da forma mais real possível o fenômeno físico estudado. O mais simples e imediato é o modelo de regressão linear simples, que é funcionalmente linear na única variável explicativa e nos parâmetros, denotado de Modelo de Regressão Simples (MRLS). Quando há mais de uma variável dependente denomina-se de Modelo de Regressão Linear Múltipla (MRLM). A variável que se pretende estimar é chamada de variável dependente (Y_i) e a outra variável recebe o nome de variável independente (X_i) (Anscombe, 1963) (Barreto, 2011) (Alves, 2021a) (Charnet, et al., 2008) (Raposos, 2020) (Honório, 2022).

O modelo de regressão linear simples pode então ser formalizado por um modelo matemático estatístico, sintetizado conforme a Equação (2.5), abaixo (Shimakura, 2006) (Charnet, et al., 2008), (Bonvino, et al., 2008) (Barreto, 2011) (Alves, 2021a) (Honório, 2022):

$$\widehat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

Onde:

\widehat{Y}_i : valor da variável estimada para *i-ésima* observação.

X_i : valor da variável explicativa para *i-ésima* observação.

β_0 : é o interceptor e representa o ponto em que a reta regressora corta o eixo dos *y*, para $x = 0$

β_1 : a inclinação da reta regressora; é dito coeficiente de regressão ou coeficiente angular.

ε_i : termo de erro aleatório associado a *i-ésima* observação.

Neste modelo supõe-se os ε_i 's independentes e $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

No modelo formalizado pela Equação (2.5) os pressupostos fundamentais traduzidos significam que os termos de erros (ε_i) são variáveis aleatórias independentes entre si, e que se distribuem identicamente (de forma similar), sob uma distribuição normal, com média zero e variância constante (σ^2), para quaisquer níveis de X (esses pressupostos foram discutidos em detalhes no item 2.65). Esses são pressupostos que precisam ser apresentadas provas para validação do modelo proposto para descrever o fenômeno. Ao se formular o modelo assume-se, que para a faixa de valores de X e Y abrangida pelos dados observados, que representa o escopo da regressão, a Equação (2.5) provê uma aproximação para o relacionamento entre X e Y . Na Equação(2.5) o termo de erro aleatório ε_i responde justamente pelo desvio inerente a esta aproximação, pois mesmo com o ajuste funcional proporcionado pelo modelo matemático, há incertezas em relação aos valores exatos de Y em função dos valores de X . Dessa forma, cada Y_i corresponde a uma variável aleatória que segue uma distribuição de probabilidade com média (valor esperado) variando em função de X , $[E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i]$, e variância (σ^2), para quaisquer valores de X . Como o termo de erro ε_i , por suposição é normalmente distribuído, Y_i também segue uma distribuição normal, pois β_0 e β_1 são parâmetros e, juntamente com X_i são constantes. Dessa forma, assume-se que os valores para a variável explicativa são constantes conhecidas, ou seja, X não representa uma variável aleatória, embora um modelo de regressão mais sofisticado, ainda, poderia considerar essa possibilidade de aleatoriedade (X é representada nesta Tese, nos modelos de *MRLS*, pela variável quantitativa contínua, densidade básica D_b). É importante ressaltar que a variável Y em regressão é comumente referida como variável dependente, e X como variável independente, apesar dessa nomenclatura não indicar que haja necessariamente aspectos de causalidade entre X e Y , ou vice-versa. Muito embora possa existir tal relação de causa-efeito, análises de regressão e suas inferências podem ser feitas de forma livre destas considerações (Charnet, et al., 2008) (Barreto, 2011) (Raposo, 2020) (Alves, 2021a) (Honório, 2022) (jamovi, 2022).

Interpretações imediatas para os coeficientes do modelo na Equação (2.5) podem ser extraídas neste momento. O parâmetro β_1 representa a variação esperada em Y quando é dado um acréscimo unitário em X . Já β_0 pode ser interpretado como o valor esperado para Y , dado em um nível de $X =$

0. Contudo, essa interpretação para β_0 só faz sentido se a regressão incorpora em seu escopo o valor de $X = 0$ (se os níveis de X no espaço amostral de estimação incluem o valor “ $X = 0$ ”, e se isso faz sentido em termos da aplicação). No caso em estudo nesta Tese não faz sentido físico supor $X = 0$, pois como X representa a variável quantitativa contínua densidade básica da madeira, não há correspondência, nem sentido físico para X nulo. Contudo, sob o ponto de vista de ajuste do modelo matemático, essa possibilidade será adotada para o estudo de inferência estatística, conforme poderá ser visto mais adiante nesta Tese.

Uma regressão múltipla de primeira ordem, linear na parte estrutural das variáveis explicativas, apresenta uma formulação similar à Equação (2.6). Porém, neste caso há mais de uma variável explicativa na equação de regressão. Um modelo contando com $p-1$ variáveis explicativas (preditoras) e p parâmetros é formalizado conforme a seguir (Barreto, 2011), (Charnet, et al., 2008), (Carvalho, et al., 2015) (Raposo, 2020) (Honório, 2022) (jamovi, 2022):

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

Onde:

\hat{Y}_i : valor da variável estimada para i -ésima observação

X_i : valor da variável preditora, ou explicativa, para i -ésima observação

β_k : ($k = 0, 1, \dots, p - 1$), são os parâmetros (coeficientes) de regressão

ε_i : termo de erro aleatório associado a i -ésima observação.

Neste modelo assumem-se os ε_i 's independentes e $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Para o caso, em primeiro lugar, da análise de regressão linear simples o que se pretende é estimar os parâmetros da regressão, dados pela Equação (2.5), (β_0 e β_1) por meio de algum processo de estimação a partir dos dados obtidos experimentalmente. A estimação pelos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é uma utilização imediata em estatística, sendo aplicável para modelos de regressão simples e múltipla. A partir da equação de regressão, na prática, é possível obter respostas para qualquer nível da variável preditora X , bastando substituí-los na equação para que sejam encontrados os valores estimados para Y . É importante ressaltar que os modelos de regressão linear simples e múltipla, após a estimativa dos parâmetros de regressão, precisam ser validados a partir de análises de inferências estatísticas paramétricas, necessárias para confirmação das hipóteses iniciais feitas para obtenção dos modelos. Portanto, tanto para os MRLS, quanto para os MRLM os seguintes pressupostos precisam ser atendidos: a *aleatoriedade na obtenção das observações da amostra*, a *linearidade da relação entre variáveis*, a *normalidade dos termos de erros*, a *independência* e a *homocedasticidade dos termos de erros* e a *ausência de multicolinearidade* para o caso da Regressão Linear Múltipla. Além disso, tão importantes quanto atender a esses pressupostos condicionantes para que se obtenha um modelo bem ajustado, é verificar a ausência de outliers, para que o modelo não

seja enviesado (Barreto, 2011) (Charnet, et al., 2008) (Alves, 2021a) (Raposo, 2020) (Honório, 2022) (jamovi, 2022).

2.6.7 Análise da Presença de Outliers na Distribuição das Amostras

Os *outliers* são valores atípicos da amostra que diferem substancialmente da maioria dos dados presentes na distribuição de uma variável. Podem ocorrer por diversas causas, mas geralmente surgem por erros na coleta de algum elemento da amostra, erros no procedimento durante a execução um ensaio experimental, ou mesmo devido a uma falha no registro e digitação de dados. No entanto, deve-se tomar muito cuidado na análise e verificação, pois um *outlier* pode indicar um comportamento físico específico do material em um determinado nível de valor da variável. Outra possibilidade é que um *outlier* pode estar indicando uma deficiência do modelo matemático em estimar determinado fenômeno e o erro não estar, portanto, na distribuição amostral. Mas, quando existem realmente valores atípicos na amostra, isso pode introduzir tendenciosidade no modelo de regressão, pois afetarão os valores dos coeficientes de regressão estimados. Nestes casos, é muito importante detectar os outliers e assim diagnosticar se o modelo é tendencioso. Uma forma de detectar valores atípicos na amostra é converter os resíduos em *escores-z*, padronizando-se os resíduos. Como se sabe, em uma amostra com distribuição normal dos termos de erros, 95% dos *escores-z* estão entre $-1,96\sigma$ e $+1,96\sigma$ desvios padrão, 99% dos *escores-z* estão entre $-2,586\sigma$ e $+2,58\sigma$ e 99,9% dos *escores-z* estão entre $-3,29\sigma$ e $+3,29\sigma$ desvios padrão. Geralmente, resíduos padronizados com valores maiores do que 3,29, precisam ser analisados com atenção porque, em uma amostra, dificilmente acontecem por acaso. A maioria dos autores estabelece o valor de corte para *outlier* igual ou acima de 3 desvios padrão. É importante, também detectar na amostra casos atípicos que influenciam demasiadamente os parâmetros do modelo. O objetivo do diagnóstico de casos influentes é determinar se o modelo de regressão é estável para toda a amostra, ou se ele pode estar sendo influenciado somente por poucos casos atípicos. Nesta situação, a estratégia é retirar o valor atípico que se supõe influente, calculando-se um novo modelo. Caso haja pouca diferença entre os novos parâmetros e os antigos, é possível considerar o modelo como estável. Mesmo nessa situação em que o modelo possa ser considerado estável, casos atípicos, especialmente para pequenas amostras, ainda podem influenciar a normalidade da distribuição, ou mesmo a homocedasticidade das variâncias dessas distribuições. Neste caso, a retirada dos outliers é recomendada. A medida da influência global de outliers pode ser verificada pelo teste da *Distância de Cook*, cujo $Range \leq 1,0$. Mesmo nos casos em que a distância de Cook mostre que a presença de outliers é pouco significativa para alterar os parâmetros do modelo de regressão, especialmente quando as amostras são grandes, é recomendável verificar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade da distribuição de resíduos, além da significância estatística dos parâmetros da regressão.

2.6.8 Teste de Generalização do Modelo Com Amostras Diferentes

Este item discute a importância da validação cruzada na análise de regressão no sentido de verificar se o modelo é generalizável para toda a população ou se está restrito apenas à amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão. Para isso, é utilizada a técnica do teste de Bland-Altman que avalia a concordância entre dois modelos ou métodos distintos e no caso da Tese avalia se a concordância entre o modelo experimental e o modelo matemático de resistência proposto é adequado, parcialmente adequado ou, eventualmente inadequado.

A análise de regressão estima os parâmetros de uma função a partir dos dados de uma amostra. Os modelos gerados dessa forma, mesmo sendo estatisticamente significativos e atendendo aos pressupostos das análises estatísticas paramétricas, podem ser que não estimem bem toda a população de onde foi obtida e extraída a amostra. Assim, pode ser que o modelo somente estime com precisão a amostra utilizada para a elaboração da regressão. Quando isso acontece o modelo é dito não generalizável. Nesses casos em que o modelo não seja generalizável, deve-se restringir qualquer conclusão baseada no modelo apenas à amostra utilizada para a elaboração da regressão. Para generalizar um modelo de regressão e então poder fazer inferências sobre toda a população, pode-se fazer uma *validação cruzada*, que é uma técnica para se verificar a generalização do modelo, utilizando-se de amostras externas, ou parte da própria amostra. Assim, se o modelo é aplicado a amostras externas representativas e não existe diferença estatisticamente significativa entre a amostra externa experimental e a correspondente amostra estimada pelo modelo, então o modelo pode ser considerado generalizável. Nesta Tese a validação cruzada será feita com a verificação da concordância, utilizando-se a técnica do teste de Bland-Altman, entre amostras experimentais externas obtidas na literatura e as correspondentes amostras estimadas a partir do modelo de regressão linear utilizando-se a densidade básica como variável independente (Raposo, 2020) (Barreto, 2011) (Charnet, et al., 2008) (Honório, 2022).

A avaliação da concordância entre dois métodos, ou modelos distintos, não pode ser feita com a aplicação da Correlação de Pearson de variáveis quantitativas, ou pelo Coeficiente de Correlação Intraclasse, embora isso tenha sido a prática comum entre pesquisadores até há algum tempo. Isso porque a correlação entre modelos pode ser muito alta, mesmo assim os dois modelos podem concordar pouco. Nesta Tese o teste de *Bland-Altman* será utilizado para a *validação cruzada* e, também, para comparar modelos de dimensionamento para elementos estruturais, obtidos a partir da resistência experimental da madeira, com modelos de dimensionamento obtidos a partir da resistência estimada pelo modelo de regressão linear. Este teste é mais preciso do que a Correlação de Pearson, pois verifica quanto os modelos, que avaliam o mesmo desfecho, concordam ou discordam em vez de medir apenas a correlação entre eles. A estatística do teste de Bland-Altman avalia a diferença

entre dois modelos distintos através de um *Teste t para uma amostra* constituída pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto. O *Teste t* verifica se a diferença entre os modelos é estatisticamente diferente de zero, sendo esta a avaliação mais importante para a comprovação da concordância. O critério é que se $\text{valor } p \geq 0,05$ no *Teste t*, não se rejeita a hipótese nula e os dois modelos são estatisticamente concordantes. É preciso neste caso também verificar se a amostra constituída pela diferença entre os dois modelos se ajusta à distribuição normal. Outra verificação do teste de Band-Altman é a *análise do viés de proporção*, que significa avaliar se as diferenças não tendem a se concentrar acima, ou abaixo, da média das observações em alguma região do domínio da amostra e que, portanto, o modelo de regressão não tem uma tendência de errar só para mais, ou só para menos. Essa verificação é feita com a elaboração de uma regressão linear da diferença versus a média entre as observações dos modelos. A estatística aqui é que: se $\text{valor } p \geq 0,05$, não se rejeita a hipótese nula e não existe relação linear entre a diferença e a média das observações. Em outras palavras, sem formalidade estatística, significa que o coeficiente de inclinação da reta obtida, *diferença x média*, é estatisticamente nulo. Na realidade a verificação do viés de proporção garante a homocedasticidade da amostra representada pela diferença e que a variância não é grande no domínio. Neste caso se diz que não há viés de proporção e o modelo não tende a errar só para mais, ou só para menos em alguma região do domínio. Cabe ressaltar que neste caso, também, é necessário verificar o ajuste dos termos de erro à distribuição normal, de modo que a precisão dos testes paramétricos dos pressupostos seja garantida, especialmente na verificação da autocorrelação dos termos de erro, além da verificação da presença ou não de outliers. Convém ressaltar que é desejável que não haja *viés de proporção*, mas isso é bem menos importante do que a verificação da concordância entre os modelos pelo *Teste t para uma amostra*. Isso porque o viés de proporção pode não ser atendido quando a amostra externa é pequena, ou quando a metodologia utilizada na obtenção da amostra externa não é exatamente a mesma. Além disso, neste caso a amostra não está sendo utilizada para estimação de um modelo de regressão, mas apenas para teste de concordância. Falar sobre viés ou erro médio e os limites de concordância do Teste de Bland-Altman.

3 MODELOS DE RESISTÊNCIA PARA MADEIRA VERDE E SECA

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta os estudos de desenvolvimento dos modelos matemáticos de resistência do material a partir de propriedades de madeira tropical, nas condições verde (saturada em água) e seca (teor de umidade de 12%). A base amostral utilizada nos modelos de regressão linear é constituída pelo Banco de Dados Experimentais de Espécies de Madeiras Tropicais caracterizadas pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF, do IBAMA (LPF/IBAMA, 2016). No primeiro bloco são desenvolvidos os modelos matemáticos capazes de estimar as propriedades mecânicas e físicas de madeira tropical tomando-se a densidade básica como variável independente quantitativa. Em um segundo bloco são desenvolvidos modelos de resistência tomando-se como variável independente quantitativa a resistência a compressão paralela às fibras na condição seca ($f_{c0,k}$), verificando-se a acurácia das correlações apresentadas pela NBR 7190/2022 (ABNT, 2022). E em um terceiro e último bloco são desenvolvidos modelos de resistência que considerem a influência da grã da madeira na resistência mecânica e nas propriedades de rigidez de madeira tropical, tomando-se como variável independente quantitativa a densidade básica e os tipos de grã como variáveis qualitativas dicotômicas (variáveis Dammy).

Para a modelagem estatística descritiva e inferencial será utilizado o software *jamovi* (jamovi, 2022). O *jamovi* é uma nova plataforma de modelagem estatística de última geração, construído em cima da linguagem estatística R e vem se tornando uma alternativa aos produtos estatísticos tradicionais, especialmente por ser um software livre e aberto e por isso em constante desenvolvimento.

3.2 Análise da Aleatoriedade do Sistema de Amostragem Utilizado Pelo LPF

O Laboratório de Produtos Florestais-LPF do Ministério do Meio Ambiente conduziu nos últimos trinta anos um extenso programa de pesquisa intitulado: Programa Para Caracterização de Madeiras Tropicais Brasileiras. O programa caracterizou 259 espécies de madeiras tropicais seguindo um rigoroso sistema aleatório para seleção e coleta de material em campo. Posteriormente foram realizados ensaios em laboratório com corpos de prova isentos de defeitos, tanto para madeira na condição verde (saturada em água), quanto para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%). O objetivo era obter resultados comparáveis e representativos de propriedades de espécies de madeiras tropicais. No caso de coleta de madeiras na Amazônia foi adotada uma metodologia específica considerando as condições peculiares das florestas tropicais brasileiras, adaptada a partir dos estudos de Noack (Noack, 1970) (Melo, 2016).

O programa de caracterização de madeiras tropicais brasileiras, conduzido pelo LPF, estudou espécies de madeiras selecionadas, especialmente, pelas frequências de ocorrências, incluindo-se propriedades físicas e mecânicas, além de estudos de anatomia, química, secagem, preservação e durabilidade natural. A metodologia compreende fases que envolveram recursos financeiros significativos, com as principais regiões de coleta na Amazônia identificadas na Figura 3.1, abaixo.



Figura 3.1. Regiões de coletas de espécies de árvores para o Programa de Caracterização de Madeiras Tropicais Brasileiras do Laboratório de Produtos Florestais – LPF, IBAMA.

A heterogeneidade da floresta amazônica condiciona que as regiões e espécies a serem amostradas fiquem condicionadas a existência prévia de inventários florestais, conforme consta da Fase-1 da metodologia adaptada pelo LPF (Noack, 1970). O Inventário Florestal é o procedimento para se obter informações sobre as características quantitativas e qualitativas da floresta, além de outras características das áreas sobre as quais a floresta está se desenvolvendo. Um inventário florestal completo pode fornecer diversas informações, dentre elas:

- Estimativa de área
- Descrição da topografia
- Mapeamento da área
- Descrição de acessos
- Condições de transporte da madeira
- Lista de espécies e ocorrência (volume/ha)
- Estimativa de crescimento (se o inventário for realizado mais de uma vez).

A elaboração de um Inventário Florestal é, em virtude das suas características, normalmente dispendiosa no que se refere ao tempo e demais recursos necessários para sua realização. Na Amazônia as dificuldades são ainda maiores por diversos fatores, como a inexistência, ou más

condições de estradas, condições e dimensões da floresta, dificuldade de acesso na mata dificuldade, de identificação das espécies. Portanto, é preciso considerar nesse caso “*um coeficiente amazônico*”, que afeta o tempo, as condições de acesso e custos, tornando o processo convencional de estudo e pesquisa quase inviável. No programa completo de caracterização empreendido pelo LPF foram gastos quase trinta anos em pesquisas e recursos financeiros e humanos significativos. Portanto, é inviável, para não dizer praticamente impossível, em médio prazo, a caracterização de todas as espécies de madeira tropical da Amazônia, estimadas em dezesseis mil espécies arbóreas (Rocco Lahr, 2020). O LPF caracterizou em trinta anos da ordem de 250 espécies de madeiras tropicais da Amazônia.

Tabela 3.1 Custo para caracterização e coleta de madeiras em Curuá Una – Pará (PA) (Melo, 2019) (modificada pelo autor).

Custo	01 Espécie	01 Espécie	50 Espécies	50 Espécies	250 Espécies	250 Espécies
	(Moeda Cruzeiro)	(Moeda Real)	(Moeda Cruzeiro)	(Moeda Real)	(Moeda Cruzeiro)	(Moeda Real)
Coleta e Transporte	10.000,00	2.300,00	500.435,00	115.100,05	2.500.000,00	575.000,00
Ensaio Físicos e Mecânicos	30.435,00	7.000,05	1.521.740,00	350.000,20	7.608.696,00	1.750.000,08
Total Geral	40.435,00	9.300,05	2.022.175,00	465.100,25	10.108.696,00	2.325.000,08

Estimativa de tempo para coleta e transporte de 3750 espécies (4000 - 250) → □1 anos

Estimativa de tempo para realização de ensaios de 3750 espécies (4000 - 250) → □56 anos

Estimativa de custo para caracterização de 3750 espécies (4000 - 250) → □R\$ 35.000.000,00

Referência de custo: IPCA 1980/2019

A coleta de cinquenta espécies na região de *Curuá Una*, no estado do Pará, teve uma duração de cinco meses, com posterior transporte e ensaios no laboratório em Brasília, no ano de 1980. Os custos para esta etapa foram atualizados por Melo (Melo, 2019), conforme Tabela 3.1. Assim, considerando-se que na Amazônia existam da ordem de 16 mil espécies arbóreas, ainda restaria por volta de 15,5 mil espécies (considerando também as espécies estudadas em outros laboratórios brasileiros) a serem caracterizadas, sendo que parte ainda nem foram identificadas. Para realização apenas da coleta deste número de espécies seriam necessários da ordem de 125 anos, admitindo-se os mesmos recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis à época. Para realização dos ensaios, com as mesmas condições, seriam necessários mais de 500 anos e custos totais de aproximadamente R\$140 milhões de reais. Portanto, para a caracterização das espécies existentes na Amazônia seria preciso a associação dos diversos laboratórios e instituições de pesquisa do Brasil, e do exterior, e uma coordenação em nível da União Federal, que pudesse viabilizar o projeto. Uma das possibilidades para se diminuir a quantidade de ensaios e reduzir recursos humanos, financeiros, além de tempo, para a caracterização das novas espécies arbóreas, é tirar partido da alta correlação que existe entre propriedades mecânicas e físicas da madeira com a densidade básica, tanto em condição

de umidade verde, quanto seca. Nesse sentido, os modelos matemáticos de resistência do material, sendo capazes de estimar propriedades mecânicas e físicas de madeiras tropicais, a partir de outras propriedades da madeira, podem se constituir em uma importante ferramenta para otimização de recursos necessários para futuros programas de caracterização de madeiras tropicais da Amazônia. Após a caracterização, que fornecerá o potencial das espécies, a amostragem pode ser intensificada em função do grau de confiabilidade exigido para determinados usos específicos (Melo, 2019) (IBDF, 1981) (IBDF, 1988) (IBAMA, 1997).

As pesquisas têm demonstrado que a variabilidade nas propriedades da madeira é maior entre árvores do que dentro de uma mesma árvore. Alguns autores recomendam retirar uma, ou duas amostras em dez árvores por espécie, aproximadamente. O programa de caracterização do LPF seguiu um roteiro esquemático do processo de caracterização, estabelecendo o nível de significância ($\alpha = 5\%$ e confiabilidade (95%) em função do tamanho determinado da amostra, o tipo de propriedade estudado e o uso específico, conforme estudos realizados por Noack (Noack, 1970), adaptado pelo LPF, conforme a Tabela 3.2 (LPF/IBAMA, 2016) (Melo, 2016) (Melo, et al., 2016).

Tabela 3.2 O Sistema de Amostragem Utilizado Pelo LPF (Noack, 1970) (Melo, 2016)

Nível α de Significância Para Confiância de 95%	Número de Amostras Por Árvore			
	Uma		Duas	
	Densidade	Propriedade Mecânica	Densidade	Propriedade Mecânica
	Número de Árvores		Número de árvores	
± 15	4	6	3	5
± 10	5	12	4	8
± 5	20	35	12	20
$\pm 2,5$	70	150	40	80

A diversidade de espécies, a dificuldade de acesso e existência de poucos inventários florestais na Amazônia torna praticamente impossível realizar uma amostragem dentro do conceito de seleção puramente ao acaso. Desta forma, a escolha das espécies a serem caracterizadas foi baseada em inventários florestais realizados em regiões que tenham acesso por via terrestre ou fluvial. Uma das maneiras de selecionar as árvores é estabelecer um ponto de referência a partir do qual são demarcados pontos quilométricos (terrestre) ou horários (fluvial). Utilizando-se uma tabela de números fortuitos, os pontos são sorteados em função do número de espécies e árvores a serem coletadas. A partir de cada ponto sorteado, o encarregado do trabalho de campo deverá mover-se para dentro da floresta, segundo um azimute escolhido ao acaso, marcando a primeira árvore por espécie

encontrada. Em virtude da dificuldade de transporte do material, raramente se penetra mais que um ou dois quilômetros dentro da mata. Em cada um destes pontos deve ser coletada uma árvore por espécie. A Figura 3.2, abaixo, mostra a divisão da parte comercial da árvore em toretes (Melo, 2018).

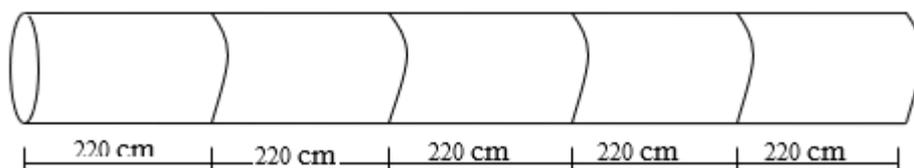


Figura 3.2 Divisão da parte comercial da árvore em toretes de 220 cm de comprimento

A variabilidade nas propriedades mecânicas e físicas obtidas pelo programa experimental conduzido pelo LPF não é grande, em virtude do rigoroso sistema aleatório adotado para seleção e coleta de material em campo, apesar de a madeira ser um material de origem botânica. Nesse sentido, é de se esperar que a madeira apresente diferenças em relação às suas propriedades físicas e de resistência. As variações na sua composição e estrutura orgânica se refletem em diferenças significativas nas propriedades entre espécies distintas, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore. Para algumas propriedades esta variabilidade tende a ser maior do que para outras. Como as propriedades de resistência (propriedades mecânicas) de uma mesma espécie tendem para uma distribuição normal, a variabilidade é tomada por medidas de tendência central: desvio padrão, variância e pelo coeficiente de variação (Noack, 1970). A estatística descritiva

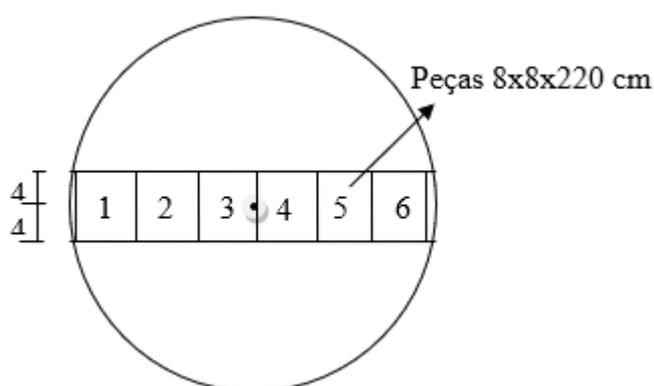


Figura 3.3 Divisão da prancha central em peças de 8x8 cm

da amostra constituída pelas espécies de madeira do Banco de Dados do LPF (para madeira verde e seca), mostra que os coeficientes de variação médio de algumas propriedades de madeiras são da ordem de 16%, para madeira verde, e da ordem de 15% para madeira seca. Esses valores foram obtidos em ensaios normalizados com corpo-de-prova sem defeitos (da ordem de 2.000 para cada

propriedade), distribuídos por mais de 250 espécies, em média. O número de corpos de prova variou de 12 a 22 por propriedade e por espécie. Os coeficientes de variação são os valores médios de todos os coeficientes de variação obtidos por propriedade. Para efeito de caracterização é importante que o sistema de amostragem leve em consideração toda esta variabilidade, para se conseguir uma representatividade significativa de uma determinada espécie de madeira. Após a realização dos ensaios determinou-se a média, o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação para cada propriedade (veja-se a Tabela 3.3 e Tabela 3.12). A identificação dos corpos de prova segue a orientação da Figura 3.3 e é uma escolha aleatória. A sequência dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos são mostrados na Figura 3.4, de acordo com a sequência:

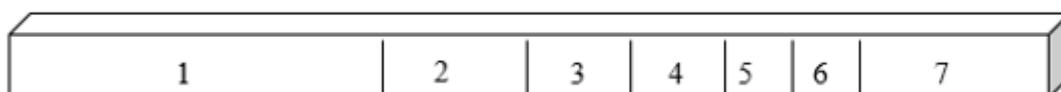


Figura 3.4 Sequência dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos

Onde:

1. Flexão Estática
2. Compressão paralela às fibras
3. Compressão perpendicular às fibras
4. Dureza Janka
5. Cisalhamento paralelo às fibras
6. Tração perpendicular às fibras
7. Densidade e estabilidade dimensional

Os protocolos do programa de caracterização de espécies arbóreas do LPF estabelecem que, para os ensaios que apresentarem valores muito discrepantes ou atípicos, acima ou abaixo da média, deve-se fazer uma inspeção no corpo de prova, para verificar a existência de possíveis defeitos que podem ter influência no resultado do ensaio. Como a metodologia de ensaio é para corpos de prova isentos de defeitos, aqueles, eventualmente com defeitos, são descartados. Uma das causas de maior variabilidade é o corpo de prova ser sorteado do cerne ou do alburno. Estas informações constam nas informações dos ensaios e fizeram parte do programa que constituiu a amostra do LPF utilizada nesta Tese.

3.3 Modelos de Resistência Para Madeira Verde

A modulação estatística inferencial e os testes de hipóteses mais adequados, conforme discutido no item 2.6.3, podem ser definidos pelos Fluxogramas da Figura 2.15 e Figura 2.16. Assim, primeiro é necessário classificar as variáveis em quantitativas (discreta, ou contínua), e/ou qualitativa (nominal

ou ordinal); segundo, definir qual é a variável independente (variável explicativa) e qual é a variável dependente (variável resposta), para cada um dos modelos de resistência a serem estabelecidos. Essa segunda parte será definida a partir da análise de relacionamento entre as variáveis com a Matriz de Correlação de Pearson. Nessa fase da pesquisa da Tese será admitida a hipótese, a ser posteriormente confirmada, de que a distribuição dos resíduos se ajusta à distribuição normal e que, portanto, a análise estatística será paramétrica. Já se sabe da literatura que existe uma forte correlação entre a densidade básica e as demais propriedades mecânicas e físicas da madeira (Noack, 1970) (Melo, et al., 1992). A análise do relacionamento das variáveis poderá indicar, eventualmente, quais outras variáveis poderão ser adotadas como variáveis independentes. Contudo, nesta fase já é possível classificar todas as variáveis como quantitativas decimais e não pareadas em virtude do processo de coleta aleatória descrito no item 3.2. Portanto, caso os resíduos se ajustem a uma distribuição normal e para uma única variável independente quantitativa contínua e sendo a variável dependente, também quantitativa contínua, a análise será paramétrica, e serão estabelecidos modelos matemáticos buscando-se a relação entre as variáveis por uma Regressão Linear Simples. Quando do estudo da relação entre as variáveis, existirem mais de uma variável independente explicativa (duas variáveis quantitativas, ou uma variável quantitativa associada a variáveis qualitativas dicotômicas), sendo a variável dependente também quantitativa contínua e na hipótese da distribuição de resíduos se ajustar a uma distribuição normal, a análise estatística inferencial será paramétrica. Neste último caso, serão estabelecidos modelos matemáticos buscando-se a relação entre as variáveis por uma Regressão Linear Múltipla.

3.3.1 Estatística Descritiva Para Madeira Verde

O Banco de Dados Experimentais de Madeiras Tropicais do LPF apresenta as espécies identificadas pelo nome científico e popular e as seguintes propriedades para cada uma das espécies caracterizadas:

- $MOE_v (E_{m,k})$: Módulo de elasticidade à flexão para madeira verde
- $MOR_v (f_{m,k})$: Tensão de ruptura na flexão para madeira verde
- $CPA_v (f_{c0,k})$: Tensão de ruptura a compressão paralela às fibras para madeira verde
- $CPE_v (f_{c90,k})$: Tensão de ruptura a compressão perpendicular às fibras para madeira verde
- $CIS_v (f_{v,k})$: Tensão de ruptura longitudinal ao cisalhamento para madeira verde
- $TPER_v (f_{t90,k})$: Tensão de ruptura à tração perpendicular às fibras para madeira verde
- $FEND_v$: Resistência ao fendilhamento para madeira verde
- D_b : Densidade básica
- D_{ap} : Densidade aparente (teor de umidade a 12%)
- D_v : Densidade verde (saturado em água)
- CT : Contração tangencial
- CR : Contração radial
- CV : Contração volumétrica
- DE_v : Dureza Janka paralela às fibras para madeira verde
- DF_v : Dureza Janka perpendicular às fibras para madeira verde.

A estatística descritiva foi elaborada com o software jamovi e apresenta informações importantes para o pesquisador que desejar estudar madeiras tropicais. A estatística traz medidas de tendência central importantes para delineamentos experimentais e amostrais, como o tamanho da amostra (número de observações), a média, o erro-padrão da média, a variância e o desvio padrão. Outros valores como a mediana e a moda, intervalos de confiança da média, valores percentílicos, amplitude e curtose, foram determinados para a amostra na condição verde, e também seca, mas não constam da Tese, por simplificação.

Tabela 3.3 Estatística Descritiva Para Madeira Verde (saturada em água) (Fonte: Autor).

Estatística Descritiva							
	N	Média	Erro-padrão	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo
Db	258	0.619	0.010	0.154	0.024	0.260	1.010
Dap	258	0.779	0.012	0.200	0.040	0.310	1.280
Dv	238	1.144	0.006	0.095	0.009	0.780	1.340
CPAv	252	39.119	0.849	13.474	181.551	12.800	77.100
MORv	253	81.096	1.687	26.826	719.611	26.900	148.700
CPEv	247	7.019	0.237	3.717	13.819	1.400	17.900
CISv	252	9.748	0.181	2.871	8.244	3.000	17.200
MOEv	253	11329.249	166.227	2643.999	6990728.402	4300.000	16900.000
TPERv	248	4.105	0.077	1.212	1.470	0.900	7.700
FENDv	189	568.677	11.667	160.401	25728.560	200.000	1010.000
DEv	253	6080.672	173.588	2761.087	7623603.118	1240.000	13620.000
DFv	253	5968.024	194.117	3087.626	9533433.380	860.000	14050.000
CT	257	8.461	0.105	1.688	2.848	4.500	13.000
CR	257	4.698	0.074	1.190	1.416	2.200	9.100
CV	258	12.981	0.158	2.538	6.441	6.600	20.800

Unidades: densidade (g/cm³), tensão (MPa), rigidez (MPa), fendilhamento (N/cm), dureza (N), contração (%).

A distribuição das espécies que constituem a amostra do LPF foi dividida em classes de baixa, média e alta densidade básica, conforme consta da Tabela 3.4, abaixo. Pelos estudos estatísticos realizados no programa experimental do LPF, esta é a distribuição estatisticamente esperada de densidades básicas para a população de madeiras tropicais da Amazônia, representada pela amostra do LPF (IBDF, 1981) (Melo, et al., 1990).

Tabela 3.4 Distribuição da amostra do LPF por classes de densidade básica

Densidade Básica (kg/m ³)	Número de Espécies	%
Baixa $D_b \leq 500$	74	28,5%
Média $500 < D_b \leq 720$	108	41,5%
Alta $D_b > 720$	77	30,0%

3.3.2 Análise do Relacionamento Entre as Variáveis Para Madeira Verde

A existência do relacionamento entre as variáveis e a sua intensidade serão medidas pela Matriz de Correlação de Pearson. As propriedades físicas e mecânicas, além de outras propriedades importantes para o projeto de estruturas, foram estudadas pelo LPF para madeira na condição verde (saturada em água). Nesta análise a busca pela relação entre duas variáveis quantitativas ocorre sem a definição de qual é independente ou dependente, sendo que as premissas para que a análise seja paramétrica, são: a independência das observações, a normalidade das distribuições, e a linearidade. A independência de todas as variáveis foi atestada quando se descreveu e se analisou a aleatoriedade do sistema de amostragem utilizado, no item 3.2. A normalidade e a linearidade serão verificadas quando forem estabelecidos os modelos matemáticos pela regressão linear, nos itens seguintes.

Tabela 3.5 Matriz de Correlação de Pearson Para Madeira Verde (Fonte: Autor).

Correlação		Db	Dap	Dv	CPAv	MORv	CPEv	CISv	MOEv	TPERv
Db	R de Pearson	—	0.979	0.809	0.946	0.959	0.896	0.899	0.895	0.656
	p-valor	—	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001
Dap	R de Pearson	0.979	—	0.790	0.929	0.939	0.861	0.878	0.889	0.651
	p-valor	< .0001	—	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001
Dv	R de Pearson	0.809	0.790	—	0.717	0.752	0.722	0.709	0.726	0.490
	p-valor	< .0001	< .0001	—	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001
CPAv	R de Pearson	0.946	0.929	0.717	—	0.972	0.880	0.907	0.883	0.657
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	—	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001
MORv	R de Pearson	0.959	0.939	0.752	0.972	—	0.876	0.901	0.912	0.668
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	—	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001
CPEv	R de Pearson	0.896	0.861	0.722	0.880	0.876	—	0.832	0.724	0.643
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	—	< .0001	< .0001	< .0001
CISv	R de Pearson	0.899	0.878	0.709	0.907	0.901	0.832	—	0.841	0.696
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	—	< .0001	< .0001
MOEv	R de Pearson	0.895	0.889	0.726	0.883	0.912	0.724	0.841	—	0.582
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	—	< .0001
TPERv	R de Pearson	0.656	0.651	0.490	0.657	0.668	0.643	0.696	0.582	—
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	—
FENDv	R de Pearson	0.808	0.795	0.642	0.816	0.834	0.774	0.855	0.781	0.776
	p-valor	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001

Com as premissas satisfeitas fez-se a estatística paramétrica de correlação de Pearson, apresentada na Tabela 3.5, acima. Para análise de hipóteses ($\alpha = 5\%$, com confiança de 95%) o software jamovi admite como hipótese nula: $H_0 = \text{não há correlação}$; e a hipótese alternativa $H_1 = \text{há correlação}$. Dessa forma, como na Tabela 3.5 todos os $\text{valor} - p \ll 0,05$, é possível se rejeitar a hipótese nula (não há correlação) em favor da hipótese alternativa (há correlação). Portanto, é

possível afirmar que, para todas as variáveis analisadas, as correlações entre elas são todas positivas e estatisticamente significantes.

A análise da Matriz de Correlação de Pearson será feita a partir da classificação de intensidade das correlações estabelecidas por Shimakura (Shimakura, 2006). Pela Tabela 3.5, verifica-se que existem correlações fortes e muito fortes, principalmente, entre a densidade básica (D_b), a densidade aparente (D_{ap}), a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) e o módulo de elasticidade à flexão (E_m) com as demais propriedades mecânicas. Dessa forma, tanto as densidades (D_b e D_{ap}) e o $f_{c0,k}$ (CPA), quanto o módulo de elasticidade, poderiam ser adotadas como variáveis independentes nos modelos de regressão linear (variáveis preditoras).

A densidade aparente é a densidade mais difícil de se obter, pela necessidade de se condicionar a madeira em ambiente climatizado, sendo, portanto, um processo demorado, além de muitas vezes ser necessário corrigir os valores obtidos, em virtude da variação que normalmente ocorre, durante o ensaio, em torno do teor de umidade desejado.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade à flexão ($E_{m,k}$) exige mão de obra e equipamentos especializados, além da dificuldade de se confeccionar os corpos de prova. A literatura, geralmente coloca o módulo de elasticidade como a propriedade que apresentaria a maior correlação com outras propriedades da madeira, sendo sugerida como variável preditora em modelos de regressão (Noack, 1970) (Borgström, 2016). Os coeficientes de Pearson da matriz comprovam essa premissa de correlação com as demais propriedades, mas o módulo de elasticidade não é a propriedade com a mais forte correlação em relação as demais, conforme pode ser constatado na Tabela 3.5.

O corpo de prova para o ensaio do CPA exige prensas de alta capacidade para rompimento do corpo de prova para madeiras de densidade alta. Mesmo assim, como a NBR 7190, desde a versão de 1997, apresenta correlações simplificadas a partir do $f_{c0,k}$ (CPA) para estimar de forma simplificada as demais propriedades de resistência da madeira, nesta Tese serão elaborados modelos de regressão linear, tendo o $f_{c0,k}$ como variável independente preditora, mas na condição de umidade seca, com o intuito de se confrontar com as correlações apresentadas pela Norma Brasileira.

A densidade básica (D_b), por outro lado, é muito simples de ser determinada: o corpo de prova é pequeno, fácil de ser confeccionado, o ensaio é simples e bem mais preciso em termos de condições de umidade, além de não exigir mão de obra especializada, equipamentos sofisticados e caros (apenas estufa e balança) e com ela ainda é possível estimar a densidade aparente. Além disso, a densidade básica da madeira, conforme a Tabela 3.5 da Matriz de Pearson, apresenta os maiores coeficientes de correlação (r) com todas as demais propriedades mecânicas e físicas da madeira. Assim, a escolha como variável explicativa no modelo de regressão linear recairá na densidade básica pela facilidade

da sua obtenção experimental, além de ser a propriedade com correlação mais forte com todas as demais. Outra recomendação, conforme item 2.6.6 sobre os modelos de regressão linear, é utilizar apenas uma variável preditora quantitativa, em virtude da forte correlação existente entre as variáveis, conforme verifica-se na Matriz de Pearson, evitando-se a multicolinearidade. (Bonvino, et al., 2008) (Carvalho, et al., 2015) (Barreto, 2011) (Morais, 2005) (Alves, 2021a) (Raposo, 2020) (Honório, 2022).

Alguns autores preferem analisar que as variáveis, ao contrário do que mostra a Tabela 3.5, a partir de uma correlação contínua representada por tons de cores, e não discreta. A Figura 3.5, abaixo, mostra uma distribuição contínua em tons de verde, para a Matriz de Correlação de Pearson.



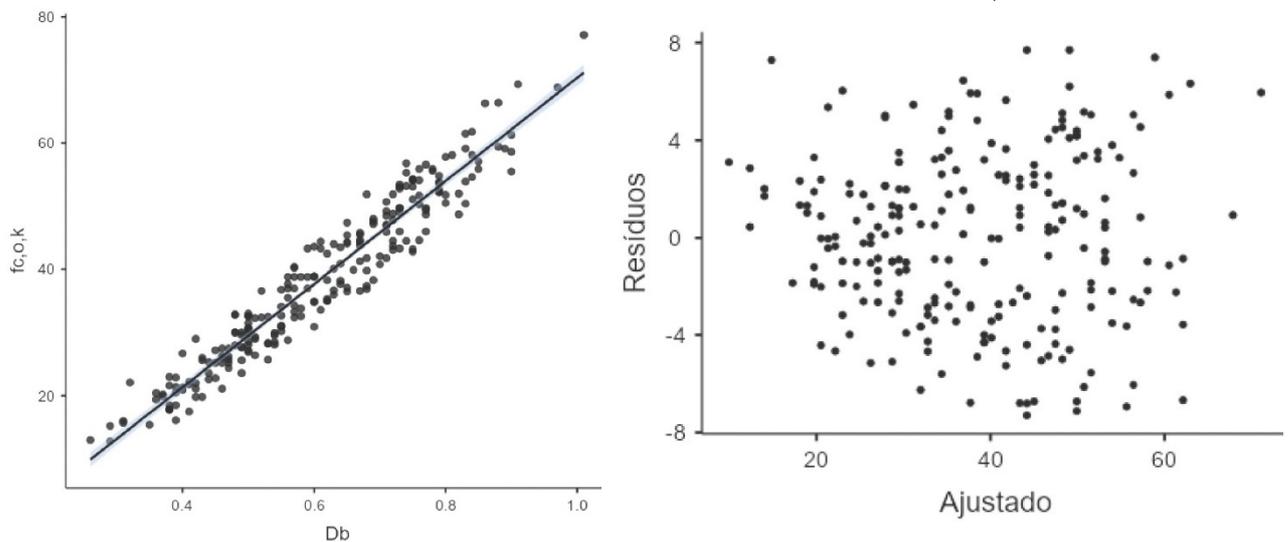
Figura 3.5 Matriz de Correlação de Pearson Com Comparação Contínua das Variáveis Para Madeira Verde (Fonte: Autor).

-
-
-
-
-

3.3.3 Modelo de Resistência Para Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Verde – $f_{c0,k}$

O objetivo deste item é verificar uma relação linear e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência a compressão paralela às fibras da madeira, $f_{c0,k}$ (variável dependente), utilizando a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A resistência a compressão paralela às fibras da madeira é a variável para dimensionamento de elementos estruturais axialmente comprimidos, e solicitados a flexocompressão, normalmente, presentes em: barras de treliças, estroncas, pilares. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade da relação entre as variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).

Figura 3.6 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $f_{c0,k} \times D_b$



A tendência linear da relação é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.6, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.6, não mostra nenhuma tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0523$; $p = 0,543 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,01$; $p = 0,968 \geq$

0,05), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0528 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(232; 1) = 2990,92; p = 1,49 \cdot 10^{-134} \leq 0,05; R^2 = 0,928$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{c,0,k}$ ($t = 54,69; p = 1,49 \cdot 10^{-134} \leq 0,05$) juntamente com o intercepto ($t = -12,12; p = 1,64 \cdot 10^{-26} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo ($f_{c,0,k} = 81,6548D_b - 11,3263$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{c,0,k}$ varia 81,65 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 92,8\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.6, abaixo.

Tabela 3.6 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $f_{c,0,k} \times D_b$ (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9633	0.9280	2990.9210	1	232	1.49e-134

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	36530.6813	1	36530.6813	2990.9210	1.49e-134	
Resíduos	2833.6148	232	12.2139			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9871	0.0336		-0.0130	2.0101	0.964
Kolmogorov-Smirnov	0.0523	0.543				
Anderson-Darling	0.5761	0.133				

Coeficientes do Modelo - $f_{c,0,k}$					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-11.3263	0.9347	-12.1181	1.64e -26	0.0044	0.0021	0.0071	0.0000	0.0528
Db	81.6548	1.4931	54.6893	1.49e-134					

Assim, a tensão resistente a compressão paralela às fibras da madeira, $f_{c,0,k}$ em função da densidade básica, para madeira verde, é dada pela Função (3.1), abaixo:

$$f_{c,0,k} = 81,6548D_b - 11,3263 \quad (3.1)$$

Onde:

$f_{c0,k}$: Tensão resistente nominal de compressão paralela às fibras (MPa)

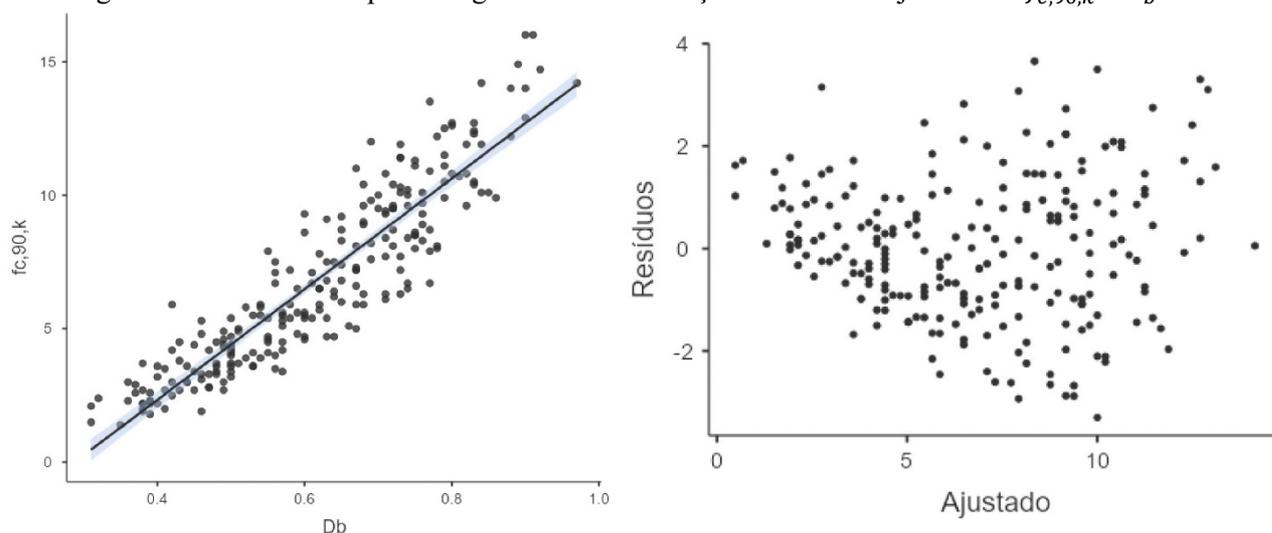
D_b : Densidade Básica (g/cm^3).



3.3.4 Modelo de Resistência Para Compressão Perpendicular às Fibras Para Madeira Verde – $f_{c90,k}$

O objetivo deste item é verificar uma relação linear e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência a compressão perpendicular às fibras da madeira, $f_{c90,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A tensão resistente a compressão perpendicular às fibras da madeira é a variável para a verificação do efeito de cargas localizadas em peças como apoios de vigas, nós de treliças, dormentes de linhas férreas, além de outros. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).

Figura 3.7 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $f_{c,90,k} \times D_b$



A tendência linear da relação é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.7, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.7, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0327$; $p = 0,964 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,06$; $p = 0,690 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0528 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo

($F(232; 1) = 1158,24; p = 3,60.10^{-92} \leq 0,05; R^2 = 0,833$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{c,90,k}$ ($t = 34,03; p = 3,60.10^{-92} \leq 0,05$) juntamente com o interceptor ($t = -15,47; p = 1,43.10^{-37} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo ($f_{c,90,k} = 20,7157D_b - 5,9486$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{c,90,k}$ varia 20,72 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 83,3\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.6, abaixo.

Tabela 3.7 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $f_{c,90,k} \times D_b$ (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9128	0.8331	1158.2387	1	232	3.60e-92

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	2187.9714	1	2187.9714	1158.2387	3.60e-92	
Resíduos	438.2597	232	1.8891			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estadística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9951	0.659		-0.0290	2.0555	0.690
Kolmogorov-Smirnov	0.0327	0.964				
Anderson-Darling	0.1802	0.915				

Coeficientes do Modelo - $f_{c,90,k}$					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-5.9486	0.3845	-15.4699	1.43e-37	0.0043	0.0016	0.0076	0.0000	0.0611
Db	20.7157	0.6087	34.0329	3.60e-92					

Assim, a tensão resistente a compressão paralela às fibras da madeira, $f_{c,90,k}$ em função da densidade básica, para madeira verde, é dada pela Função (3.2), abaixo:

$$f_{c,90,k} = 20,7157D_b - 5,9486 \quad (3.2)$$

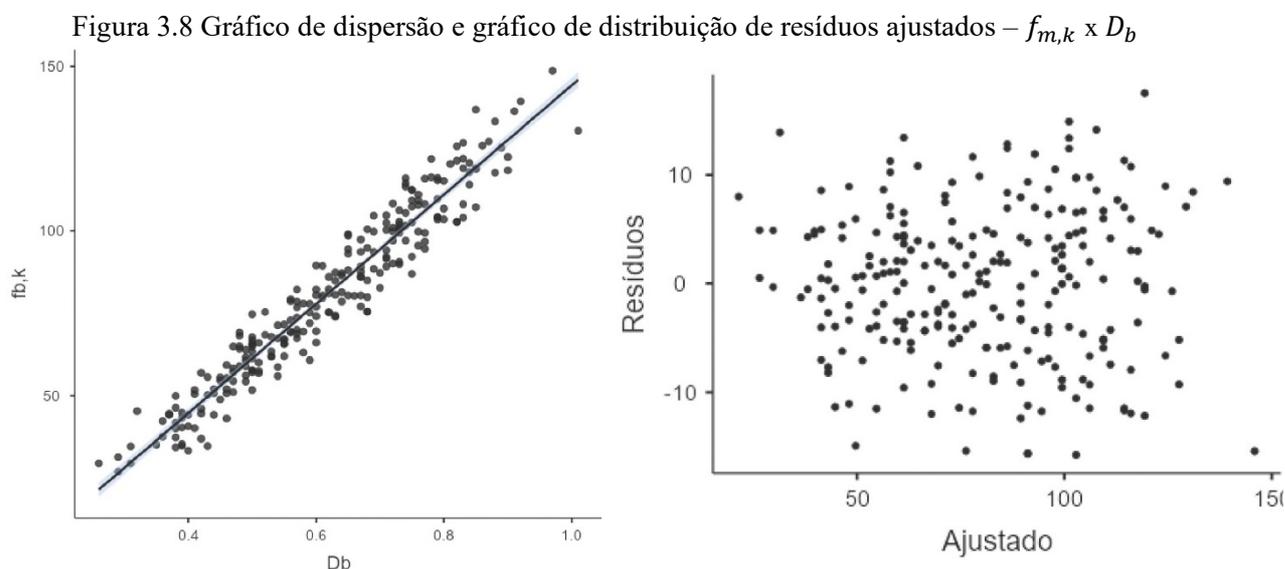
Onde:

$f_{c,90,k}$: Tensão resistente nominal de compressão paralela às fibras (MPa)

D_b : Densidade Básica (g/cm³).

3.3.5 Modelo de Resistência Para Ruptura Por Flexão de Madeira Verde – $f_{m,k}$

O objetivo deste item é verificar a existência de relação linear entre as variáveis e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência de ruptura por flexão de madeira verde, $f_{m,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A tensão resistente de ruptura por flexão é a variável utilizada para a verificação de elementos estruturais submetidos à flexão simples, flexotração e flexocompressão, além de outros. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).



A tendência linear da relação é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.8, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.8, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0362$; $p = 0,902 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,00$; $p = 0,982 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0812 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(242; 1) = 3354,25$; $p = 5,74 \cdot 10^{-145} \leq 0,05$; $R^2 = 0,932$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{b,k}$ ($t = 57,92$; $p = 5,74 \cdot 10^{-145} \leq 0,05$) juntamente com o interceptor ($t =$

$-11,97$; $p = 2,68.10^{-26} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo ($f_{m,k} = 166,0025D_b - 21,7285$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{m,k}$ varia 166,00 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 93,2\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.8, abaixo.

Tabela 3.8 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $f_{m,k} \times D_b$ (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9654	0.9319	3354.2529	1	245	5.74e-145

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	161292.5887	1	161292.5887	3354.2529	5.74e-145	
Resíduos	11781.0688	245	48.0860			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9923	0.225		-0.0139	2.0022	0.982
Kolmogorov-Smirnov	0.0362	0.902				
Anderson-Darling	0.3721	0.418				

Coeficientes do Modelo - fb,k					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-21.7285	1.8155	-11.9683	2.68e -26	0.0044	0.0018	0.0077	0.0000	0.0812
Db	166.0025	2.8663	57.9159	5.74e-145					

Assim, a tensão resistente de ruptura por flexão de madeira a variável, $f_{m,k}$ em função da densidade básica, para madeira verde, é dada pela Função (3.3), abaixo:

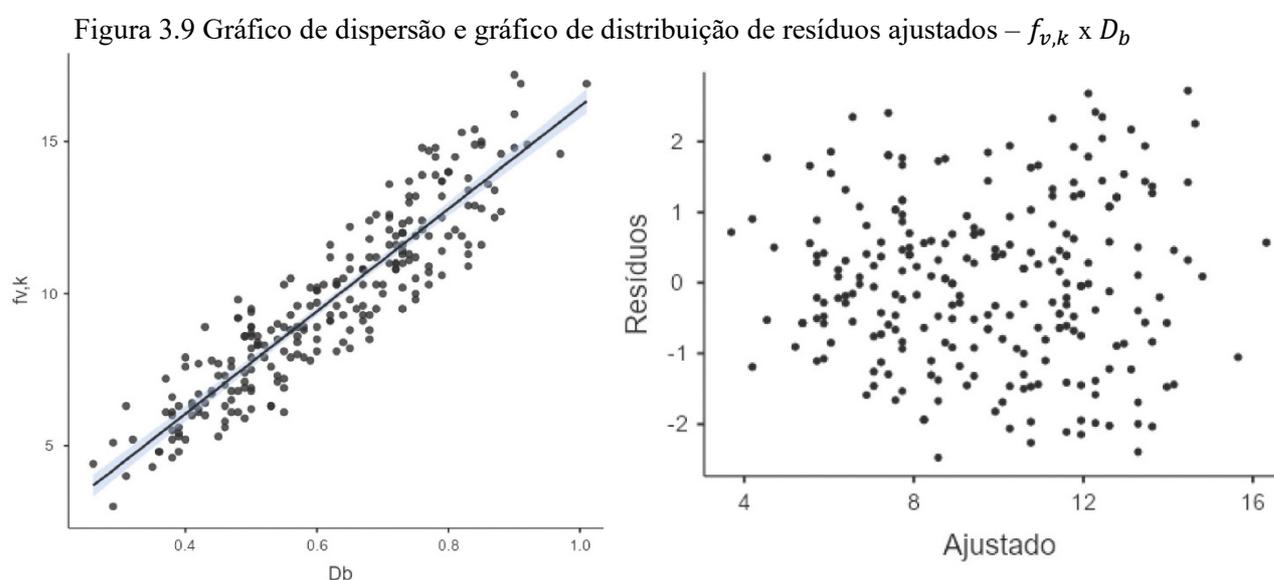
$$f_{m,k} = 166,0025D_b - 21,7285 \quad (3.3)$$

Onde:

- $f_{m,k}$: Tensão resistente nominal para ruptura por flexão de madeira verde (MPa)
- D_b : Densidade Básica (g/cm³).

3.3.6 Modelo de Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras Para Madeira Verde – $f_{v,k}$

O objetivo deste item é verificar a existência de relação linear entre as variáveis e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras para madeira verde, $f_{v,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A tensão resistente ao cisalhamento paralelo às fibras é a variável utilizada para a verificação de elementos estruturais submetidos à flexão simples com carregamento perpendicular ao eixo da peça. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).



A tendência linear da relação entre as variáveis é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.9, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.9, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0380$; $p = 0,876 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,88$; $p = 0,312 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0517 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(240; 1) = 1272,35$; $p = 6,71.10^{-98} \leq 0,05$; $R^2 = 0,841$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{v,k}$ ($t = 35,67$; $p = 6,71.10^{-98} \leq 0,05$)

juntamente com o intercepto ($t = -2,32$; $p = 0,021 \leq 0,05$). A equação da reta do modelo ($f_{v,k} = 16,8585D_b - 0,6970$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{v,k}$ varia 16,86 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 84,1\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.9, abaixo.

Tabela 3.9 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo – $f_{v,k}$ x D_b (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9172	0.8413	1272.0348	1	240	6.71e-98

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	1684.1507	1	1684.1507	1272.0348	6.71e-98	
Resíduos	317.7556	240	1.3240			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estadística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9891	0.0651		0.0602	1.8770	0.312
Kolmogorov-Smirnov	0.0380	0.876				
Anderson-Darling	0.4654	0.251				

Coeficientes do Modelo - $f_{v,k}$					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-0.6970	0.3002	-2.3215	0.0211	0.0043	0.0017	0.0064	0.0000	0.0517
Db	16.8585	0.4727	35.6656	6.71e-98					

Assim, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, $f_{v,k}$ em função da densidade básica, para madeira verde, é dada pela Função (3.4), abaixo:

$$f_{v,k} = 16,8585D_b - 0,6970 \quad (3.4)$$

Onde:

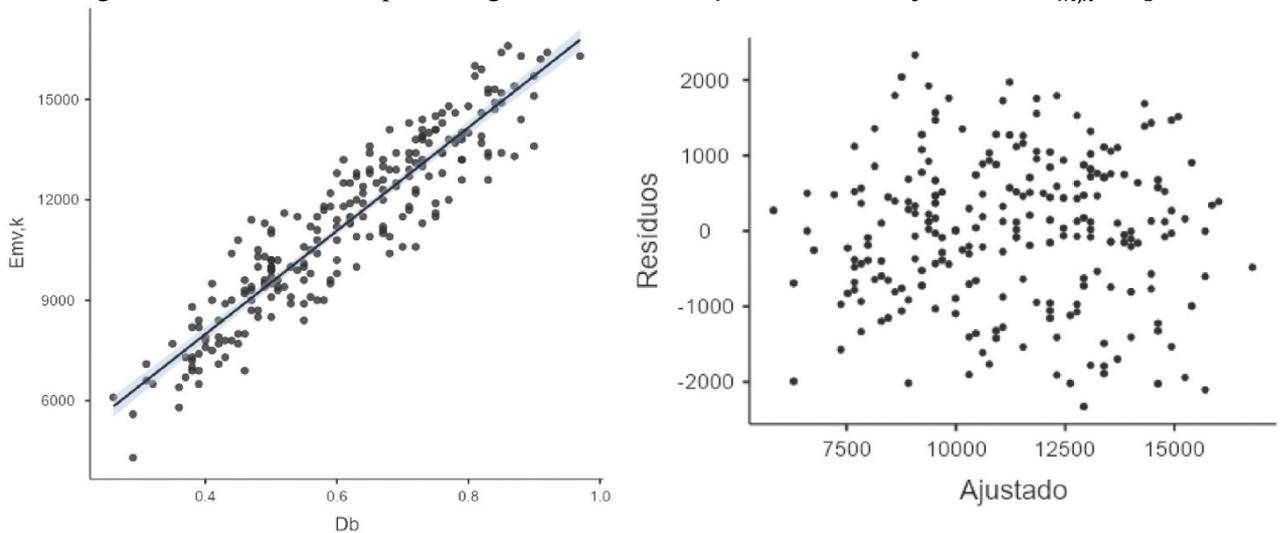
- $f_{v,k}$: Tensão resistente ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira verde (MPa)
- D_b : Densidade Básica (g/cm³).

3.3.7 Modelo Para o Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde – $E_{m,k}$

O objetivo deste item é verificar a existência de relação linear entre as variáveis e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever o módulo de elasticidade à flexão na fase elástica linear para madeira verde, $E_{m,k}$ (variável dependente),

utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). O módulo de elasticidade determinado com ensaio à flexão, com carga concentrada central, é mais adequado porque considera os efeitos de deformação por tensões de cisalhamento e tensões normais de flexão na seção transversal. O Módulo de Elasticidade é utilizado na avaliação de deslocamentos e vibração em elementos estruturais, sendo importante para estudos de arqueamento de peças de madeira e, também, para a comparação entre espécies. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).

Figura 3.10 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados – $E_{m,k} \times D_b$



A tendência linear da relação entre as variáveis é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.10, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.10, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0505$; $p = 0,586 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,91$; $p = 0,428 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,050 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(233; 1) = 1439,12$; $p = 1,09 \cdot 10^{-101} \leq 0,05$; $R^2 = 0,861$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $E_{m,k}$ ($t = 37,94$; $p = 1,09 \cdot 10^{-101} \leq 0,05$) juntamente com o intercepto ($t = 7,08$; $p = 1,73 \cdot 10^{-11} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo

($E_{m,k} = 15.428,8644D_b + 1.817,4620$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $E_{m,k}$ varia 15.428,86 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 86,1\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.10, abaixo.

Tabela 3.10 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira verde – $E_{m,k} \times D_b$ (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9277	0.8607	1439.1156	1	233	1.09e-101

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	1348931694.3118	1	1348931694.3118	1439.1156	1.09e-101	
Resíduos	218398773.7733	233	937333.7930			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estadística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9903	0.119		0.0466	1.9053	0.428
Kolmogorov-Smirnov	0.0505	0.586				
Anderson-Darling	0.5278	0.176				

Coeficientes do Modelo - Emv,k					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	1817.4620	256.8617	7.0756	1.73e -11	0.0042	0.0021	0.0067	0.0000	0.0500
Db	15428.8644	406.7112	37.9357	1.09e-101					

Assim, o módulo de elasticidade à flexão na fase elástica linear para madeira verde, $E_{m,k}$ em função da densidade básica, para madeira verde, é dada pela Função (3.5), abaixo:

$$E_{m,k} = 15.428,8644D_b + 1.817,4620 \quad (3.5)$$

Onde:

$E_{m,k}$: Módulo de elasticidade à flexão na fase elástica linear para madeira verde (MPa)

D_b : Densidade Básica (g/cm^3).

A Tabela 3.11, abaixo, apresenta em uma síntese as funções de regressão linear entre as propriedades físicas e mecânicas para madeira tropical na condição verde (saturada em água), tendo como variável independente a densidade básica D_b .

Tabela 3.11 Modelos de Resistência Para Madeira Tropical na Condição Verde (Saturado em Água) – Variável Independente D_b (Fonte: do autor)

Propriedade Mecânica (Mpa)	Condição da Madeira	Função da Correlação (MPa)	R^2	Número de amostras
MOE ($E_{m,k}$)	Verde	$E_{m,k} = 15.428,8644D_b + 1.817,4620$	0,861	233
MOR ($f_{m,k}$)	Verde	$f_{m,k} = 166,0025D_b - 21,7285$	0,932	245
CPA ($f_{c0,k}$)	Verde	$f_{c0,k} = 81,6548D_b - 11,3263$	0,928	232
CPE ($f_{c90,k}$)	Verde	$f_{c90,k} = 20,7157D_b - 5,9486$	0,833	232
CIS ($f_{v,k}$)	Verde	$f_{v,k} = 16,8585D_b - 0,6970$	0,841	240

3.4 Modelos de Resistência Para Madeira Seca

Neste item serão estabelecidos novos modelos de resistência para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%). As referências e discussões serão tomadas a partir das correlações entre as propriedades físicas e mecânicas para madeira tropical na condição seca, tendo como variável independente a densidade aparente D_{ap} , estabelecidas por Bessa (Bessa, 2018). No trabalho de Bessa (2018) as funções de correlação foram obtidas inicialmente por uma regressão linear entre as propriedades mecânicas, tomando-se a densidade aparente como variável explicativa. Obtidas as equações como função da densidade aparente, foi elaborada uma segunda regressão linear obtendo-se a correlação de $D_{ap} = f(D_b)$. Utilizando-se uma função composta e a correlação muito forte entre D_{ap} e D_b , além da linearidade e independência entre essas duas variáveis, Bessa (2018) propõe funções de resistência a partir da densidade básica para madeira seca. Contudo, ao se utilizar a função composta e realizar duas regressões para se obter indiretamente os modelos de resistência a partir da densidade básica, pode haver acúmulo de *erros tipo-I* na análise da hipótese nula (H_0), quando se executa a regressão linear. Assim, com esse procedimento, para cada regressão há uma probabilidade de 5% (significância $\alpha = 0,05$ e confiança de 95%) de rejeitar a hipótese nula (H_0), mesmo ela sendo verdadeira, em favor da hipótese alternativa (H_1), podendo-se chegar a um erro acumulado ligeiramente acima de 10%, uma vez que são feitas duas regressões. Além disso, conforme já foi dito, a densidade aparente é a densidade mais difícil de se obter, pela necessidade de condicionar a madeira em ambiente climatizado, sendo muitas vezes necessário corrigir os valores obtidos, em virtude da variação no teor de umidade que normalmente ocorre durante o ensaio. Na correção do teor de umidade de D_{ap} há possibilidade de se incorrer em mais erros. Nesse sentido, nesta Tese serão propostas novas funções de correlação para propriedades físicas e mecânicas, agora adotando-se

diretamente a densidade básica como variável independente preditora nos modelos de regressão linear simples e, assim, diminuir a possibilidade de erros acumulados.

A modulação estatística inferencial e os testes de hipóteses mais adequados já foram estabelecidos anteriormente no item 3.3, deste trabalho. Nesta fase já é possível classificar todas as variáveis como quantitativas decimais e não pareadas. A análise estatística será paramétrica, uma vez que existe uma única variável independente quantitativa contínua e a variável dependente também quantitativa contínua. Assim, caso a distribuição dos resíduos se ajuste a uma distribuição normal serão estabelecidos modelos matemáticos buscando-se a relação entre as variáveis por uma regressão linear simples.

3.4.1 Estatística Descritiva Para Madeira Seca

O Banco de Dados Experimentais de Madeiras Tropicais do LPF apresenta as espécies identificadas pelo nome científico e popular e as seguintes propriedades para cada uma das espécies caracterizadas para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%):

- $MOE_s (E_{m,k})$: Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca
- $MOR_s (f_{m,k})$: Tensão de ruptura à flexão para madeira seca
- $CPA_s (f_{c0,k})$: Tensão de ruptura a compressão paralela às fibras para madeira seca
- $CPE_s (f_{c90,k})$: Tensão de ruptura a compressão perpendicular às fibras para madeira seca
- $CIS_s (f_{v,k})$: Tensão de ruptura longitudinal ao cisalhamento para madeira seca
- $TPER_s (f_{t90,k})$: Tensão de ruptura à tração perpendicular às fibras para madeira seca
- $FEND_s$: Resistência ao fendilhamento para madeira seca
- D_b : Densidade básica
- D_{ap} : Densidade aparente (teor de umidade a 12%)
- D_v : Densidade verde (saturado em água)
- CT : Contração tangencial
- CR : Contração radial
- CV : Contração volumétrica
- DE_s : Dureza Janka paralela às fibras para madeira seca
- DF_s : Dureza Janka perpendicular às fibras para madeira seca.

A estatística descritiva para as amostras de madeira seca foi elaborada com o software jamovi e apresenta informações importantes para o pesquisador que desejar estudar madeiras tropicais. A estatística traz medidas de tendência central importantes para delineamentos experimentais e amostrais: o número de observações, a média, o erro-padrão da média, a variância e o desvio padrão. Outros valores de tendência central como a mediana e a moda, intervalos de confiança da média, valores percentílicos, amplitude e curtose, foram determinados para a amostra na condição seca, mas não constam da Tabela 3.12, por simplificação.

Tabela 3.12 Estatística Descritiva Para Madeira Seca (teor de umidade 12%)

Estatística Descritiva							
	N	Média	Erro-padrão	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo
Db	258	0.6188	0.0096	0.1544	0.0238	0.2600	1.0100
Dap	258	0.7794	0.0125	0.2003	0.0401	0.3100	1.2800
CPAs	237	62.5177	1.1740	18.0731	326.6373	22.6000	110.9000
MORs	251	116.7546	2.2646	35.8781	1287.2409	31.2000	192.3000
CPEs	246	10.2077	0.3026	4.7463	22.5277	1.9000	27.5000
CISs	246	12.8130	0.2563	4.0196	16.1574	3.8000	23.6000
MOEs	252	13143.2540	180.5181	2865.6355	8211866.6603	4500.0000	19300.0000
TPERs	248	4.1270	0.0752	1.1844	1.4029	1.4000	9.0000
FENDs	184	570.1087	10.9457	148.4749	22044.7969	230.0000	1030.0000
DEs	242	8691.5702	251.0847	3905.9614	15256534.4536	2120.0000	18990.0000
DFs	241	7368.8133	254.3477	3948.5385	15590956.5692	1120.0000	19080.0000
CT/CR	257	1.8564	0.0231	0.3702	0.1371	1.1000	3.2000
CT	257	8.4615	0.1053	1.6876	2.8479	4.5000	13.0000
CR	257	4.6984	0.0742	1.1899	1.4159	2.2000	9.1000
CV	258	12.9810	0.1580	2.5380	6.4414	6.6000	20.8000

Unidades: densidade (g/cm³), tensão (MPa), rigidez (MPa), fendilhamento (N/cm), dureza (N), contração (%).

3.4.2 Análise do Relacionamento Entre as Variáveis Para Madeira Seca

A existência do relacionamento entre as variáveis e a sua intensidade serão medidas pela Matriz de Correlação de Pearson. As propriedades físicas e mecânicas, além de outras propriedades importantes para o projeto de estruturas, foram estudadas pelo LPF para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%). Nesta análise do relacionamento a busca pela relação entre duas variáveis quantitativas ocorre sem a definição de qual é independente ou dependente, sendo que as premissas para que a análise seja paramétrica, são: a independência das observações, a normalidade das distribuições e a linearidade. A independência de todas as variáveis foi atestada quando se descreveu e se analisou a aleatoriedade do sistema de amostragem utilizado, no item 3.2. A normalidade e a linearidade serão verificadas quando forem estabelecidos os modelos matemáticos pela regressão linear, nos itens seguintes.

A estatística paramétrica da matriz de correlação de Pearson para madeira seca é apresentada na, acima, na Tabela 3.13, após a verificação dos pressupostos. Para análise de hipóteses ($\alpha = 5\%$, com confiança de 95%) o software jamovi admite a hipótese nula: $H_0 = \text{não há correlação}$; e a hipótese alternativa: $H_1 = \text{há correlação}$. Dessa forma, como na análise paramétrica da Tabela 3.13 todos os $p \ll 0,05$, rejeita-se a hipótese nula (*não há correlação*) em favor da hipótese

alternativa (*há correlação*). Portanto, é possível afirmar que, para todas as variáveis analisadas, as correlações entre elas são positivas e estatisticamente significantes.

Tabela 3.13 Matriz de Correlação de Pearson Para Madeira Seca (teor de umidade de 12%)

Correlação		Db	Dap	Dv	CPAs	MORs	CPEs	CISs	MOEs	TPERs	FENDs
Db	R de Pearson	—	0.979	0.809	0.943	0.938	0.922	0.848	0.885	0.572	0.689
	p-valor	—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
Dap	R de Pearson	0.979	—	0.790	0.941	0.934	0.897	0.841	0.891	0.554	0.674
	p-valor	< .001	—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
Dv	R de Pearson	0.809	0.790	—	0.750	0.752	0.758	0.681	0.727	0.395	0.534
	p-valor	< .001	< .001	—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
CPAs	R de Pearson	0.943	0.941	0.750	—	0.959	0.907	0.835	0.908	0.551	0.710
	p-valor	< .001	< .001	< .001	—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
MORs	R de Pearson	0.938	0.934	0.752	0.959	—	0.900	0.850	0.936	0.547	0.693
	p-valor	< .001	< .001	< .001	< .001	—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
CPEs	R de Pearson	0.922	0.897	0.758	0.907	0.900	—	0.826	0.799	0.508	0.609
	p-valor	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—	< .001	< .001	< .001	< .001
CISs	R de Pearson	0.848	0.841	0.681	0.835	0.850	0.826	—	0.825	0.558	0.671
	p-valor	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—	< .001	< .001	< .001
MOEs	R de Pearson	0.885	0.891	0.727	0.908	0.936	0.799	0.825	—	0.497	0.681
	p-valor	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—	< .001	< .001
TPERs	R de Pearson	0.572	0.554	0.395	0.551	0.547	0.508	0.558	0.497	—	0.746
	p-valor	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—	< .001
FENDs	R de Pearson	0.689	0.674	0.534	0.710	0.693	0.609	0.671	0.681	0.746	—
	p-valor	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—

A análise da Matriz de Correlação de Pearson será feita a partir da classificação de intensidade de correlações estabelecidas por Shimakura (Shimakura, 2006). Pela Tabela 3.13, verifica-se que existem correlações fortes e muito fortes, principalmente entre a densidade básica (D_b), a densidade aparente (D_{ap}), a resistência a compressão paralela às fibras para madeira seca ($f_{c0,k}$), o módulo de elasticidade à flexão para madeira seca ($E_{m,k}$) e as demais propriedades mecânicas, também para madeira na condição seca. Dessa forma, tanto as densidades, quanto a resistência a compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade, poderiam ser adotados como variáveis independentes nos modelos de regressão linear (variáveis preditoras).

A densidade aparente é a densidade mais difícil de se obter, em virtude da necessidade de se condicionar a madeira em ambiente climatizado, sendo, portanto, um processo demorado. Além

disso, muitas vezes ser necessário corrigir os valores obtidos, devido à variação que normalmente ocorre, durante o ensaio, em torno do valor desejado de 12%.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade à flexão exige mão de obra e equipamentos especializados, em virtude da dificuldade de se confeccionar os corpos de prova. A literatura, geralmente, coloca o módulo de elasticidade como a propriedade que apresentaria a maior correlação com outras propriedades da madeira, sendo sugerida como variável preditora em modelos de regressão (Noack, 1970) (Borgström, 2016). Por outro lado, conforme pode ser constatado na Tabela 3.13, os coeficientes de correlação de Pearson mostram que o módulo de elasticidade não é a propriedade com relação mais forte em relação às outras propriedades.

O ensaio de compressão paralela às fibras exige conhecimento e especialização para retirada do corpo de prova, além de exigir prensas de alta capacidade para os ensaios de madeiras de densidade alta, especialmente para madeira seca. Por outro lado, a NBR 7190 desde a sua versão de 1997 e, também, na atual edição publicada em 2022, apresenta correlações simples a partir do $f_{c0,k}$ para estimar as demais propriedades de resistência da madeira. Assim, nesta Tese serão elaborados modelos de regressão linear para madeira seca, tendo o $f_{c0,k}$ como variável independente preditora, com o intuito de se confrontar as correlações apresentadas pela Norma Brasileira.

A densidade básica (D_b), por outro lado, é muito simples de ser determinada: o corpo de prova é pequeno, fácil de ser confeccionado, o ensaio é simples e bem mais preciso em termos de condições de umidade. Além disso, não exige mão de obra especializada, equipamentos sofisticados e caros (apenas estufa e balança) e com ela ainda é possível estimar a densidade aparente. A densidade básica da madeira, conforme a Tabela 3.13 da Matriz de Pearson, apresenta os maiores coeficientes de correlação (r) com todas as demais propriedades mecânicas e físicas de madeira na condição seca. Nesse sentido, a escolha da variável explicativa para o modelo de regressão linear, para estimação de propriedades físicas e mecânicas para madeira seca, também recairá na densidade básica pela facilidade de sua obtenção experimental, além de ser a propriedade com correlações mais fortes com todas as demais propriedades.

Outra recomendação, conforme item 2.6.6 sobre os modelos de regressão linear, é utilização de apenas uma variável preditora quantitativa, em virtude da forte correlação existente entre as variáveis, em virtude da possibilidade de multicolinearidade (Bonvino, et al., 2008) (Carvalho, et al., 2015) (Barreto, 2011) (Morais, 2005) (Alves, 2021a) (Raposo, 2020) (Honório, 2022).

Alguns autores preferem considerar que a força da correlação entre as variáveis é contínua e não discreta, conforme mostra a Tabela 3.13. A continuidade é mostrada, normalmente, em uma distribuição contínua em tons de cores para as correlações de Pearson, conforme a Figura 3.11.



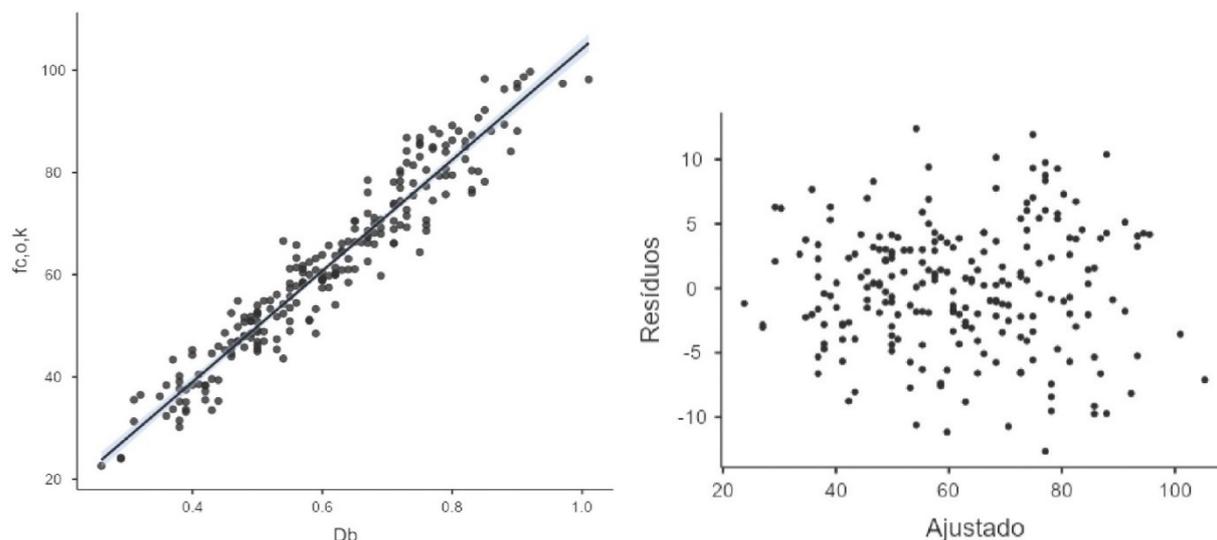
Figura 3.11 Matriz de correlação de Pearson com a consideração contínua da força de variáveis, em tons de verde) para madeira seca (teor de umidade de 12%)

3.4.3 Modelo de Resistência Para Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Seca – $f_{c0,k}$

O objetivo deste item é verificar a relação linear e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência a compressão paralela às fibras para madeira tropical seca, $f_{c0,k}$ como variável dependente, utilizando a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A resistência a compressão paralela às fibras de madeira seca é a variável para dimensionamento de elementos estruturais axialmente comprimidos, e solicitados a flexocompressão, normalmente, presentes em: barras de treliças, estroncas, pilares. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade da relação entre as variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será

utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).

Figura 3.12 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para madeira seca – $f_{c0,k} \times D_b$



A tendência linear da relação é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.12, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.12, não mostra nenhuma tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0303$; $p = 0,987 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,83$; $p = 0,200 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0412 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(221; 1) = 2723,04$; $p = 3,04 \cdot 10^{-126} \leq 0,05$; $R^2 = 0,925$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{c0,k}$ ($t = 52,18$; $p = 3,04 \cdot 10^{-126} \leq 0,05$) juntamente com o interceptor ($t = -3,43$; $p = 7,12 \cdot 10^{-4} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo ($f_{c0,k} = 108,7063D_b - 4,4872$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{c0,k}$ varia 108,71) para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 92,5\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.14, abaixo.

Tabela 3.14 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $f_{c0,k}$ x D_b (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9617	0.9249	2723.0402	1	221	3.042e-126

Teste ANOVA omnibus					
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Db	62589.5600	1	62589.5600	2723.0402	3.042e-126
Resíduos	5079.7240	221	22.9852		

Normality Tests			Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p	Autocorrelação	Estadística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9968	0.9286	0.0812	1.8274	0.2000
Kolmogorov-Smirnov	0.0303	0.9865			
Anderson-Darling	0.1733	0.9267			

Coeficientes do Modelo - $f_{c0,k}$					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Amplitude				
					Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Intercepto	-4.4872	1.3070	-3.4333	7.118e -4	0.0047	0.0017	0.0070	0.0000	0.0412
Db	108.7063	2.0832	52.1828	3.042e-126					

Assim, a tensão resistente a compressão paralela às fibras para madeira seca, $f_{c0,k}$ em função da densidade básica é dada pela Função (3.6), abaixo:

$$f_{c0,k} = 108,7063D_b - 4,4872 \quad (3.6)$$

Onde:

$f_{c0,k}$: Tensão resistente nominal de compressão paralela às fibras para madeira seca (MPa)

D_b : Densidade Básica (g/cm³).

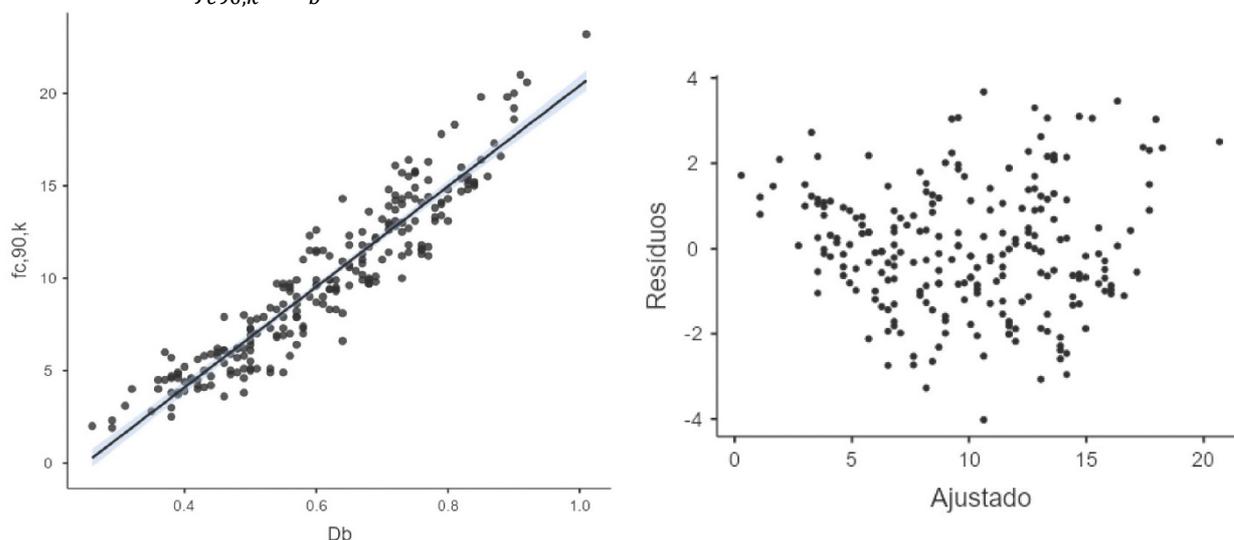
➤

3.4.4 Modelo de Resistência Para Compressão Perpendicular às Fibras Para Madeira Seca – $f_{c90,k}$

O objetivo deste item é verificar a relação linear e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência a compressão perpendicular às fibras da madeira seca, $f_{c90,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A tensão resistente a compressão perpendicular às fibras da madeira é a variável utilizada para a verificação do efeito de cargas localizadas em peças como apoios de vigas, nós de treliças, dormentes de linhas férreas, além de outros. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das

observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022).

Figura 3.13 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para madeira seca – $f_{c90,k} \times D_b$



A tendência linear da relação é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.13, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.14, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro. Os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0399$; $p = 0,853 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,81$; $p = 0,118 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0538 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(230; 1) = 1807,22$; $p = 6,39 \cdot 10^{-111} \leq 0,05$; $R^2 = 0,887$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{c90,k}$ ($t = 42,51$; $p = 6,39 \cdot 10^{-111} \leq 0,05$) juntamente com o interceptor ($t = -16,84$; $p = 5,26 \cdot 10^{-42} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo que prevê a resistência perpendicular às fibras ($f_{c90,k} = 27,2171D_b - 6,7987$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{c90,k}$ varia 27,2 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 88,7\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.15, abaixo.

Tabela 3.15 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $f_{c90,k}$ x D_b (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9419	0.8871	1807.2151	1	230	6.39e-111

Teste ANOVA omnibus					
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Db	3896.6797	1	3896.6797	1807.2151	6.39e-111
Resíduos	495.9212	230	2.1562		

Normality Tests			
	Statistic	p	
Shapiro-Wilk	0.9944	0.551	
Kolmogorov-Smirnov	0.0399	0.853	
Anderson-Darling	0.3269	0.518	

Coeficientes do Modelo - $f_{c,90,k}$				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p
Intercepto	-6.7987	0.4037	-16.8416	5.26e -42
Db	27.2171	0.6402	42.5114	6.39e-111

Distância de Cook					
	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
				Min	Max
	0.0045	0.0018	0.0075	0.0000	0.0538

Assim, a tensão resistente a compressão paralela às fibras da madeira, $f_{c90,k}$ em função da densidade básica, para madeira seca, é dada pela Função (3.7), abaixo:

$$f_{c90,k} = 27,2171D_b - 6,7987 \quad (3.7)$$

Onde:

$f_{c90,k}$: Tensão resistente nominal de compressão paralela às fibras para madeira seca (MPa)

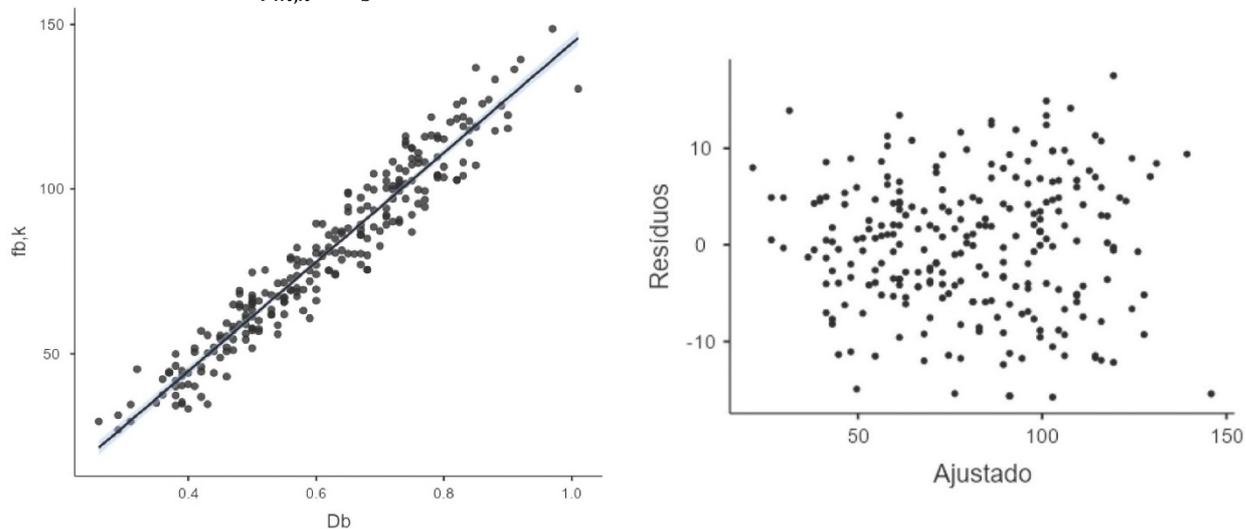
D_b : Densidade Básica (g/cm³).

3.4.5 Modelo de Resistência Para Ruptura Por Flexão de Madeira Seca – $f_{m,k}$

O objetivo deste item é verificar a existência de relação linear entre as variáveis e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência à ruptura por flexão de madeira seca, $f_{m,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A tensão resistente de ruptura por flexão é a variável utilizada para a verificação de elementos estruturais submetidos à flexão simples, flexotração e flexocompressão, além de outros. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis,

normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022), conforme a abaixo.

Figura 3.14 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para madeira seca – $f_{m,k} \times D_b$



A tendência linear da relação é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.15, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.15, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, indicando variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro no domínio da função de regressão. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0374$; $p = 0,890 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,82$; $p = 0,138 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0515 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(238; 1) = 2407,46$; $p = 1,86.10^{-126} \leq 0,05$; $R^2 = 0,910$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{m,k}$ ($t = 49,07$; $p = 1,86.10^{-126} \leq 0,05$) juntamente com o interceptor ($t = -6,50$; $p = 4,70.10^{-10} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo ($f_{m,k} = 219,4705D_b - 18,5034$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{m,k}$ varia 219,47 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 91,0\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.16, abaixo.

Tabela 3.16 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $f_{m,k}$ x D_b (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9654	0.9319	3354.2529	1	245	5.74e-145

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	161292.5887	1	161292.5887	3354.2529	5.74e-145	
Resíduos	11781.0688	245	48.0860			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9923	0.225		-0.0139	2.0022	0.982
Kolmogorov-Smirnov	0.0362	0.902				
Anderson-Darling	0.3721	0.418				

Coeficientes do Modelo - fb,k					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-21.7285	1.8155	-11.9683	2.68e -26	0.0044	0.0018	0.0077	0.0000	0.0812
Db	166.0025	2.8663	57.9159	5.74e-145					

Assim, a tensão resistente de ruptura por flexão de madeira a variável, $f_{m,k}$ em função da densidade básica, para madeira seca, é dada pela Função (3.8), abaixo:

$$f_{m,k} = 219,4705D_b - 18,5034 \quad (3.8)$$

Onde:

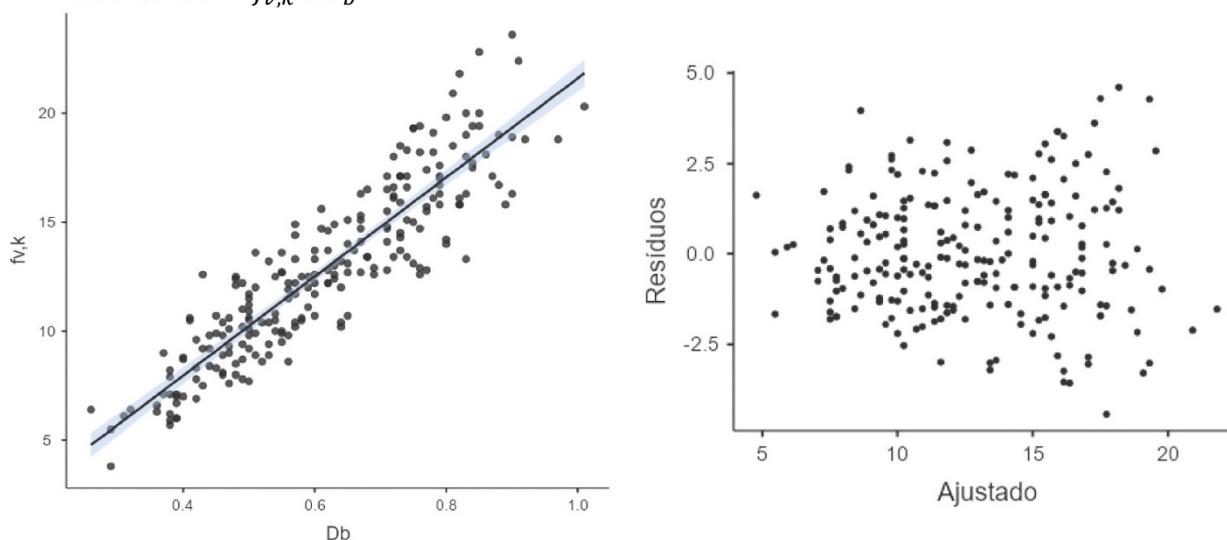
- $f_{m,k}$: Tensão resistente nominal para ruptura por flexão de madeira seca (MPa)
- D_b : Densidade Básica (g/cm³).

3.4.6 Modelo de Resistência Para Cisalhamento Paralelo às Fibras Para Madeira Seca – $f_{v,k}$

O objetivo deste item é verificar a existência de relação linear entre as variáveis e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras para madeira seca, $f_{v,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). A tensão resistente ao cisalhamento paralelo às fibras é a variável utilizada para a verificação das tensões de cisalhamento em elementos estruturais submetidos à flexão simples e composta com carregamento perpendicular

ao eixo da peça. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.16, 2022), conforme abaixo.

Figura 3.15 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para madeira seca – $f_{v,k} \times D_b$



A tendência linear da relação entre as variáveis é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.16 Figura 3.9, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.16, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, indicando variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro em todo o domínio da função de regressão linear. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0628$; $p = 0,341 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,22$; $p = 0,138 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,0628 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(222; 1) = 986,17$; $p = 1,26 \cdot 10^{-83} \leq 0,05$; $R^2 = 0,816$, e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o $f_{v,k}$ ($t = 31,40$; $p = 1,26 \cdot 10^{-83} \leq 0,05$) juntamente com o interceptor ($t = -2,47$; $p = 0,0142 \leq 0,05$). A equação da reta do modelo de regressão ($f_{v,k} = 22,7318D_b - 1,1333$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $f_{v,k}$ varia 22,73 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 81,6\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.17, abaixo.

Tabela 3.17 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $f_{v,k}$ x D_b (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9035	0.8163	986.1738	1	222	1.26e-83

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	2871.8576	1	2871.8576	986.1738	1.26e-83	
Resíduos	646.4909	222	2.9121			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9918	0.246		-0.1119	2.2162	0.138
Kolmogorov-Smirnov	0.0628	0.341				
Anderson-Darling	0.6149	0.108				

Coeficientes do Modelo - $f_{v,k}$					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-1.1333	0.4583	-2.4727	0.0142	0.0049	0.0017	0.0086	0.0000	0.0628
Db	22.7318	0.7239	31.4034	1.26e-83					

Assim, a tensão resistente de ruptura por flexão de madeira a variável, $f_{b,k}$ em função da densidade básica, para madeira seca, é dada pela Função (3.9), abaixo:

$$f_{v,k} = 22,7318D_b - 1,1333 \quad (3.9)$$

Onde:

$f_{b,k}$: Tensão resistente nominal ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira verde (MPa)

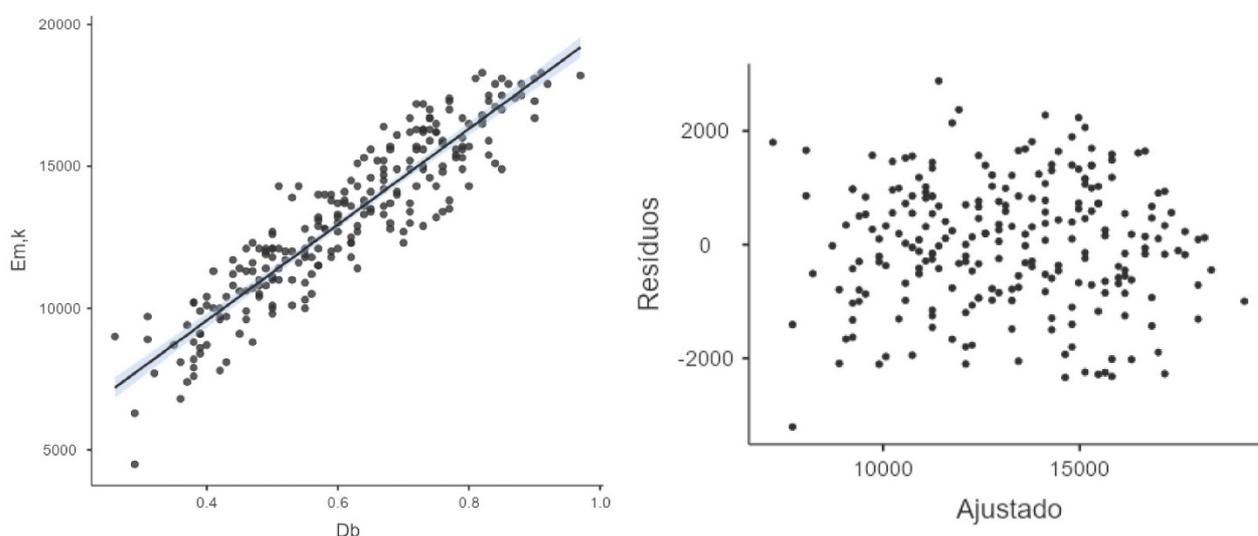
D_b : Densidade Básica (g/cm³).

3.4.7 Modelo Para o Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde – $E_{m,k}$

O objetivo deste item é verificar a existência de relação linear entre as variáveis e, com uma análise estatística paramétrica, estabelecer um modelo matemático capaz de descrever o módulo de elasticidade à flexão na fase elástica para madeira seca, $E_{m,k}$ (variável dependente), utilizando-se a densidade básica (D_b) como variável independente (variável explicativa). O módulo de elasticidade determinado com ensaio à flexão, com carga concentrada central, é mais adequado porque considera

os efeitos de deformação por tensões de cisalhamento e tensões normais de flexão na seção transversal. O Módulo de Elasticidade é utilizado na avaliação de deslocamentos e vibração em elementos estruturais, sendo importante para estudos de arqueamento de peças de madeira e, também, para a comparação entre espécies. Os pressupostos a serem obedecidos para que a análise estatística paramétrica possa ser realizada, são: Independência das observações, linearidade das variáveis, normalidade da distribuição dos resíduos, homocedasticidade das variâncias no domínio da função de regressão e independência dos resíduos. Para a modulação estatística será utilizado o software jamovi (versão 2.3.17, 2022).

Figura 3.16 Gráfico de dispersão e gráfico de distribuição de resíduos ajustados para madeira seca – $E_{m,k} \times D_b$



A tendência linear da relação entre as variáveis é positiva e pode ser observada no gráfico de dispersão da Figura 3.16, acima. O gráfico de resíduos ajustados, da mesma Figura 3.16, não mostra tendência ou padrão e há uma distribuição aleatória dos termos de erros, tanto para cima, quanto para baixa da linha de resíduos nulos, o que indica variância constante, ou homocedasticidade da distribuição dos termos de erro no domínio da função de regressão. Os resíduos do modelo: se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,0362$; $p = 0,916 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,98$; $p = 0,852 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,100 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global foi estatisticamente significativo ($F(234; 1) = 1270,78$; $p = 1,54 \cdot 10^{-96} \leq 0,05$; $R^2 = 0,845$), e mostrou que a densidade básica D_b é capaz de prever o módulo de elasticidade para madeira seca $E_{m,k}$ ($t = 35,65$; $p = 1,54 \cdot 10^{-96} \leq 0,05$), juntamente com o interceptor ($t = 9,38$; $p = 6,10 \cdot 10^{-18} \leq 0,05$). A equação da reta do modelo para o módulo

de elasticidade ($E_{m,k} = 16.892,6685D_b + 2.807,9183$), não tem sentido físico para $D_b = 0$, mas o $E_{m,k}$ varia 16.892,67 para cada unidade de variação de D_b . O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar os valores observados, foi de $R^2 = 84,5\%$, conforme pode ser verificado na Tabela 3.18, abaixo.

Tabela 3.18 Medidas de ajustamento do modelo, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento do modelo para madeira seca – $E_{m,k}$ x D_b (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo						
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global			
			F	gl1	gl2	p
1	0.9190	0.8445	1270.7833	1	234	1.54e-96

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Db	1582791212.4423	1	1582791212.4423	1270.7833	1.54e-96	
Resíduos	291452643.4899	234	1245524.1175			

Normality Tests			Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9922	0.247	0.0031	1.9793	0.852
Kolmogorov-Smirnov	0.0362	0.916			
Anderson-Darling	0.4318	0.303			

Coeficientes do Modelo - Em,k					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	2807.9183	299.4543	9.3768	6.10e-18	0.0045	0.0017	0.0085	0.0000	0.0997
Db	16892.6685	473.8736	35.6480	1.54e-96					

Assim, o módulo de elasticidade à flexão na fase elástica linear para madeira seca, $E_{m,k}$ em função da densidade básica é dada pela Função (3.10), abaixo:

$$E_{m,k} = 16.892,6685D_b + 2.807,9183 \quad (3.10)$$

Onde:

$E_{m,k}$: Módulo de elasticidade à flexão na fase elástica linear para madeira seca (MPa)

D_b : Densidade Básica (g/cm³).

A Tabela 3.19, abaixo, apresenta em uma síntese as funções de correlação entre as propriedades físicas e mecânicas para madeira tropical na condição Seca (teor de umidade de 12%), tendo como variável independente a densidade básica D_b .

Tabela 3.19 Modelos de Resistência Para Madeira Tropical na Condição Seca (teor de umidade de 12%) – Variável Independente D_b (Fonte: do autor)

Propriedade Mecânica (MPa)	Condição da Madeira	Função da Correlação (MPa)	R^2	Número de amostras
MOE ($E_{m,k}$)	Seca	$E_{m,k} = 16.892,6685D_b + 2.807,9183$	0,845	234
MOR ($f_{m,k}$)	Seca	$f_{m,k} = 219,4705D_b - 18,5034$	0,910	238
CPA ($f_{c0,k}$)	Seca	$f_{c0,k} = 108,7063D_b - 4,4872$	0,925	232
CPE ($f_{c90,k}$)	Seca	$f_{c90,k} = 27,2171D_b - 6,7987$	0,887	221
CIS ($f_{v,k}$)	Seca	$f_{v,k} = 22,7318D_b - 1,1333$	0,816	222

3.5 Teste de Generalização do Modelo Com Amostras Externas de Madeiras Tropicais de Outros Continentes

Este item apresenta um estudo que avalia se os modelos de resistência de madeira tropical propostos na Tese, podem ser considerados generalizáveis. O procedimento, portanto, é verificar se há a concordância entre uma amostra experimental externa e a amostra obtida com a utilização do modelo matemático de resistência utilizando a densidade básica. Dessa forma, propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais de outros continentes, obtidas a partir de ensaios experimentais, são comparadas com as mesmas propriedades estimadas com os modelos de resistência proposto nesta Tese, para madeira nas condições de umidade verde e seca. O teste de generalização tem por objetivo validar os modelos matemáticos de resistência quanto a capacidade de estimar toda a população e a partir disso permitir fazer inferências sobre a resistência de quaisquer indivíduos de florestas tropicais de qualquer Continente. A metodologia para verificar a generalização do modelo está descrita no item 2.6.8 deste trabalho.

Para generalizar o modelo de regressão e então poder fazer inferências sobre toda a população, será feita uma *validação cruzada* a partir de amostras externas, portanto diferente da amostra utilizada para a obtenção da função de regressão. Nesta Tese a validação cruzada será feita com testes de concordância entre amostras experimentais e as correspondentes amostras estimadas pelo modelo matemático, tanto para madeira tropical na condição verde, quanto na condição seca. A amostra externa foi obtida na literatura e faz parte de catálogo elaborado pelo Laboratório de Produtos Florestais dos Estados Unidos: *Tropical Timbers of the World* (Chudnoff, 1981, 1984). O catálogo é resultado de campanhas experimentais feitas a longo de mais de duas décadas, especialmente na França, Inglaterra e nos Estados Unidos, em diferentes instituições, onde foram caracterizadas 296 espécies de madeiras tropicais da América Espanhola (105 espécies), África (107 espécies), Ásia e

Oceania (84 espécies). Dessa forma, em virtude de os dados originais serem provenientes de diversos países, algumas vezes com normas e métodos de ensaios diferentes, o Laboratório de Produtos Florestais Americano fez uma padronização e uniformização para compor o banco de dados em referência. O *Tropical Timbers of the World* é utilizado, tanto na Europa, como nos Estados Unidos, como referência para projetos de estruturas de madeiras tropicais provenientes da América do Sul e Central, da África e Ásia.

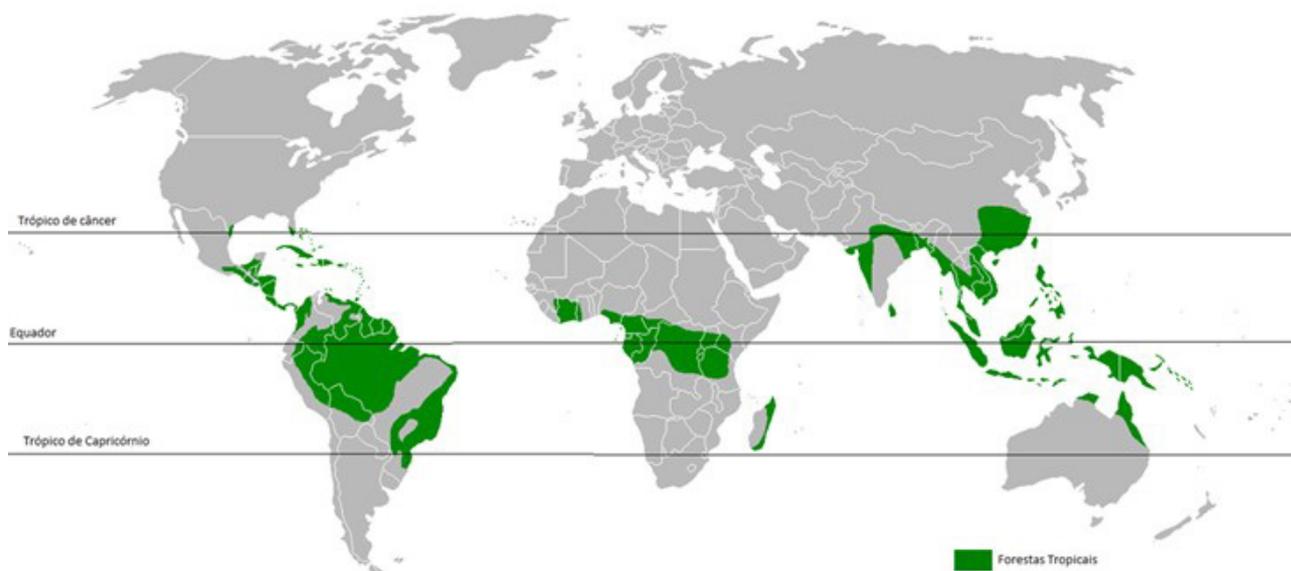


Figura 3.17: Mapa com a distribuição de madeiras tropicais no mundo.

Na Tese o teste de *Bland-Altman*, conforme descrito no item 2.6.8, será utilizado para a *validação cruzada* dos modelos matemáticos de resistência. Para a verificação da concordância estatística entre modelos com o *Teste de Bland-Altman* a base de dados foi separada em três regiões tropicais: América Espanhola, África e Ásia/Oceania, conforme destacado no mapa da Figura 3.17. Além disso, o Banco de Dados *Tropical Timbers of the World*, originalmente em formato “pdf”, foi conferido, uniformizado e digitalizado conforme a divisão dos continentes acima (APÊNDICES B1, B2 e B3). Além disso, após a verificação da concordância entre os modelos experimental e matemático proposto, para as espécies em que no Banco de Dados não constava, eventualmente, algum resultado experimental, utilizou-se os modelos matemáticos de resistência propostos para completar as informações do Banco de Dados. Estes casos estão identificados nas tabelas do *Tropical Timbers of the World* com fontes de cor vermelha e em caracteres itálicos. Contudo, ressalta-se como foi dito acima, que para efeito da análise dos testes de concordância de Bland-Altman utilizou-se as informações experimentais originais do banco de dados, portanto sem modificação.

NAME: (NOME)				(FRENTE)
OTHER COMMON NAMES: (OUTROS NOMES COMUNS)				
DISTRIBUTION: (DISTRIBUIÇÃO)				
THE TREE: (A ÁRVORE)				
THE WOOD: (A MADEIRA)				
GENERAL CHARACTERISTICS: (CARACTERÍSTICAS GERAIS)				
WEIGHT: (TAMANHO)				
MECHANICAL PROPERTIES: (PROPRIEDADES MECÂNICAS)				
TEOR DE UMIDADE	Moisture Content	MOR Bending Strength	MOE Modulus of Elasticity	Maximum Crushing Strength — CPA
		lb/in ²	10002 lb/in ²	lb/in ²
DRYING AND SHRINKAGE: (SECAGEM E RETRAÇÃO)				(ATRÁS)
WORKING PROPERTIES: (PROPRIEDADES DE TRABALHO)				
DURABILITY: (DURABILIDADE)				
PRESERVATION: (PRESERVAÇÃO)				
USES: (USOS)				
ADDITIONAL READING: (LEITURA ADICIONAL)				

Figura 3.18: Folha típica do Banco de Dados do *Tropical Timbers of the World* (Adaptada pelo autor).

Neste estudo são analisadas a concordância entre os ensaios experimentais e os modelos matemáticos de resistência propostos para as seguintes propriedades mecânicas e físicas: Resistência de Ruptura à Flexão ($f_{b,k} = MOR$), Resistência a Compressão Paralela às Fibras ($f_{c0,k} = CPA$) e o Módulo de Elasticidade à Flexão ($E_{m,k} = MOE$), tanto para madeira na condição verde (saturada em água), quanto para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%). A Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra o *fac-símile* da folha de dados típicas constante no Banco de Dados *Tropical Timbers of the World* (Chudnoff, 1981, 1984).

3.5.1 Análise de Concordância Entre os Modelos Matemáticos de Resistência e os Modelos Experimentais de Madeiras Tropicais Verde e Seca da América Espanhola

Neste item verifica-se a concordância entre o modelo experimental e os correspondente modelos matemáticos de resistência para as espécies de madeiras tropicais da América Espanhola nas

condições verde e seca. São avaliadas a resistência a compressão paralelas às fibras ($f_{c0,k}$), a resistência de ruptura à flexão ($f_{b,k}$) e o módulo de elasticidade à flexão ($E_{m,k}$) utilizando-se o Teste de Bland-Altman, conforme descrito anteriormente no item 2.6.8.

3.5.1.1 Estatística Descritiva Para Madeira Verde e Seca da América Espanhola

A estatística descritiva para as amostras de madeira seca e verde foi elaborada com o software jamovi e apresenta medidas de tendência central e verificação de ajuste à distribuição normal: o número de observações, a média, o erro-padrão da média, o desvio padrão, a variância e o p-valor da normalidade. Outros valores de tendência central como a mediana e a moda, intervalos de confiança da média, valores percentílicos, amplitude e curtose, foram determinados para a amostra na condição seca, mas não constam da Tabela 3.12, por simplificação.

Tabela 3.20 Estatística Descritiva Para Madeira Seca – América espanhola (teor de umidade 12%)

Estatística Descritiva							
	N	Média	Erro-padrão	Desvio-padrão	Variância	Shapiro-Wilk	
						W	p
DiffckS	97	-1.019	0.605	5.961	35.534	0.976	0.0685
DifEmkS	93	238.322	160.522	1548.021	2396369.186	0.984	0.3361
DiffbkS	90	-0.281	0.874	8.292	68.754	0.981	0.2061
fckExpS	97	62.324	2.081	20.491	419.891	0.986	0.3984
fckEstS	97	63.343	1.963	19.336	373.882	0.992	0.8565
EmkExpS	93	13418.154	363.975	3510.051	12320458.846	0.988	0.5384
EmkEstS	93	13179.832	294.394	2839.036	8060127.669	0.992	0.8648
fbkExpS	90	114.949	4.070	38.615	1491.113	0.987	0.5474
fbkEstS	95	116.976	3.889	37.907	1436.939	0.992	0.8282

Unidades: Tensão (MPa), rigidez (MPa).

3.5.1.2 Verificação da Concordância Para Madeira Seca – América Espanhola

a) Verificação da Concordância Para Resistência a Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Seca - América Espanhola ($f_{c0,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) para madeira seca. Pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,062$; $p = 0,854 \geq 0,05$). Considerando o Teste t de Student para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = 1,683$; $p = 0,096 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não se rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o

modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.21 *Teste t de Student* para uma amostra constituída pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto – madeira seca, América Espanhola - $f_{CO,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality						
		Estatística	gl	p			statistic	p		
DiffckS	t de Student	-1.683	96.000	0.0956	DiffckS	Shapiro-Wilk	0.976	0.0685		
								Kolmogorov-Smirnov	0.062	0.8542
								Anderson-Darling	0.411	0.3354

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Nota. Additional results provided by *moretests*

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,058$; $p = 0,900 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,01$; $p = 0,952 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,278 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(95; 1) = 3,792$; $p = 0,055 \geq 0,05$; $r = 0,196$ e $R^2 = 0,038$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,196$ e $R^2 = 0,038$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.22, abaixo.

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme as linhas tracejadas que indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 95,9% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [10,67; -12,70] MPa e 99,97% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [12,73; -14,76] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (-1,019 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [0,118 MPa; -2,220 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência em errar para mais, ou

para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.22 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, América Espanhola (*Média $f_{c0,k}$ x Diff $f_{c0,k}$*) (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Heteroskedasticity Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.196	0.038	3.792	1	95	0.0545	Breusch-Pagan	4.137	0.0419
							Goldfeld-Quandt	1.264	0.2145
							Harrison-McCabe	0.402	0.0820

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media fckS	130.938	1	130.938	3.792	0.0545	
Resíduos	3280.362	95	34.530			

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.982	0.2171		-0.016	2.007	0.9520
Kolmogorov-Smirnov	0.058	0.9006				
Anderson-Darling	0.311	0.5477				

Coeficientes do Modelo - DiffckS					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-4.744	2.004	-2.367	0.0199	0.013	0.003	0.033	0.000	0.278
Media fckS	0.059	0.030	1.947	0.0545					

Tabela 3.23 Análise de *Bland-Altman* Madeira Seca, América Espanhola - $f_{c0,kExp}$ x $f_{c0,kEst}$

Bland-Altman			
	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 97)	-1.019	-2.220	0.183
Lower limit of agreement	-12.702	-14.763	-10.642
Upper limit of agreement	10.665	8.605	12.725

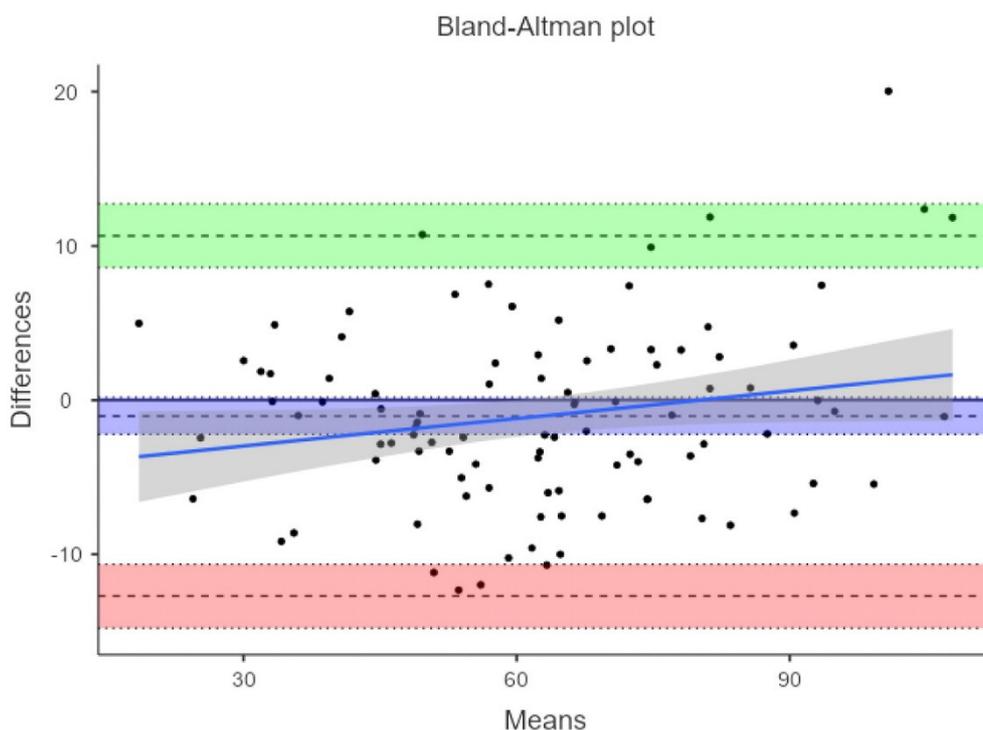


Figura 3.19 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca América Espanhola - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

b) Verificação da Concordância Para Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Seca - América Espanhola ($E_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para o módulo de elasticidade à flexão para madeira na condição seca ($E_{m,k}$). Pela Tabela 3.24 verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,072$; $p = 0,727 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = 1,485$; $p = 0,141 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.24 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, América Espanhola - $E_{m,k}$

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
DifEmkS	t de Student	1.4847	92.0000	0.14105	DifEmkS	Shapiro-Wilk	0.9844	0.33610
						Kolmogorov-Smirnov	0.0716	0.72664
						Anderson-Darling	0.3572	0.44832

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,076$; $p = 0,656 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,79$; $p = 0,274 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,135 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global é estatisticamente significativo ($F(91; 1) = 22,385$; $p = 8,14 \cdot 10^{-6} \leq 0,05$; $r = 0,444$ e $R^2 = 0,197$).

Tabela 3.25 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira seca América Espanhola (*Média $E_{m,k}$ x Dif $E_{m,k}$*) (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Heteroskedasticity Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.4443	0.1974	22.3849	1	91	8.1350e-6	Breusch-Pagan	0.4213	0.51631
							Goldfeld-Quandt	1.1960	0.27700
							Harrison-McCabe	0.4437	0.23300

Teste ANOVA omnibus					
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Media EmkS	43525279.2241	1	43525279.2241	22.3849	8.1350e-6
Resíduos	176940685.9335	91	1944403.1421		

Normality Tests			Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk	0.9819	0.22644	0.0743	1.7936	0.27400
Kolmogorov-Smirnov	0.0760	0.65575			
Anderson-Darling	0.4940	0.21100			

Coeficientes do Modelo - DifEmkS					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Amplitude				
					Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Intercepto	-2715.3284	640.8095	-4.2373	5.4107e-5	0.0111	0.0027	0.0202	0.0000	0.1345
Media EmkS	0.2221	0.0469	4.7313	8.1350e-6					

Portanto, o modelo não é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias não são estatisticamente constantes ao longo do domínio, apresentando um certo grau de viés de proporção. Contudo, o mais importante é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme o *Teste t de Student*, anteriormente. O coeficiente correlação ($r = 0,444$) pode ser considerado moderado, reforçando a certa tendenciosidade ao erro, conforme pode ser verificado na Tabela 3.25, acima, mas não é determinante para a concordância dos modelos.

No *Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman)*, conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 3.20, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 94,62% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [3.272,44; -2.795,80] MPa e 97,85% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [3819,24; -2.249,00] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (238,32 MPa) para o nível de grandeza do módulo de elasticidade de madeiras tropicais, podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [557,13 MPa; -80,49 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância parcialmente adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) Estritamente analisando o *Gráfico de Bland-Altman*, o modelo matemático proposto tem maior tendenciosidade ao erro, para densidades altas, confirmando a heteroscedasticidade ($r = 0,444$ e $p = 8,14 \cdot 10^{-6} \leq 0,05$) e subestima para valores de baixa densidade. Portanto, tem tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.26 *Análise de Bland-Altman*, madeira seca América Espanhola - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

Bland-Altman			
		95% Confidence Interval	
	Estimate	Lower	Upper
Bias (n = 93)	238.3222	-80.4890	557.1333
Lower limit of agreement	-2795.7991	-3342.5957	-2249.0025
Upper limit of agreement	3272.4434	2725.6468	3819.2400

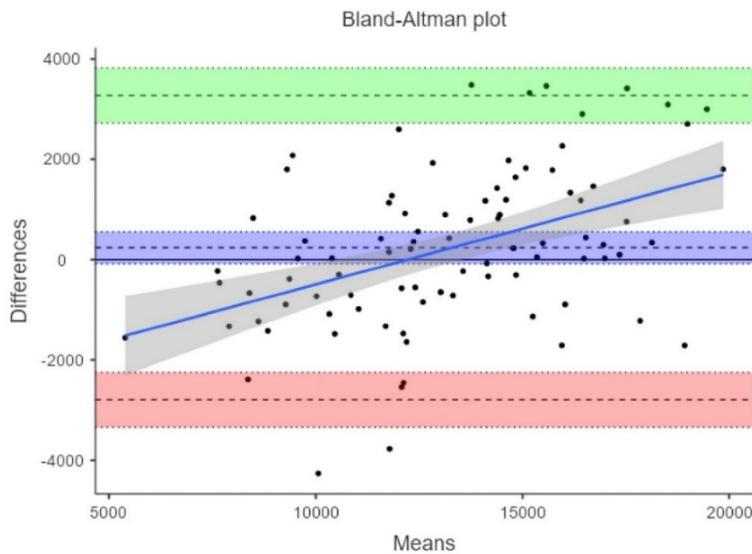


Figura 3.20 *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), madeira seca América Espanhola - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

Neste caso do módulo de elasticidade a heteroscedasticidade, ou ocorrência de viés de proporção, significa que as diferenças tendem a se concentrar abaixo da média das observações para densidades baixas e acima da média das observações para densidades básicas altas. Convém ressaltar que é desejável que não haja viés de proporção, mas isso é bem menos importante do que a verificação da concordância entre os modelos pelo *Teste t para uma amostra*. Isso porque o viés de proporção pode não ser atendido caso a amostra externa não tenha sido obtida por coleta aleatória, ou pelo fato de que a amostra externa, oriunda de instituições diferentes nos USA, França e Inglaterra, seguiu métodos de ensaio também diferentes. Além disso, o módulo de elasticidade é uma propriedade difícil de ser obtida, pode sofrer a influência da presença de nós ocultos na madeira. Além disso, o corpo de prova pode sofrer variação do teor de umidade durante o ensaio, que é demorado (padrão de 12% para condição seca), após deixar do ambiente climatizado. A correção do teor de umidade real do ensaio para o teor de umidade padrão é feita por uma equação de regressão linear, normalmente a partir da retração da madeira, portanto sujeita *erro tipo I*, quando se rejeita a hipótese nula, mesmo ela sendo verdadeira.

- c) Verificação da Concordância Para Resistência de Ruptura à Flexão ($f_{b,k}$) Para Madeira Seca - América Espanhola ($f_{b,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência de ruptura à flexão ($f_{b,k}$). Pela Tabela 3.27 verifica-se que a amostra se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,062$; $p = 0,856 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = -0,321$; $p = 0,749 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não se rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.27 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, América Espanhola $f_{b,k}$

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
DiffbkS	t de Student	-0.3210	89.0000	0.74897	DiffbkS	Shapiro-Wilk	0.9808	0.20609
						Kolmogorov-Smirnov	0.0622	0.85551
						Anderson-Darling	0.3908	0.37408

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,054$; $p = 0,940 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,17$; $p = 0,420 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,275 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(88; 1) = 0,754$; $p = 0,388 \geq 0,05$; $r = 0,092$ e $R^2 = 0,009$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente constantes ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,092$ e $R^2 = 0,009$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.28, abaixo.

Tabela 3.28 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, América Espanhola (*Média $f_{b,k}$ x Diff $f_{b,k}$*) (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.0921	0.0085	0.7536	1	88	0.38771	Shapiro-Wilk	0.9832	0.30022
							Kolmogorov-Smirnov	0.0544	0.93984
							Anderson-Darling	0.3365	0.50214

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media fbkS	51.9538	1	51.9538	0.7536	0.38771	
Resíduos	6067.1440	88	68.9448			

Heteroskedasticity Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Breusch-Pagan	0.6134	0.43352		-0.1188	2.1744	0.42000
Goldfeld-Quandt	0.6079	0.94676				
Harrison-McCabe	0.5795	0.84300				

Coeficientes do Modelo - DiffbkS					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-2.5939	2.8049	-0.9248	0.35762	0.0118	0.0041	0.0306	0.0000	0.2751
Media fbkS	0.0201	0.0232	0.8681	0.38771					

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.21, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 94,44% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-16,53; 15,97] MPa e 97,78% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-19,51; 18,95] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (-0,281 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-2,02 MPa; 1,46 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.29 Análise de *Bland-Altman* Madeira Seca, América Espanhola – $f_{b,kExp} \times f_{b,kEst}$

Bland-Altman	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 90)	-0.2806	-2.0172	1.4561
Lower limit of agreement	-16.5325	-19.5114	-13.5535
Upper limit of agreement	15.9714	12.9924	18.9503

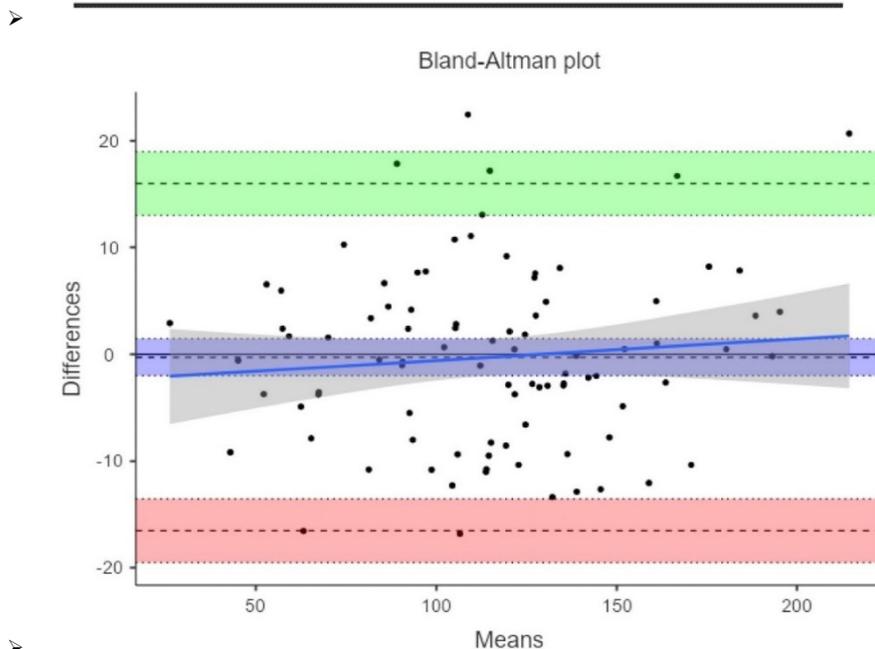


Figura 3.21 *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca América Espanhola - $f_{b,kExp} \times f_{b,kEst}$

3.5.1.3 Verificação da Concordância Para Madeira Verde – América Espanhola

a) Verificação da Concordância Para Resistência a Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Verde - América Espanhola ($f_{c0,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) para madeira verde da América Espanhola. Pela Tabela 3.30 verifica-se que a amostra representada pela diferença entre os dois modelos se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,069$; $p = 0,769 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para a amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = -1,614$; $p = 0,110 \geq 0,05$), verifica-se que é estatisticamente significativo não se rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula (não é estatisticamente diferente de zero) e, portanto, é possível afirmar que há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.30 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático de resistência a compressão paralela às fibras, madeira verde, América Espanhola f_{c0k}

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
DiffckV	t de Student	-1.614	92.000	0.1099	DiffckV	Shapiro-Wilk	0.981	0.2043
						Kolmogorov-Smirnov	0.069	0.7694
						Anderson-Darling	0.440	0.2864

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,055$; $p = 0,923 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,83$; $p = 0,312 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,138 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(91; 1) = 3,111$; $p = 0,923 \geq 0,05$; $r = 0,182$ e $R^2 = 0,033$), o que é importante. Portanto, o modelo matemático é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes de correlação e de determinação ($r = 0,182$ e $R^2 = 0,033$) podem ser considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.31, abaixo.

Tabela 3.31 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira verde, América Espanhola ($Média f_{c0,k} \times Diff f_{c0,k}$) (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.182	0.033	3.111	1	91	0.08111	Shapiro-Wilk	0.980	0.1686
							Kolmogorov-Smirnov	0.055	0.9228
							Anderson-Darling	0.367	0.4243

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media fckV	74.362	1	74.362	3.111	0.08111	
Resíduos	2175.042	91	23.902			

Heteroskedasticity Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p		Autocorrelação	Estatística DW	p
Breusch-Pagan	4.738	0.02950		0.082	1.829	0.3120
Goldfeld-Quandt	1.942	0.01471				
Harrison-McCabe	0.318	0.003000				

Coeficientes do Modelo - DiffckV					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-3.357	1.521	-2.207	0.02982	0.011	0.004	0.021	0.000	0.138
Media fckV	0.064	0.037	1.764	0.08111					

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.22, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 92,47% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-10,52; 8,86] MPa e 96,77% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-12,27; 10,61] MPa para intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável quando comparado com o valor médio para $f_{c0,k}$ para madeira verde tropical (-0,828 MPa). O viés pode estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1,84 MPa; 0,191 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) No *Teste t* para uma amostra a diferença entre os modelos se aproxima estatisticamente de forma significativa do valor zero; (2) a distribuição dos pontos de dados estão significativamente dentro dos limites de concordância estimados; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.32 Análise de *Bland-Altman* para madeira verde, América Espanhola – $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

Bland-Altman	95% Confidence Interval		
	Estimate	Lower	Upper
Bias (n = 93)	-0.828	-1.846	0.191
Lower limit of agreement	-10.519	-12.266	-8.773
Upper limit of agreement	8.864	7.117	10.610

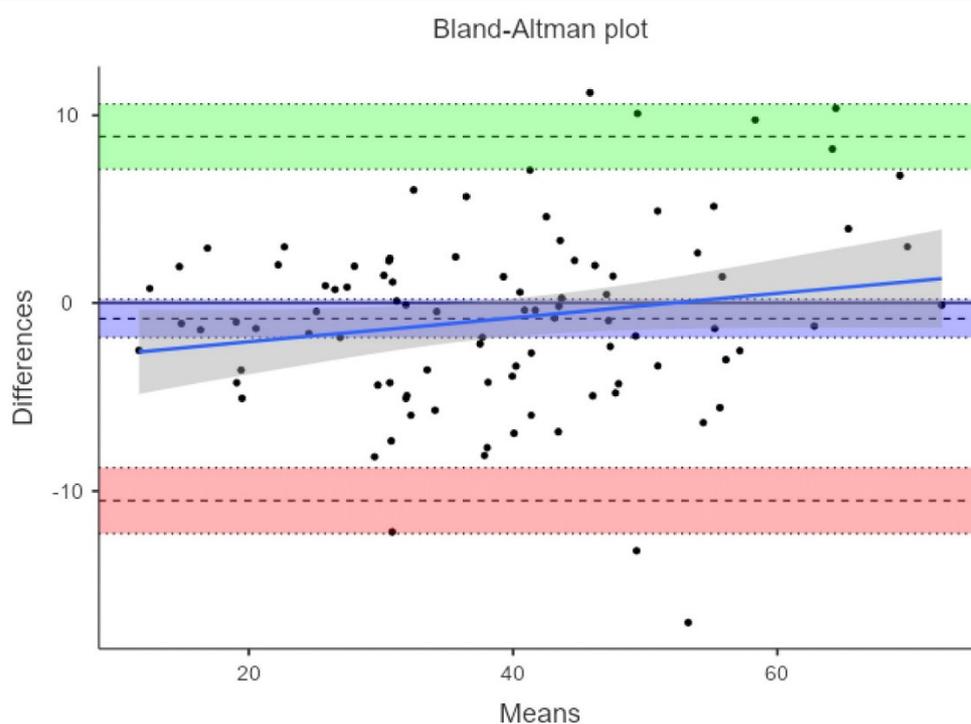


Figura 3.22 *Teste de Bland-Altman* para madeira verde, América Espanhola - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

b) Verificação da Concordância Para Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde - América Espanhola ($E_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para o módulo de elasticidade à flexão para madeira na condição verde ($E_{m,k}$). Pela Tabela 3.33 verifica-se que a amostra representada pela diferença entre os dois modelos se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,089$; $p = 0,545 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = -0,172$; $p = 0,864 \geq 0,05$), verifica-se que é estatisticamente significativo, portanto, não se rejeita a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo

matemático proposto é estatisticamente nula (não é estatisticamente diferente de zero) e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.33 *Teste t de Student* para uma amostra representada pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade, madeira verde, América Espanhola - $E_{m,k}$ (jamovi, 2022)

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
DifEmkV	t de Student	-0.172	80.000	0.8639	DifEmkV	Shapiro-Wilk	0.975	0.1168
						Kolmogorov-Smirnov	0.089	0.5452
						Anderson-Darling	0.520	0.1809

Nota. $H_a: \mu \neq 0$

Tabela 3.34 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira verde, América Espanhola (*Média $E_{m,k}$ x Dif $E_{m,k}$*) (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Heteroskedasticity Tests			
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p		
			F	gl1	gl2	p				
1	0.209	0.044	3.605	1	79	0.06126	Breusch-Pagan	0.487	0.4852	
								Goldfeld-Quandt	1.091	0.3951
								Harrison-McCabe	0.486	0.4750

Teste ANOVA omnibus						
		Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Media EmkV		2279678.771	1	2279678.771	3.605	0.06126
Resíduos		49956144.055	79	632356.254		

Normality Tests				Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
		Statistic	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Shapiro-Wilk		0.981	0.2743	0.063	1.863	0.4880
Kolmogorov-Smirnov		0.068	0.8417			
Anderson-Darling		0.472	0.2375			

Coeficientes do Modelo - DifEmkV					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Amplitude				
					Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Intercepto	-737.999	390.677	-1.889	0.06256	0.012	0.006	0.019	0.000	0.124
Media EmkV	0.064	0.034	1.899	0.06126					

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,068$; $p = 0,842 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,86$; $p = 0,488 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,124 \leq 1,0$). Na

análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(79; 1) = 3,605$; $p = 0,061 \geq 0,05$; $r = 0,209$ e $R^2 = 0,044$), o que é importante. Portanto, o modelo matemático é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes de correlação e de determinação ($r = 0,209$ e $R^2 = 0,044$) podem ser considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.34, acima.

Tabela 3.35 Análise de *Bland-Altman*, madeira verde América Espanhola - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

Bland-Altman	95% Confidence Interval		
	Estimate	Lower	Upper
Bias (n = 81)	-15.441	-194.116	163.234
Lower limit of agreement	-1599.223	-1905.833	-1292.612
Upper limit of agreement	1568.340	1261.730	1874.951

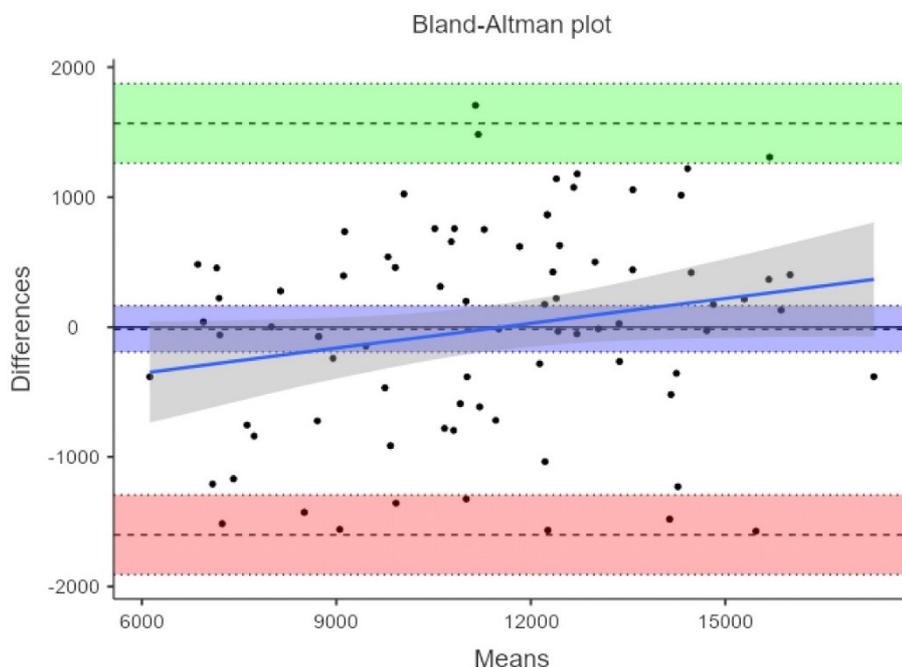


Figura 3.23 *Teste de Bland-Altman*, madeira verde, América Espanhola - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.23, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 98,8% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-1599,22; 1568,34] MPa e 100,0% dos pontos estão entre os

limites de concordância superiores e inferiores [-1905,83; 1874,95] MPa para intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (-15,441 MPa) quando comparado com o valor médio do módulo de elasticidade $E_{m,k}$ para madeira verde tropical (11.614,79 MPa), que representa um erro médio de apenas 0,13%. O viés estimado pode estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1,84 MPa; 0,191 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) No *Teste t* para uma amostra a diferença entre os modelos se aproxima estatisticamente de forma significativa do valor zero; (2) a distribuição dos pontos de dados estão significativamente dentro dos limites de concordância estimados; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

c) Verificação da Concordância Para Resistência de Ruptura à Flexão ($f_{b,k}$) Para Madeira Verde - América Espanhola ($f_{b,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência de ruptura à flexão ($f_{b,k}$) para madeira verde da América Espanhola. Pela Tabela 3.36 verifica-se que a amostra se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,068$; $p = 0,765 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = -0,005$; $p = 0,996 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não se rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos: o modelo experimental e o modelo estimado matematicamente a partir da densidade básica.

Tabela 3.36 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, América Espanhola $f_{b,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl	p			statistic	p
DiffbkV	t de Student	-0.0046	95.0000	0.99631	DiffbkV	Shapiro-Wilk	0.9925	0.87237
						Kolmogorov-Smirnov	0.0681	0.76539
						Anderson-Darling	0.1877	0.90055

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,048$; $p = 0,971 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,77$; $p = 0,216 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC =$

$0,111 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(94; 1) = 3,632; p = 0,0597 \geq 0,05; r = 0,193$ e $R^2 = 0,037$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável

Tabela 3.37 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear para madeira verde, América Espanhola (*Média $f_{b,k}$ x Diff $f_{b,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.1929	0.0372	3.6321	1	94	0.05973	Shapiro-Wilk	0.9930	0.89970
							Kolmogorov-Smirnov	0.0483	0.97081
							Anderson-Darling	0.1814	0.91137

Teste ANOVA omnibus					
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Media fbkV	287.0506	1	287.0506	3.6321	0.05973
Resíduos	7428.9767	94	79.0317		

Heteroskedasticity Tests			Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Breusch-Pagan	8.2662	0.00404	0.1131	1.7683	0.21600
Goldfeld-Quandt	1.6696	0.04275			
Harrison-McCabe	0.3633	0.02400			

Coeficientes do Modelo - DiffbkV					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	-5.0849	2.8161	-1.8057	0.07417	0.0104	0.0041	0.0184	0.0000	0.1109
Media fbkV	0.0625	0.0328	1.9058	0.05973					

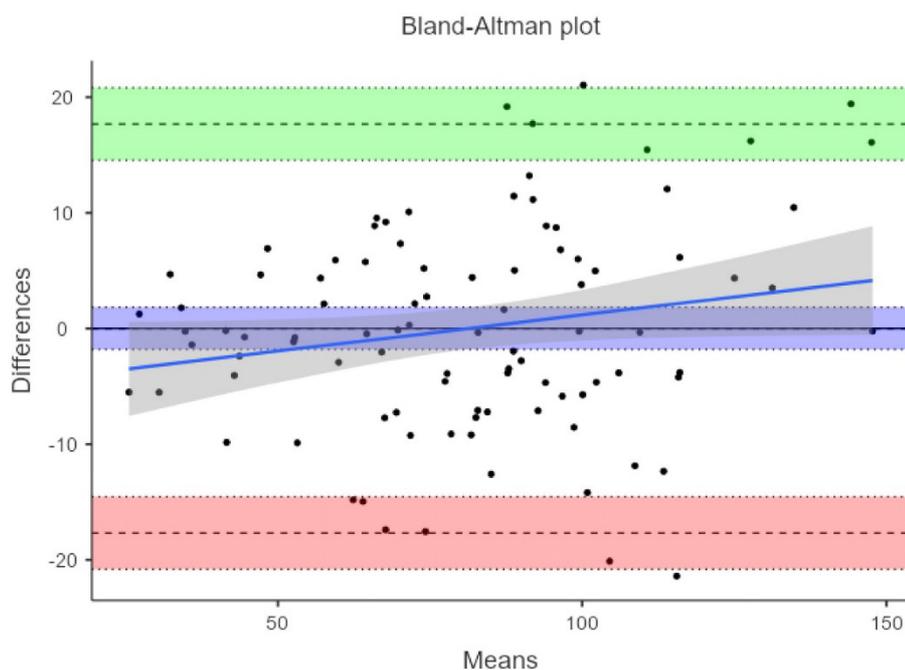
Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,193$ e $R^2 = 0,037$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.37, acima.

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.21, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 94,79% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-17,67; 17,66] MPa e 97,92% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-20,80; 20,79] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é muito pequeno, quase nulo, e aceitável (-0,004 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1,83 MPa; 1,82 MPa], com 95% de confiança.

Tabela 3.38 Análise de *Bland-Altman* para madeira verde, América Espanhola – $f_{b,kExp} \times f_{b,kEst}$

Bland-Altman			
	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 96)	-0.0043	-1.8303	1.8218
Lower limit of agreement	-17.6684	-20.7999	-14.5368
Upper limit of agreement	17.6598	14.5283	20.7914

➤



➤

Figura 3.24 *Teste de Bland-Altman* para madeira verde da América Espanhola - $f_{b,kExp} \times f_{b,kEst}$

Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente e significativamente diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio,

é muito pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

3.5.2 Análise de Concordância Entre os Modelos Matemáticos de Resistência e os Modelos Experimentais de Madeiras Tropicais Verde e Seca da África

Neste item verifica-se a concordância entre o modelo experimental e os correspondente modelos matemáticos de resistência para as espécies de madeiras tropicais da África nas condições verde e seca. São avaliadas a resistência a compressão paralelas às fibras ($f_{c0,k}$), a resistência de ruptura à flexão ($f_{b,k}$) e o módulo de elasticidade à flexão ($E_{m,k}$) utilizando-se o Teste de Bland-Altman, conforme descrito anteriormente no item 2.6.8.

3.5.2.1 Estatística Descritiva Para Madeira Verde e Seca da África

A estatística descritiva para as amostras de madeira seca e verde foi elaborada com o software jamovi e apresenta medidas de tendência central e verificação de ajuste à distribuição normal: o número de observações, a média, o erro-padrão da média, o desvio padrão, a variância e o p-valor da normalidade. Outros valores de tendência central como a mediana e a moda, intervalos de confiança da média, valores percentílicos, amplitude e curtose, foram determinados para a amostra na condição seca, mas não constam da Tabela 3.12, por simplificação.

Tabela 3.39 Estatística Descritiva Para Madeira Seca – América espanhola (teor de umidade 12%)

Estatística Descritiva							
	N	Média	Erro-padrão	Desvio-padrão	Variância	Shapiro-Wilk	
						W	p
DiffckS	97	-1.019	0.605	5.961	35.534	0.976	0.0685
DifEmkS	93	238.322	160.522	1548.021	2396369.186	0.984	0.3361
DiffbkS	90	-0.281	0.874	8.292	68.754	0.981	0.2061
fckExpS	97	62.324	2.081	20.491	419.891	0.986	0.3984
fckEstS	97	63.343	1.963	19.336	373.882	0.992	0.8565
EmkExpS	93	13418.154	363.975	3510.051	12320458.846	0.988	0.5384
EmkEstS	93	13179.832	294.394	2839.036	8060127.669	0.992	0.8648
fbkExpS	90	114.949	4.070	38.615	1491.113	0.987	0.5474
fbkEstS	95	116.976	3.889	37.907	1436.939	0.992	0.8282

Unidades: Tensão (MPa), rigidez (MPa).

3.5.2.2 Verificação da Concordância Para Madeira Seca – África

a) Verificação da Concordância Para Resistência a Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Seca - África ($f_{c0,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) para madeira seca. Pela Tabela 3.40 verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,057$; $p = 0,907 \geq 0,05$). Considerando o Teste t de Student para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t = -1,379$; $p = 0,171 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não se rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto não é estatisticamente diferente de zero e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.40 *Teste t de Student* para uma amostra constituída pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto – madeira seca, África - $f_{c0,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estatística	gl	p		statistic	p	
DiffckSb	t de Student	-1.3788	99.0000	0.17107	DiffckSb	Shapiro-Wilk	0.9888	0.56993
						Kolmogorov-Smirnov	0.0565	0.90676
						Anderson-Darling	0.4316	0.29990

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,079$; $p = 0,559 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,23$; $p = 0,272 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,129 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(98; 1) = 3,039$; $p = 0,084 \geq 0,05$; $r = 0,173$ e $R^2 = 0,030$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente diferente de zero, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,173$ e $R^2 = 0,030$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.41, abaixo.

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme as linhas tracejadas que indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 93,0% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [9,07; -7,87] MPa e 97,0% dos pontos estão entre os limites de

concordância superiores e inferiores [10,54; -9,34] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (0,596 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [1,453 MPa; -0,262 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência em errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.41 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, África (*Média f_{co,k} x Diff f_{co,k}*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests				
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p			
			F	gl1	gl2	p					
1	0.1734	0.0301	3.0394	1	98	0.08440	Shapiro-Wilk	0.9831	0.22893		
							Kolmogorov-Smirnov	0.0791	0.55892		
							Anderson-Darling	0.5547	0.14877		

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media fckS	55.6070	1	55.6070	3.0394	0.08440	
Resíduos	1792.9647	98	18.2956			

Coeficientes do Modelo - DiffckS					Distância de Cook				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
								Min	Max
Intercepto	2.0018	1.5502	1.2914	0.19962	0.0108	0.0029	0.0182	0.0000	0.1285
Media fckS	-0.0447	0.0256	-1.7434	0.08440					

Heteroskedasticity Tests			Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
	Statistic	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Breusch-Pagan	2.8942	0.08890			
Goldfeld-Quandt	1.9949	0.00921			
Harrison-McCabe	0.3169	0.00100	-0.1251	2.2264	0.27200

Tabela 3.42 Análise de Bland-Altman Madeira Seca, África - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

Bland-Altman	95% Confidence Interval		
	Estimate	Lower	Upper
	Bias (n = 100)	0.5958	-0.2616
Lower limit of agreement	-7.8737	-9.3439	-6.4035
Upper limit of agreement	9.0653	7.5951	10.5355

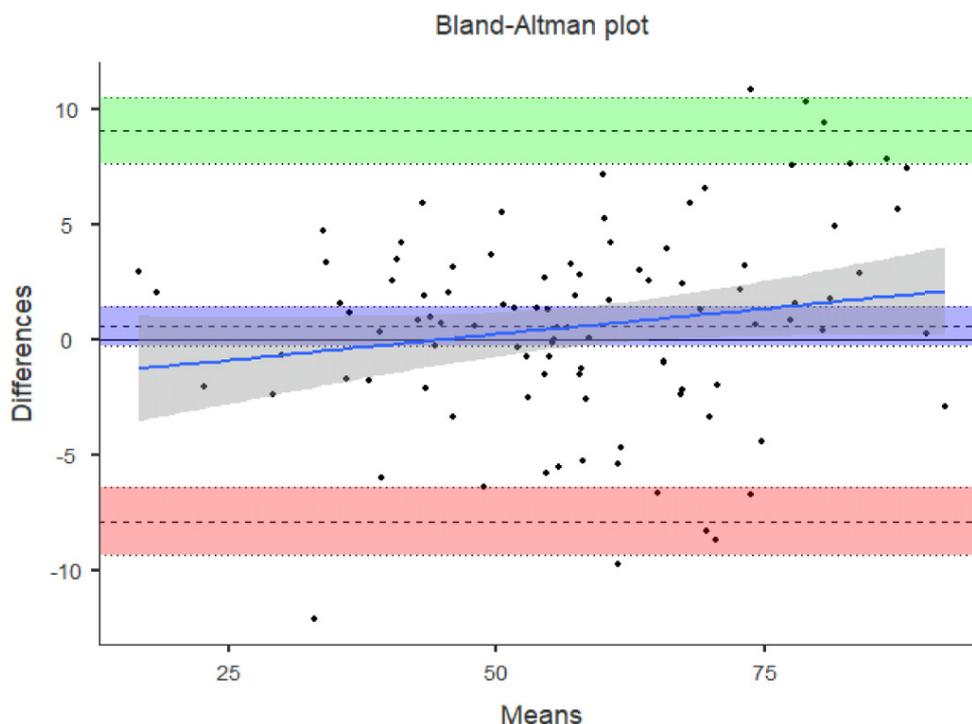


Figura 3.25 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca África - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

b) Verificação da Concordância Para Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Seca - África ($E_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para o módulo de elasticidade à flexão para madeira na condição seca ($E_{m,k}$). Pela Tabela 3.43 verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,064$; $p = 0,813 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(97) = 1,843$; $p = 0,068 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto estatisticamente não é diferente de zero e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.43 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, África - $E_{m,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl	p			statistic	p
DifEmS	t de Student	1.8427	97.0000	0.068428	DifEmS	Shapiro-Wilk	0.9757	0.065642
						Kolmogorov-Smirnov	0.0643	0.81255
						Anderson-Darling	0.5588	0.14514

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,073$; $p = 0,682 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,75$; $p = 0,132 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,178 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global é estatisticamente significativo ($F(96; 1) = 31,800$; $p = 1,72 \cdot 10^{-7} \leq 0,05$; $r = 0,499$ e $R^2 = 0,249$).

Tabela 3.44 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.4988	0.2488	31.8007	1	96	1.7165e-7	Shapiro-Wilk	0.9645	0.0095277
							Kolmogorov-Smirnov	0.0725	0.68187
							Anderson-Darling	0.7048	0.063781

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media EmS	51712311.2206	1	51712311.2206	31.8007	1.7165e-7	
Resíduos	156109154.9663	96	1626137.0309			

Coeficientes do Modelo - DifEmS				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p
Intercepto	3293.4230	550.9766	5.9774	3.8549e-8
Media EmS	-0.2421	0.0429	-5.6392	1.7165e-7

Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Autocorrelação	Estatística DW	p
0.0765	1.7456	0.13200

Heteroskedasticity Tests		
	Statistic	p
Breusch-Pagan	2.1754	0.14023
Goldfeld-Quandt	2.0494	0.0077339
Harrison-McCabe	0.3284	0.0070000

Distância de Cook				
Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
			Min	Max
0.0128	0.0027	0.0308	0.0000	0.1784

Portanto, o modelo não é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias não são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, apresentando um certo grau de viés de proporção. Contudo, o mais importante é que a diferença entre o modelo experimental e matemático não é estatisticamente diferente de zero, conforme o *Teste t de Student*, anteriormente. O coeficiente correlação ($r = 0,499$) pode ser considerado moderado, reforçando a certa tendenciosidade ao erro, conforme pode ser verificado na Tabela 3.44, acima, mas não é determinante para a concordância dos modelos.

Tabela 3.45 Análise de *Bland-Altman*, madeira seca África - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$
Bland-Altman

	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 98)	-272.4581	-565.9163	21.0001
Lower limit of agreement	-3141.3581	-3644.5795	-2638.1367
Upper limit of agreement	2596.4419	2093.2205	3099.6633

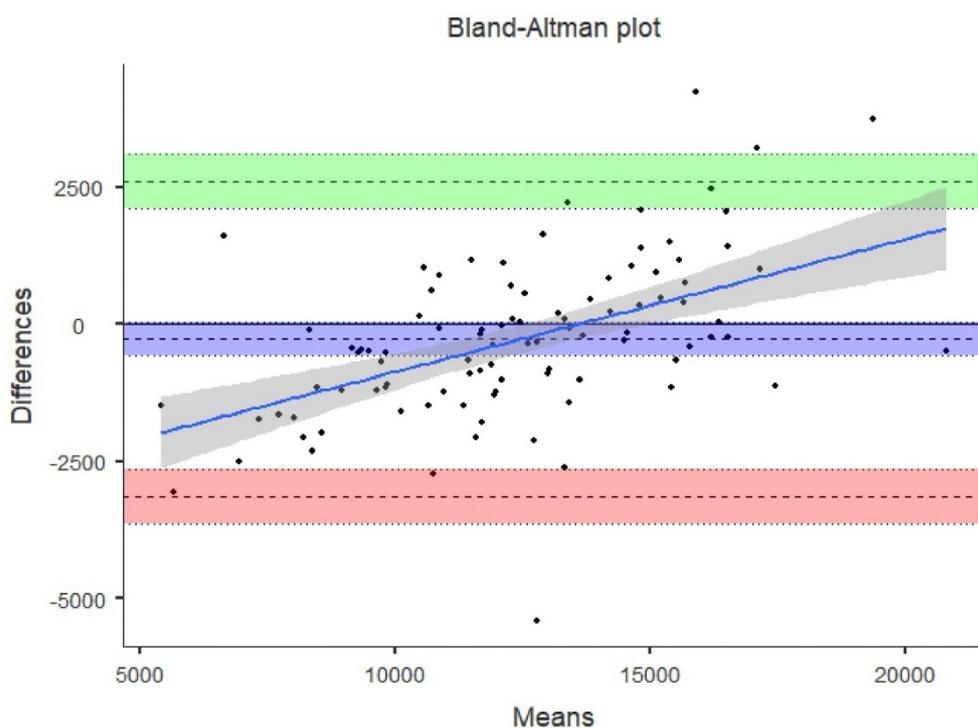


Figura 3.26 *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), madeira seca África - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

No *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Tabela 3.45 e Figura 3.26, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 96,00% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [2596,44; -3141,36] MPa e 96,00% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [3099,66; -3644,58] MPa com intervalo de

confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (-272,46 MPa) para o nível de grandeza do módulo de elasticidade de madeiras tropicais, podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [21,00 MPa; -565,92 MPa], com 95% de confiança.

Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância parcialmente adequado, considerando-se que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) Estritamente analisando o *Gráfico de Bland-Altman*, o modelo matemático proposto tem alguma tendenciosidade em superestimar para densidades altas, confirmando a heteroscedasticidade ($r = 0,499$ e $p = 1,72.10^{-7} \leq 0,05$) e subestima para valores de baixa densidade. Portanto, tem tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica. Neste caso do módulo de elasticidade a heteroscedasticidade, ou ocorrência de viés de proporção, significa que as diferenças tendem a se concentrar abaixo da média das observações para densidades baixas e acima da média das observações para densidades básicas altas. Convém ressaltar que é desejável que não haja viés de proporção, mas isso é bem menos importante do que a verificação da concordância entre os modelos pelo *Teste t para uma amostra*. Isso porque o viés de proporção pode não ser atendido caso a amostra externa não tenha sido obtida por coleta aleatória, ou pelo fato de que a amostra externa, oriunda de instituições diferentes nos USA, França e Inglaterra, seguiu métodos de ensaio também diferentes. Além disso, o módulo de elasticidade é uma propriedade difícil de ser obtida, pode sofrer a influência da presença de nós ocultos na madeira. Além disso, o corpo de prova pode sofrer variação do teor de umidade durante o ensaio que é demorado (teor de umidade de 12% para condição seca), após ser retirado do ambiente climatizado. A correção do teor de umidade real do ensaio para o teor de umidade padrão é feita por uma equação de regressão linear, normalmente a partir da retração da madeira, portanto sujeita *erro tipo I*, quando se rejeita a hipótese nula, mesmo ela sendo verdadeira.

c) Verificação de Concordância Para Resistência de Ruptura à Flexão Para Madeira Seca - África ($f_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência de ruptura à flexão ($f_{m,k}$) para espécies de madeira na condição seca, originárias do continente africano. Pela Tabela 3.46 verifica-se que a amostra se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,082$; $p = 0,539 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra ($t = -1,215$; $p = 0,228 \geq 0,05$) há

indicação que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero e, portanto, pode-se afirmar que há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.46 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para resistência de ruptura à flexão – madeira seca, África $f_{m,k}$

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
DiffbkS	t de Student	-1.2148	94.0000	0.22750	DiffbkS	Shapiro-Wilk	0.9846	0.32985
						Kolmogorov-Smirnov	0.0824	0.53851
						Anderson-Darling	0.4488	0.27230

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,080$; $p = 0,586 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,79$; $p = 0,296 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,137 \leq 1,0$).

Tabela 3.47 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, África (*Média $f_{m,k}$ x Diff $f_{m,k}$*) (jamovi, 2022)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests			
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p		
			F	gl1	gl2	p				
1	0.0436	0.0019	0.1775	1	93	0.67449	Shapiro-Wilk	0.9836	0.28320	
								Kolmogorov-Smirnov	0.0795	0.58584
								Anderson-Darling	0.4748	0.23529

Teste ANOVA omnibus						
		Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Media fbkS		14.2126	1	14.2126	0.1775	0.67449
Resíduos		7446.1663	93	80.0663		

Coeficientes do Modelo - DiffbkS				
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p
Intercepto	-2.3255	3.0267	-0.7683	0.44425
Media fbkS	0.0113	0.0267	0.4213	0.67449

Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Autocorrelação	Estatística DW	p
0.0961	1.7947	0.29600

Heteroskedasticity Tests		
	Statistic	p
Breusch-Pagan	3.7696	0.052194
Goldfeld-Quandt	2.2462	0.0037510
Harrison-McCabe	0.3002	0.0030000

Distância de Cook				
			Amplitude	
Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
0.0105	0.0026	0.0195	0.0000	0.1374

Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(93; 1) = 0,178; p = 0,674 \geq 0,05; r = 0,044$ e $R^2 = 0,002$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,044$ e $R^2 = 0,002$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.48, abaixo.

Tabela 3.48 Análise de *Bland-Altman* Madeira Seca, África – $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$

Bland-Altman	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 95)	1.1103	-0.7045	2.9251
Lower limit of agreement	-16.3508	-19.4632	-13.2385
Upper limit of agreement	18.5715	15.4591	21.6838

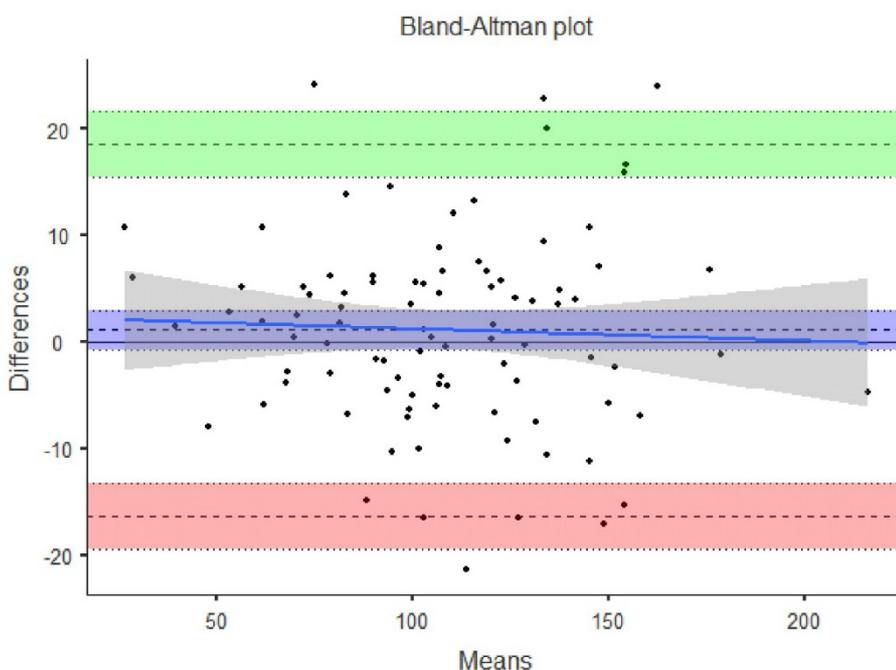


Figura 3.27 *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman) para madeira seca, África - $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.27, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 94,74% dos pontos de dados estão dentro dos

limites de concordância estimados [-16,35; 18,57] MPa e 95,79% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-19,46; 21,68] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (1,110 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-0,71 MPa; 2,93 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o Teste t para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

3.5.2.3 Verificação da Concordância Para Madeira Verde – África

a) Verificação da Concordância Para Resistência a Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Verde - África ($f_{c0,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) para madeira verde da África. Pela Tabela 3.49 verifica-se que a amostra representada pela diferença entre os dois modelos se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,063$; $p = 0,998 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* ($t(37) = -5,357$; $p = 4,67.10^{-6} \leq 0,05$), rejeita-se a hipótese nula e a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto não é estatisticamente nula, o que significa que os modelos discordam. A razão principal mais provável para a discordância entre os modelos é que a amostra externa é pequena ($N = 38$). Além disso, o domínio da amostra experimental se concentra apenas em espécies de densidade baixa ($D_b \leq 500 \text{ kg/m}^3$) não representando a população.

Tabela 3.49 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático de resistência a compressão paralela às fibras, madeira verde, África f_{c0k}

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl			statistic	p	
DiffckV	t de Student	-5.35660	37.00000	4.6667e-6				
					DiffckV	Shapiro-Wilk	0.98033	0.72918
						Kolmogorov-Smirnov	0.06272	0.99831
						Anderson-Darling	0.20983	0.85036

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,063$;

$p = 0,998 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,87$; $p = 0,588 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,092 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(36; 1) = 2,650$; $p = 0,112 \geq 0,05$; $r = 0,262$ e $R^2 = 0,069$), o que é importante. Portanto, o modelo matemático é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Os coeficientes de correlação e de determinação ($r = 0,262$ e $R^2 = 0,069$) podem ser considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.50, abaixo.

Tabela 3.50 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira verde, África (*Média $f_{c0,k}$ x Diff $f_{c0,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.26183	0.06855	2.64952	1	36	0.11230	Shapiro-Wilk	0.98501	0.88102
							Kolmogorov-Smirnov	0.07846	0.97346
							Anderson-Darling	0.17635	0.91604

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media fckV	19.20576	1	19.20576	2.64952	0.11230	
Resíduos	260.95525	36	7.24876			

Coeficientes do Modelo - DiffckV					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	-0.22305	1.40173	-0.15913	0.87446	0.04484	1.87421	0.58800
Media fckV	-0.06292	0.03866	-1.62774	0.11230			

Heteroskedasticity Tests				Distância de Cook				
	Statistic	p		Amplitude				
				Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Breusch-Pagan	0.22076	0.63846		0.02316	0.00901	0.02802	0.00000	0.09206
Goldfeld-Quandt	0.79427	0.67989						
Harrison-McCabe	0.54283	0.65500						

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.28, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 94,74% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-3,00; 7,78] MPa e 100% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-4,56; 9,34] MPa para intervalo de confiança de 95%. O viés

estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável quando comparado com o valor médio para $f_{c0,k}$ para madeira verde tropical (2,39 MPa). O viés pode estar entre os intervalos superiores e inferiores [1,49MPa; 3,29MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância parcialmente adequado, considerando que: (1) No *Teste t* para uma amostra a diferença entre os modelos não é estatisticamente nulo; (2) a distribuição dos pontos de dados estão significativamente dentro dos limites de concordância estimados; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.51 Análise de *Bland-Altman* para madeira verde, África – $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

	95% Confidence Interval		
	Estimate	Lower	Upper
Bias (n = 38)	2.39111	1.48665	3.29558
Lower limit of agreement	-3.00224	-4.56166	-1.44282
Upper limit of agreement	7.78447	6.22505	9.34389

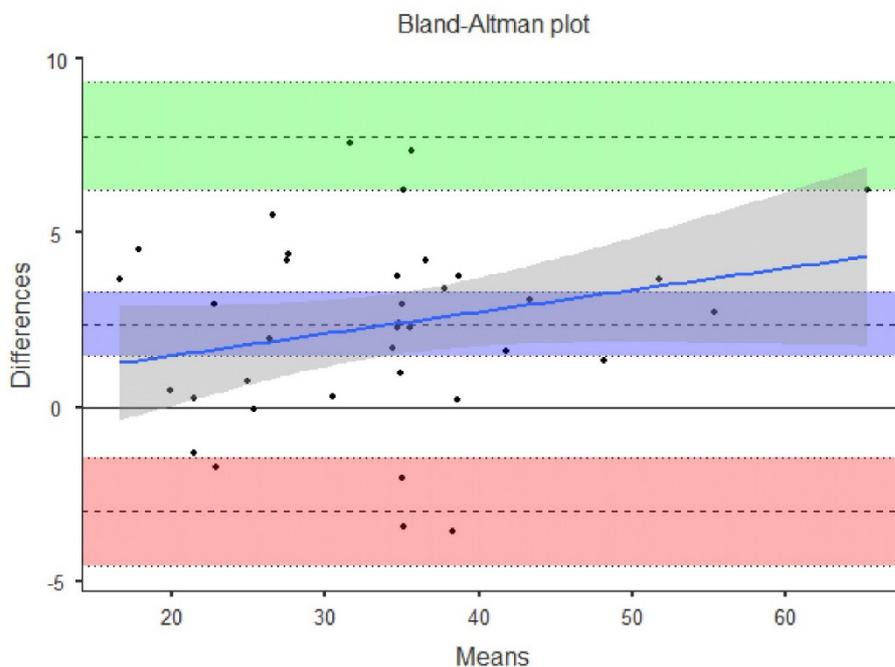


Figura 3.28 *Teste de Bland-Altman* para madeira verde, África - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

c) Verificação da Concordância Para Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde - África ($E_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para o módulo de elasticidade à flexão para madeira na condição verde ($E_{m,k}$). Pela Tabela 3.52 verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,106$; $p = 0,732 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* ($t(41) = -5,302$; $p = 4,22.10^{-6} \leq 0,05$), rejeita-se a hipótese nula e a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto não é estatisticamente nula, o que significa que os modelos discordam. A razão principal mais provável para a discordância entre os modelos é que a amostra externa é pequena ($N = 42$).

Tabela 3.52 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, África - $E_{m,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl	p			statistic	p
DifEmV	t de Student	5.30247	41.00000	4.2190e-6	DifEmV	Shapiro-Wilk	0.93450	0.018429
						Kolmogorov-Smirnov	0.10607	0.73203
						Anderson-Darling	0.56654	0.13359

Nota. $H_a: \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,084$; $p = 0,928 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,62$; $p = 0,166 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,198 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(40; 1) = 2,150$; $p = 150 \geq 0,05$; $r = 0,226$ e $R^2 = 0,051$). Portanto, o modelo é homoscedástico em suas estimativas e as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, não apresentando viés de proporção, nem tendência de errar para mais, ou para menos. Os coeficientes de correlação e de determinação ($r = 0,226$ e $R^2 = 0,051$) podem ser considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.53, abaixo

No *Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman)*, conforme a Tabela 3.54 e Figura 3.29, Figura 3.29 *Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman)*, madeira verde, África - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$ as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 97,62% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-3170,49; 1303,05] MPa e 97,62% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-3783,12; 1915,67] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (-933,72 MPa)

para o nível de grandeza do módulo de elasticidade de madeiras tropicais, podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1289,35 MPa; -578,10 MPa], com 95% de confiança.

Tabela 3.53 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira verde, África (*Média $E_{m,k}$ x Dif $E_{m,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.22583	0.05100	2.14959	1	40	0.15043	Shapiro-Wilk	0.92614	0.0096219
							Kolmogorov-Smirnov	0.08398	0.92849
							Anderson-Darling	0.51481	0.18137

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media EmV	2723180.83787	1	2723180.83787	2.14959	0.15043	
Resíduos	50673447.41954	40	1266836.18549			

Coeficientes do Modelo - DifEmV					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	2136.68203	838.66838	2.54771	0.014791	0.16191	1.61820	0.16600
Media EmV	-0.12107	0.08258	-1.46615	0.150426			

Heteroskedasticity Tests			Distância de Cook				
	Statistic	p	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
						Min	Max
Breusch-Pagan	1.93694	0.16400	0.02742	0.01047	0.04785	0.00000	0.19762
Goldfeld-Quandt	3.21492	0.0072137					
Harrison-McCabe	0.26568	0.013000					

Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância parcialmente adequado, considerando-se que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.54 Análise de Bland-Altman, madeira verde, África - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 42)	-933.72345	-1289.34905	-578.09786
Lower limit of agreement	-3170.49207	-3783.11602	-2557.86812
Upper limit of agreement	1303.04516	690.42121	1915.66911

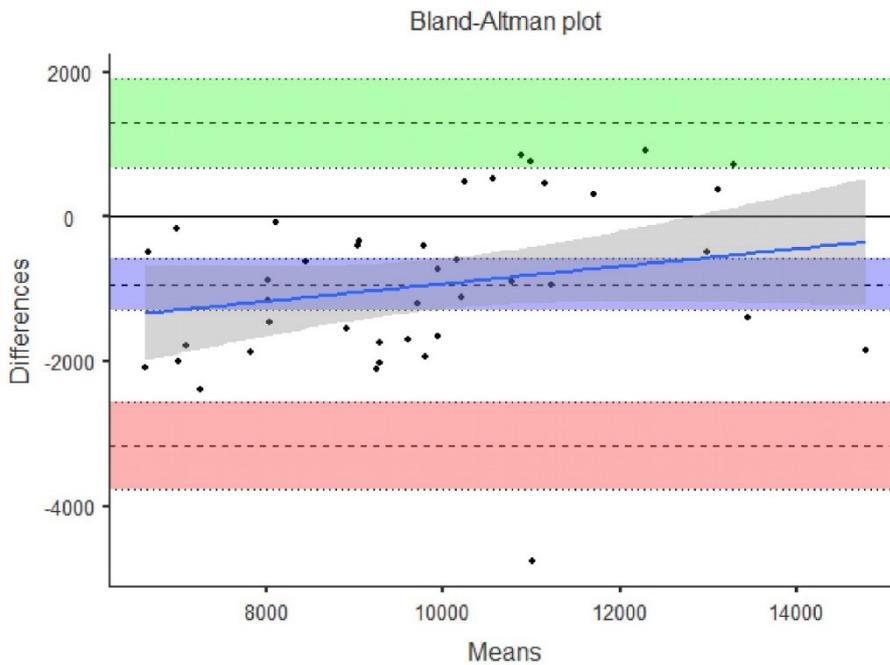


Figura 3.29 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), madeira verde, África - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$

d) Verificação da Concordância Para Resistência de Ruptura à Flexão Para Madeira Verde - África ($f_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência de ruptura à flexão ($f_{m,k}$). Pela Tabela 3.55 verifica-se que a amostra se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,107$; $p = 0,727 \geq 0,05$). Considerando o Teste *t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(41) = -1,670$; $p = 0,102 \geq 0,05$), não se rejeita a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,110$; $p = 0,694 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,708$; $p = 0,274 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook

$DC = 0,280 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(40; 1) = 0,013$; $p = 0,910 \geq 0,05$; $r = 0,018$ e $R^2 = 3,3 \cdot 10^{-4}$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,018$ e $R^2 = 3,3 \cdot 10^{-4}$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.55, abaixo.

Tabela 3.55 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, África $f_{m,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl	p			statistic	p
DiffbkV	t de Student	-1.67026	41.00000	0.10249	DiffbkV	Shapiro-Wilk	0.97095	0.35523
						Kolmogorov-Smirnov	0.10656	0.72688
						Anderson-Darling	0.42693	0.29959

Nota. $H_a \mu \neq 0$

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.28, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 95,24% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-11,62; 15,13] MPa e 100,0% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-15,28; 18,80] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (1,76 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-0,368 MPa; 3,89 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.56 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear para madeira verde, África (*Média $f_{m,k}$ x Diff $f_{m,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.01805	0.00033	0.01304	1	40	0.90966	Shapiro-Wilk	0.97087	0.35291
							Kolmogorov-Smirnov	0.10960	0.69410
							Anderson-Darling	0.43331	0.28908

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Media fbkV	0.62222	1	0.62222	0.01304	0.90966	
Resíduos	1908.75049	40	47.71876			

Coeficientes do Modelo - DiffbkV					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	-2.15141	3.59978	-0.59765	0.55344			
Media fbkV	0.00555	0.04864	0.11419	0.90966			

Heteroskedasticity Tests				Distância de Cook				
	Statistic	p		Amplitude				
				Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Breusch-Pagan	0.04896	0.82488		0.03028	0.00662	0.05379	0.00000	0.28040
Goldfeld-Quandt	1.27584	0.30037						
Harrison-McCabe	0.50099	0.49500						

Tabela 3.57 Análise de *Bland-Altman* para madeira verde, África – $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 42)	1.75879	-0.36779	3.88537
Lower limit of agreement	-11.61670	-15.28008	-7.95331
Upper limit of agreement	15.13427	11.47089	18.79766

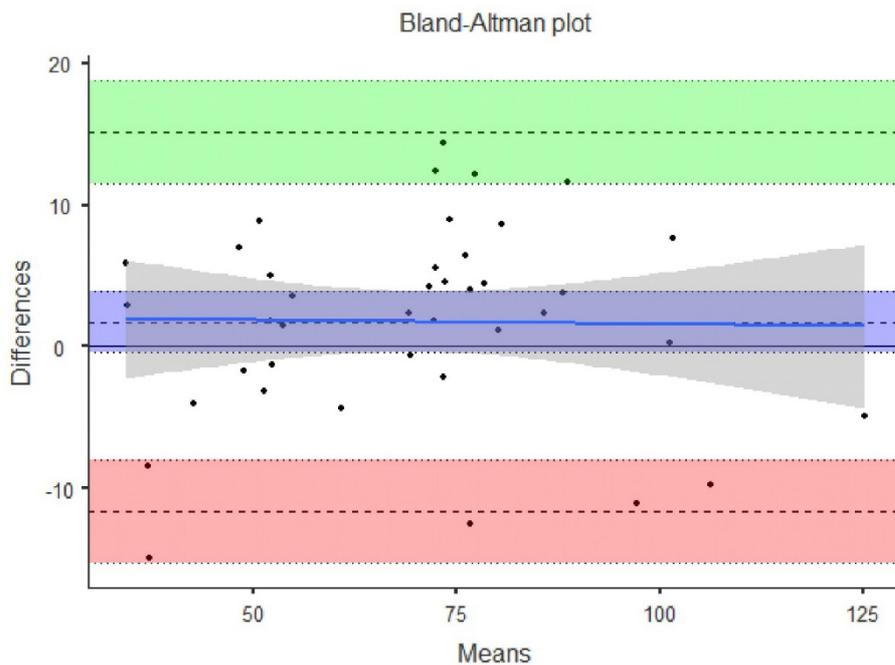


Figura 3.30 *Teste de Bland-Altman* para madeira verde, África - $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

+++++

3.5.3 Análise de Concordância Entre os Modelos Matemáticos de Resistência e os Modelos Experimentais de Madeiras Tropicais Verde e Seca da Ásia e Oceania

Neste item verifica-se a concordância entre o modelo experimental e os correspondente modelos matemáticos de resistência para as espécies de madeiras tropicais da Ásia e Oceania nas condições verde e seca. São avaliadas a resistência a compressão paralelas às fibras ($f_{c0,k}$), a resistência de ruptura à flexão ($f_{m,k}$) e o módulo de elasticidade à flexão ($E_{m,k}$) utilizando-se o Teste de Bland-Altman, conforme descrito anteriormente no item 2.6.8.

3.5.3.1 Estatística Descritiva Para Madeira Verde e Seca da Ásia e Oceania

A estatística descritiva para as amostras de madeira seca e verde foi elaborada com o software jamovi e apresenta medidas de tendência central e verificação de ajuste à distribuição normal: o número de observações, a média, o erro-padrão da média, o desvio padrão, a variância e o p-valor da normalidade. Outros valores de tendência central como a mediana e a moda, intervalos de confiança da média, valores percentílicos, amplitude e curtose, foram determinados para a amostra na condição seca, mas não constam da Tabela 3.20, por simplificação.

Tabela 3.58 Estatística Descritiva Para Madeira Seca – Ásia e Oceania (teor de umidade 12%)(jamovi, 2023)

Estatística Descritiva							
	N	Média	Erro-padrão	Desvio-padrão	Variância	Shapiro-Wilk	
						W	p
DiffckS	97	-1.019	0.605	5.961	35.534	0.976	0.0685
DifEmkS	93	238.322	160.522	1548.021	2396369.186	0.984	0.3361
DiffbkS	90	-0.281	0.874	8.292	68.754	0.981	0.2061
fckExpS	97	62.324	2.081	20.491	419.891	0.986	0.3984
fckEstS	97	63.343	1.963	19.336	373.882	0.992	0.8565
EmkExpS	93	13418.154	363.975	3510.051	12320458.846	0.988	0.5384
EmkEstS	93	13179.832	294.394	2839.036	8060127.669	0.992	0.8648
fbkExpS	90	114.949	4.070	38.615	1491.113	0.987	0.5474
fbkEstS	95	116.976	3.889	37.907	1436.939	0.992	0.8282

Unidades: Tensão (MPa), rigidez (MPa).

3.5.3.2 Verificação da Concordância Para Madeira Seca – Ásia e Oceania

a) Verificação da Concordância Para Resistência a Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Seca – Ásia e Oceania ($f_{c0,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) para madeira seca da Ásia e Oceania. Pela Tabela 3.62 verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,101$; $p = 0,451 \geq 0,05$). Considerando o Teste t de Student para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(72) = -1,091$; $p = 0,279 \geq 0,05$), não se rejeita a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.59 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, Ásia e Oceania - $f_{c0,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estatística	gl	p		statistic	p	
DiffckS	t de Student	-1.09082	72.00000	0.27899	DiffckS	Shapiro-Wilk	0.98158	0.36380
						Kolmogorov-Smirnov	0.10060	0.45094
						Anderson-Darling	0.48089	0.22582

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,080$; $p = 0,714 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,759$; $p = 0,248 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,184 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(71; 1) = 0,760$; $p = 0,386 \geq 0,05$; $r = 0,103$ e $R^2 = 0,011$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima.

Tabela 3.60 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, Ásia e Oceania (*Média $f_{c0,k}$ x Dif $f_{c0,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Tests of Normality			
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				DiffckS	Shapiro-Wilk	statistic	p
			F	gl1	gl2	p				
1	0.10288	0.01058	0.75957	1	71	0.38640		0.98158	0.36380	
								0.10060	0.45094	
								0.48089	0.22582	

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
MediafckS	23.10130	1	23.10130	0.75957	0.38640	
Resíduos	2159.37596	71	30.41375			

Coeficientes do Modelo - DiffckS					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	1.45066	2.55393	0.56801	0.57182			
MediafckS	-0.03919	0.04497	-0.87153	0.38640	0.08736	1.75922	0.24800

Heteroskedasticity Tests				Distância de Cook				
	Statistic	p		Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
							Min	Max
Breusch-Pagan	0.61366	0.43341		0.01457	0.00408	0.02704	0.00000	0.18390
Goldfeld-Quandt	1.13782	0.35402						
Harrison-McCabe	0.50898	0.57800						

Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,103$ e $R^2 = 0,011$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.22, abaixo.

Tabela 3.61 Análise de *Bland-Altman* Madeira Seca, Ásia e Oceania - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$ (jamovi, 2023)

Bland-Altman			
	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 73)	-0.70291	-1.98747	0.58165
Lower limit of agreement	-11.49398	-13.69932	-9.28864
Upper limit of agreement	10.08817	7.88283	12.29351

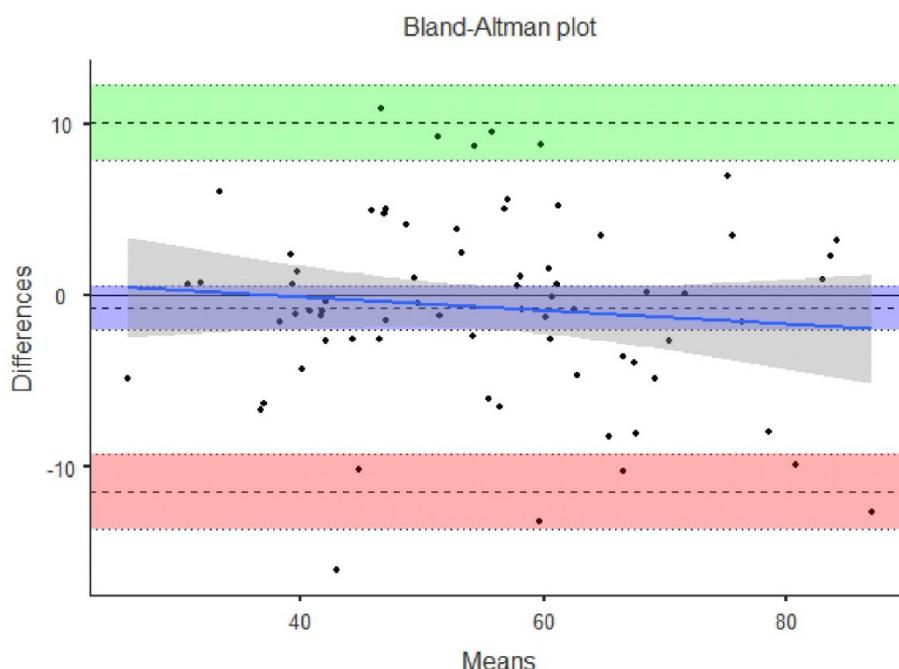


Figura 3.31 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman) Madeira Seca Ásia e Oceania - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme as linhas tracejadas que indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 94,52% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-11,49; 10,09] MPa e 98,63% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-13,70; 12,29] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (-0,703 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1,987 MPa; 0,582 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para

uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência em errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

b) Verificação da Concordância Para Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Seca – Ásia e Oceania ($E_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para o módulo de elasticidade à flexão para madeira na condição seca ($E_{m,k}$) da Ásia e Oceania. Pela Tabela 3.62 verifica-se que a amostra estatisticamente se ajusta à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,055$; $p = 0,990 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(62) = 1,175$; $p = 0,207 \geq 0,05$), é estatisticamente significativo não rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.62 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, Ásia e Oceania - $E_{m,k}$

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
DifEmkS	t de Student	1.27494	62.00000	0.20709	DifEmkS	Shapiro-Wilk	0.98925	0.85937
						Kolmogorov-Smirnov	0.05537	0.99041
						Anderson-Darling	0.26865	0.67106

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média* x *diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,125$; $p = 0,0254 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,102$; $p = 0,784 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,116 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global é estatisticamente significativo ($F(61; 1) = 16,216$; $p = 1,59.10^{-4} \leq 0,05$; $r = 0,458$ e $R^2 = 0,210$). Portanto, o modelo não é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias não são estatisticamente constantes ao longo do domínio, apresentando um certo grau de viés de proporção. Contudo, o mais importante é que a diferença entre o modelo experimental e matemático é estatisticamente nula, conforme o *Teste t de Student*, anteriormente. O coeficiente correlação ($r = 0,458$) pode ser considerado moderado, reforçando a certa tendenciosidade ao erro, conforme pode ser verificado na Tabela 3.63, mas não é determinante para a concordância dos modelos.

Tabela 3.63 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira seca, Ásia e Oceania (*Média $E_{m,k}$ x Dif $E_{m,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.45827	0.21001	16.21624	1	61	1.5881e-4	Shapiro-Wilk	0.96190	0.048649
							Kolmogorov-Smirnov	0.12530	0.25392
							Anderson-Darling	0.89858	0.020550

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
MediaEmkS	32350946.90330	1	32350946.90330	16.21624	1.5881e-4	
Resíduos	121693307.24833	61	1994972.24997			

Coeficientes do Modelo - DifEmkS					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	-3262.55469	891.00698	-3.66165	5.2562e-4			
MediaEmkS	0.29462	0.07316	4.02694	1.5881e-4			

Heteroskedasticity Tests				Distância de Cook				
	Statistic	p		Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
							Min	Max
Breusch-Pagan	0.58621	0.44389		0.01620	0.00577	0.02454	0.00000	0.11629
Goldfeld-Quandt	2.03434	0.029585						
Harrison-McCabe	0.30572	0.015000						

No *Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman)*, conforme a Tabela 3.64 e Figura 3.32, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 93,65% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-2836,27; 3342,65] MPa e 96,83% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-3518,30; 4024,68] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (253,19 MPa) para o nível de grandeza do módulo de elasticidade de madeiras tropicais, podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-143,79 MPa; 650,16 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância parcialmente adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente de forma significativa diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) Estritamente analisando o *Gráfico de Bland-Altman*, o modelo matemático proposto tem maior tendenciosidade ao erro, para densidades altas, confirmando a

heteroscedasticidade ($r = 0,458$ e $p = 1,59 \cdot 10^{-4} \leq 0,05$) e subestima para valores de baixa densidade. Portanto, tem tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.64 Análise de Bland-Altman, madeira seca Ásia e Oceania - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

Bland-Altman	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 63)	253.18972	-143.78536	650.16479
Lower limit of agreement	-2836.27314	-3518.29768	-2154.24860
Upper limit of agreement	3342.65258	2660.62804	4024.67712

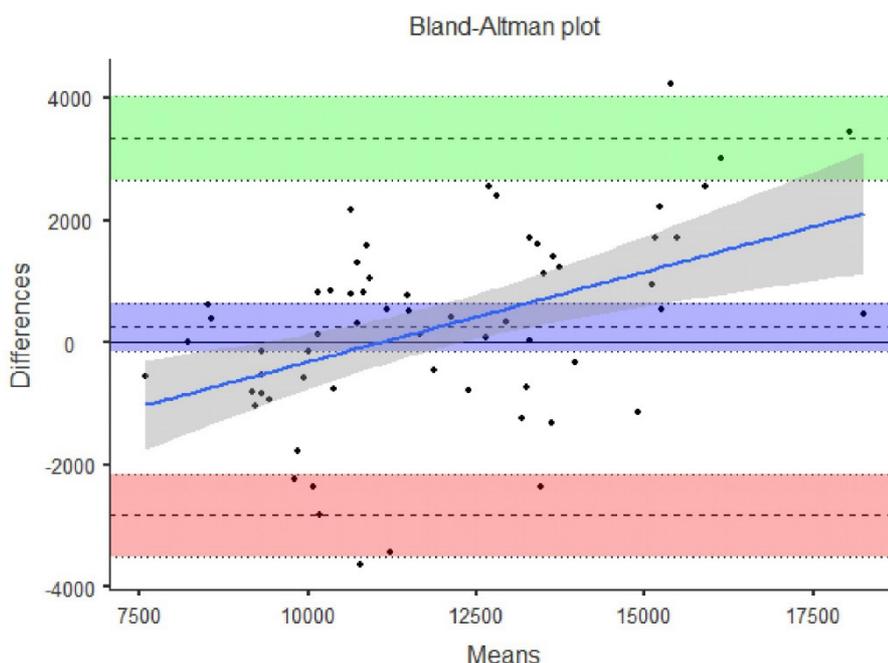


Figura 3.32 Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), madeira seca, Ásia e Oceania - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

Neste caso do módulo de elasticidade a heteroscedasticidade, ou ocorrência de viés de proporção, significa que as diferenças tendem a se concentrar abaixo da média das observações para densidades baixas e acima da média das observações para densidades básicas altas. Convém ressaltar que é desejável que não haja viés de proporção, mas isso é bem menos importante do que a verificação da concordância entre os modelos pelo *Teste t para uma amostra*. Isso porque o viés de proporção pode não ser atendido caso a amostra externa não tenha sido obtida por coleta aleatória, ou pelo fato de que a amostra externa, oriunda de instituições diferentes nos USA, França e Inglaterra, seguiu métodos de ensaio também diferentes. Além disso, o módulo de elasticidade é uma propriedade difícil de ser obtida, pode sofrer a influência da presença de nós ocultos na madeira. Além disso, o corpo de prova pode sofrer variação do teor de umidade durante o ensaio, que é demorado (padrão de 12%

para condição seca), após deixar do ambiente climatizado. A correção do teor de umidade real do ensaio para o teor de umidade padrão é feita por uma equação de regressão linear, normalmente a partir da retração da madeira, portanto sujeita *erro tipo I*, quando se rejeita a hipótese nula, mesmo ela sendo verdadeira.

c) Verificação da Concordância Para Resistência de Ruptura à Flexão ($f_{m,k}$) Para Madeira Seca – Ásia e Oceania ($f_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência de ruptura à flexão ($f_{m,k}$) para madeira tropical na condição seca da Ásia e Oceania. Pela Tabela 3.65 verifica-se que a amostra se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,134$; $p = 0,137 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(74) = 0,670$; $p = 0,505 \geq 0,05$), não se rejeita a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.65 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira seca, Ásia e Oceania $f_{b,k}$ (jamovi, 2023)

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl	p			statistic	p
DiffmkS	t de Student	0.67028	74.00000	0.50477	DiffmkS	Shapiro-Wilk	0.95687	0.012091
						Kolmogorov-Smirnov	0.13376	0.13655
						Anderson-Darling	1.34015	0.0016572

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,134$; $p = 0,137 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,049$; $p = 0,970 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,275 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(73; 1) = 0,327$; $p = 0,569 \geq 0,05$; $r = 0,067$ e $R^2 = 0,004$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, e consequentemente o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,067$ e $R^2 = 0,004$) são considerados

muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.66, abaixo.

Tabela 3.66 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira seca, Ásia e Oceania (*Média $f_{m,k}$ x Diff $f_{m,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.06673	0.00445	0.32653	1	73	0.56947	Shapiro-Wilk	0.96277	0.026616
							Kolmogorov-Smirnov	0.13360	0.13742
							Anderson-Darling	1.16753	0.0044485

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
MediafmkS	48.00519	1	48.00519	0.32653	0.56947	
Resíduos	10732.26730	73	147.01736			

Coeficientes do Modelo - DiffmkS					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	-1.82526	5.02788	-0.36303	0.71763			
MediafmkS	0.02700	0.04725	0.57143	0.56947			

Heteroskedasticity Tests			Distância de Cook				
	Statistic	p	Amplitude				
			Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Breusch-Pagan	1.88438	0.16984	0.01289	0.00301	0.03373	0.00001	0.27474
Goldfeld-Quandt	1.39830	0.16182					
Harrison-McCabe	0.45911	0.35000					

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.33, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 91,89% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-16,53; 15,97] MPa e 94,59% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-22,72; 24,79] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (0,934 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1,84 MPa; 3,71 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático

proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.67 Análise de Bland-Altman Madeira Seca, Ásia e Oceania – $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 75)	0.93416	-1.84284	3.71116
Lower limit of agreement	-22.72259	-27.48956	-17.95561
Upper limit of agreement	24.59091	19.82394	29.35789

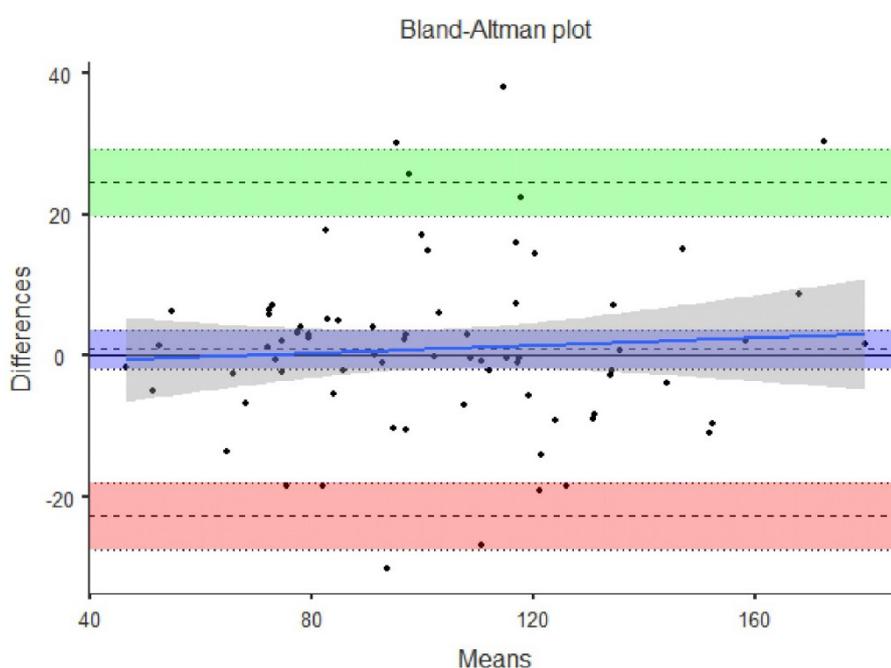


Figura 3.33 Teste de Bland-Altman Madeira Seca Ásia e Oceania - $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

3.5.3.3 Verificação da Concordância Para Madeira Verde – Ásia e Oceania

a) Verificação da Concordância Para Resistência a Compressão Paralela às Fibras Para Madeira Verde – Ásia e Oceania ($f_{c0,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) para madeira verde da Ásia e Oceania. Pela Tabela 3.68 verifica-se que a amostra representada pela diferença entre os dois modelos se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,088$; $p = 0,635 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para a amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(71) = 0,888$; $p = 0,377 \geq 0,05$), não se rejeita a hipótese nula. Assim, a diferença entre

o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula (não é estatisticamente diferente de zero) e, portanto, é possível afirmar que há concordância entre os dois modelos.

Tabela 3.68 Teste t de Student para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático de resistência a compressão paralela às fibras, madeira verde, Ásia e Oceania, f_{c0k}

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estadística	gl	p			statistic	p
Diffc0kV	t de Student	0.88818	71.00000	0.37744	Diffc0kV	Shapiro-Wilk	0.96930	0.075540
						Kolmogorov-Smirnov	0.08781	0.63538
						Anderson-Darling	0.74404	0.050309

Nota. $H_a: \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,087$; $p = 0,617 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,765$; $p = 0,290 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,181 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(70; 1) = 0,006$; $p = 0,936 \geq 0,05$; $r = 0,010$ e $R^2 = 9.0 \cdot 10^{-5}$), o que é importante. Portanto, o modelo matemático é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, o matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes de correlação e de determinação ($r = 0,010$ e $R^2 = 9.0 \cdot 10^{-5}$) podem ser considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.69, abaixo.

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.34, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 97,22% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados $[-7,17; 7,99]$ MPa e 98,61% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores $[-8,74; 9,55]$ MPa para intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável quando comparado com o valor médio para $f_{c0,k}$ para madeira verde tropical (0,405 MPa). O viés pode estar entre os intervalos superiores e inferiores $[-0,505; 1,314]$ MPa, com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) No *Teste t* para uma amostra a diferença entre os modelos se aproxima estatisticamente de forma significativa do valor zero; (2) a distribuição dos pontos de dados estão significativamente dentro dos limites de

concordância estimados; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

Tabela 3.69 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear madeira verde, Ásia e Oceania ($Média f_{c0,k} \times Diff_{c0,k}$) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.00961	0.00009	0.00646	1	70	0.93617	Shapiro-Wilk	0.96890	0.071608
							Kolmogorov-Smirnov	0.08691	0.61694
							Anderson-Darling	0.75830	0.046352

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
Mediafc0kV	0.09801	1	0.09801	0.00646	0.93617	
Resíduos	1062.11900	70	15.17313			

Coeficientes do Modelo - Diffc0kV					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	0.52046	1.50968	0.34475	0.73132	0.11730	1.76454	0.29000
Mediafc0kV	-0.00362	0.04508	-0.08037	0.93617			

Heteroskedasticity Tests				Distância de Cook				
	Statistic	p		Amplitude				
				Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Breusch-Pagan	10.22036	0.0013890		0.01838	0.00275	0.03961	0.00000	0.18071
Goldfeld-Quandt	3.43059	2.6587e-4						
Harrison-McCabe	0.21469	0.0000						

Tabela 3.70 Análise de *Bland-Altman* para madeira verde, Ásia e Oceania – $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$ (jamovi, 2023)

Bland-Altman			
	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 72)	0.40487	-0.50405	1.31378
Lower limit of agreement	-7.17625	-8.73678	-5.61573
Upper limit of agreement	7.98599	6.42546	9.54652

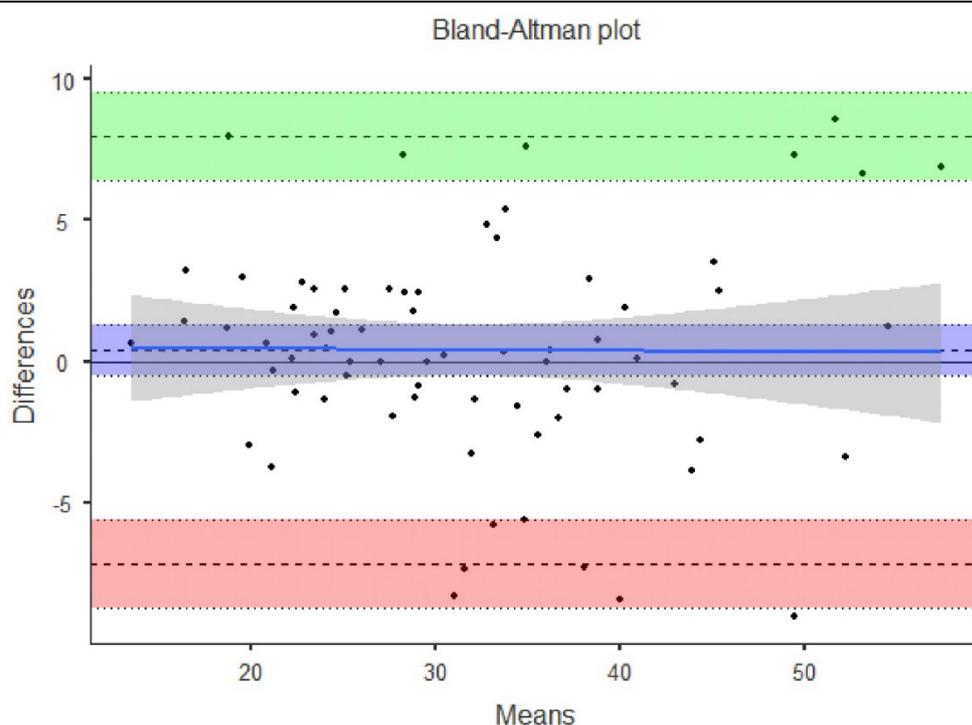


Figura 3.34 *Teste de Bland-Altman* para madeira verde, Ásia e Oceania - $f_{c0,kExp} \times f_{c0,kEst}$ (jamovi, 2023)

b) Verificação da Concordância Para Módulo de Elasticidade à Flexão Para Madeira Verde – Ásia e Oceania ($E_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para o módulo de elasticidade à flexão para madeira na condição verde ($E_{m,k}$) da Ásia e Oceania. Pela Tabela 3.71 verifica-se que a amostra representada pela diferença entre os dois modelos se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,066$; $p = 0,901 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(73) = 0,341$; $p = 0,734 \geq 0,05$), não se rejeita a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula (não é estatisticamente diferente de zero) e, portanto, há concordância entre os dois modelos.

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,081$; $p = 0,723 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 2,047$; $p = 0,920 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,116 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(72; 1) = 2,058$; $p = 0,156 \geq 0,05$; $r = 0,167$ e $R^2 = 0,028$), o que é importante.

Tabela 3.71 *Teste t de Student* para uma amostra representada pela diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade, madeira verde, Ásia e Oceania - $E_{m,k}$ (jamovi, 2023)

Teste t para uma amostra					Tests of Normality			
		Estadística	gl	p			statistic	p
Diffc0kV	t de Student	0.88818	71.00000	0.37744	Diffc0kV	Shapiro-Wilk	0.96930	0.075540
						Kolmogorov-Smirnov	0.08781	0.63538
						Anderson-Darling	0.74404	0.050309

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Tabela 3.72 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica e coeficientes de ajustamento da regressão linear, madeira verde, Ásia e Oceania (*Média $E_{m,k}$ x Dif $E_{m,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests			
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p		
			F	gl1	gl2	p				
1	0.00961	0.00009	0.00646	1	70	0.93617	Shapiro-Wilk	0.96890	0.071608	
								Kolmogorov-Smirnov	0.08691	0.61694
								Anderson-Darling	0.75830	0.046352

Teste ANOVA omnibus

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Mediafc0kV	0.09801	1	0.09801	0.00646	0.93617
Resíduos	1062.11900	70	15.17313		

Coefficientes do Modelo - Diffc0kV

Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p
Intercepto	0.52046	1.50968	0.34475	0.73132
Mediafc0kV	-0.00362	0.04508	-0.08037	0.93617

Teste de autocorrelação de Durbin-Watson

Autocorrelação	Estatística DW	p
0.11730	1.76454	0.29000

Heteroskedasticity Tests

	Statistic	p
Breusch-Pagan	10.22036	0.0013890
Goldfeld-Quandt	3.43059	2.6587e-4
Harrison-McCabe	0.21469	0.0000

Distância de Cook

			Amplitude	
Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
0.01838	0.00275	0.03961	0.00000	0.18071

Portanto, o modelo matemático é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os

coeficientes de correlação e de determinação ($r = 0,167$ e $R^2 = 0,028$) podem ser considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.72 acima.

Tabela 3.73 Análise de Bland-Altman, madeira verde Ásia e Oceania - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

Bland-Altman			
	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 72)	0.40487	-0.50405	1.31378
Lower limit of agreement	-7.17625	-8.73678	-5.61573
Upper limit of agreement	7.98599	6.42546	9.54652

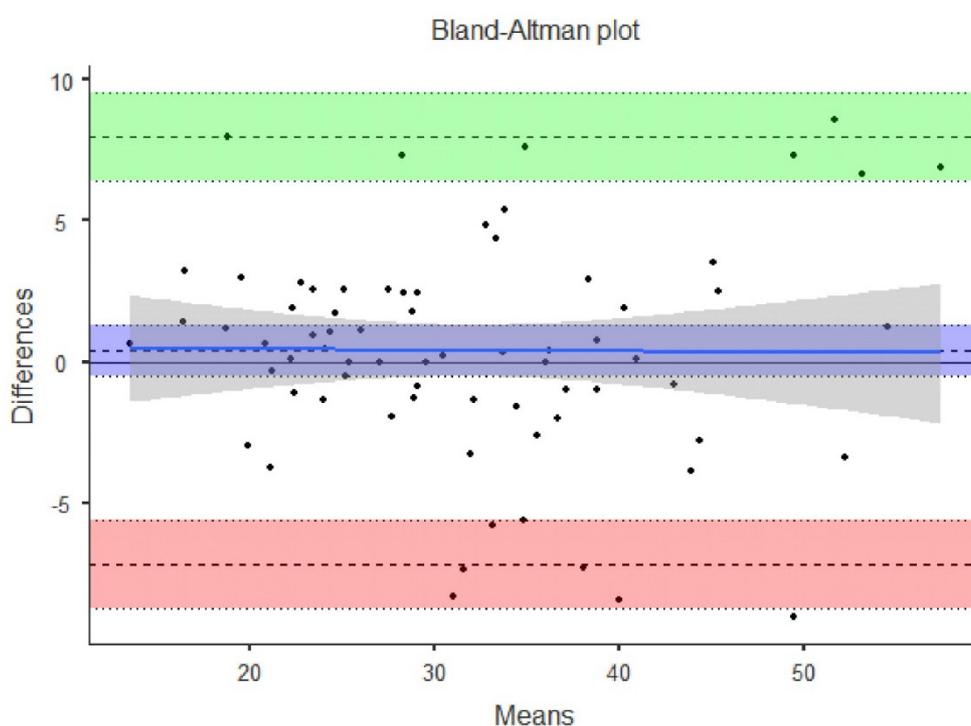


Figura 3.35 Teste de Bland-Altman, madeira verde, Ásia e Oceania - $E_{m,kExp} \times E_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

O Teste de Bland-Altman (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.35, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e que cerca de 94,59% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-2278,56; 2372,71] MPa e 98,65% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-2750,48; 2844,63] MPa para intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é pequeno e aceitável (47,07 MPa) quando comparado com o valor médio do módulo de elasticidade $E_{m,k}$ para madeira verde tropical (11.614,79 MPa), que representa um erro médio de apenas 0,41%. O viés estimado pode estar entre os intervalos superiores e inferiores [-227,83 MPa; 321,97 MPa], com 95% de confiança. Desta forma, o modelo matemático

poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) No *Teste t* para uma amostra a diferença entre os modelos se aproxima estatisticamente de forma significativa do valor zero; (2) a distribuição dos pontos de dados estão significativamente dentro dos limites de concordância estimados; (3) o viés, ou erro médio, é pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

c) Verificação da Concordância Para Resistência de Ruptura à Flexão Para Madeira Verde – Ásia e Oceania ($f_{m,k}$)

O objetivo deste item é verificar a concordância entre o modelo experimental externo de referência e o modelo matemático proposto para a resistência de ruptura à flexão ($f_{m,k}$) para madeira verde da Ásia e Oceania. Pela Tabela 3.74 verifica-se que a amostra se ajusta estatisticamente à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,115$; $p = 0,289 \geq 0,05$). Considerando o *Teste t de Student* para uma amostra, que é a diferença entre os modelos ($t(72) = -0,019$; $p = 0,985 \geq 0,05$), não se rejeitar a hipótese nula. Assim, a diferença entre o modelo experimental externo e o modelo matemático proposto é estatisticamente nula e, portanto, há concordância entre os dois modelos: o modelo experimental e o modelo estimado matematicamente a partir da densidade básica.

Tabela 3.74 *Teste t de Student* para uma amostra da diferença entre o modelo experimental de referência e o modelo matemático proposto para módulo de elasticidade – madeira verde, Ásia e Oceania $f_{m,k}$

Teste t para uma amostra				Tests of Normality				
		Estatística	gl	p			statistic	p
DiffmkV	t de Student	-0.01929	72.00000	0.98466	DiffmkV	Shapiro-Wilk	0.96655	0.049599
						Kolmogorov-Smirnov	0.11500	0.28923
						Anderson-Darling	0.88759	0.022086

Nota. $H_a \mu \neq 0$

Traçando-se uma linha de dispersão entre a *média x diferença* e fazendo-se uma regressão linear, observa-se que os resíduos do modelo se ajustaram à distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov $KS = 0,116$; $p = 0,282 \geq 0,05$), são independentes (Durbin-Watson $DW = 1,592$; $p = 0,060 \geq 0,05$), não há outliers, nem presença de pontos de alta alavancagem (Distância de Cook $DC = 0,298 \leq 1,0$). Na análise paramétrica de regressão linear simples, o modelo global não é estatisticamente significativo ($F(71; 1) = 0,007$; $p = 0,933 \geq 0,05$; $r = 0,010$ e $R^2 = 10^{-4}$), o que é importante. Portanto o modelo é homoscedástico em suas estimativas, o que significa que as variâncias são estatisticamente homogêneas ao longo do domínio, de modo que o modelo matemático proposto não apresenta a tendência de errar para mais, ou para menos, não apresentando viés de

proporção, o que é desejável. Contudo, mais importante ainda é que a diferença entre o modelo experimental e matemático foi estatisticamente nula, conforme demonstrado pelo *Teste t de Student* acima. Os coeficientes correlação e de determinação ($r = 0,010$ e $R^2 = 10^{-4}$) são considerados muito fracos, segundo a literatura, reforçando a homoscedasticidade do modelo matemático, conforme pode ser verificado na Tabela 3.75, abaixo.

Tabela 3.75 Linha de dispersão *Média x Diferença*, teste ANOVA, verificação de pressupostos da análise paramétrica, coeficientes de ajustamento da regressão linear para madeira verde, Ásia e Oceania (*Média $f_{m,k}$ x Diff $f_{m,k}$*) (jamovi, 2023)

Medidas de Ajustamento do Modelo							Normality Tests		
Modelo	R	R ²	Teste ao Modelo Global				Statistic	p	
			F	gl1	gl2	p			
1	0.01000	0.00010	0.00710	1	71	0.93306	Shapiro-Wilk	0.96622	0.047435
							Kolmogorov-Smirnov	0.11572	0.28234
							Anderson-Darling	0.89413	0.021273

Teste ANOVA omnibus						
	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	
MediafmkV	0.35535	1	0.35535	0.00710	0.93306	
Resíduos	3551.26402	71	50.01780			

Coeficientes do Modelo - DiffmkV					Teste de autocorrelação de Durbin-Watson		
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	Autocorrelação	Estatística DW	p
Intercepto	-0.21466	2.49967	-0.08588	0.93181	0.20035	1.59150	0.060000
MediafmkV	0.00294	0.03487	0.08429	0.93306			

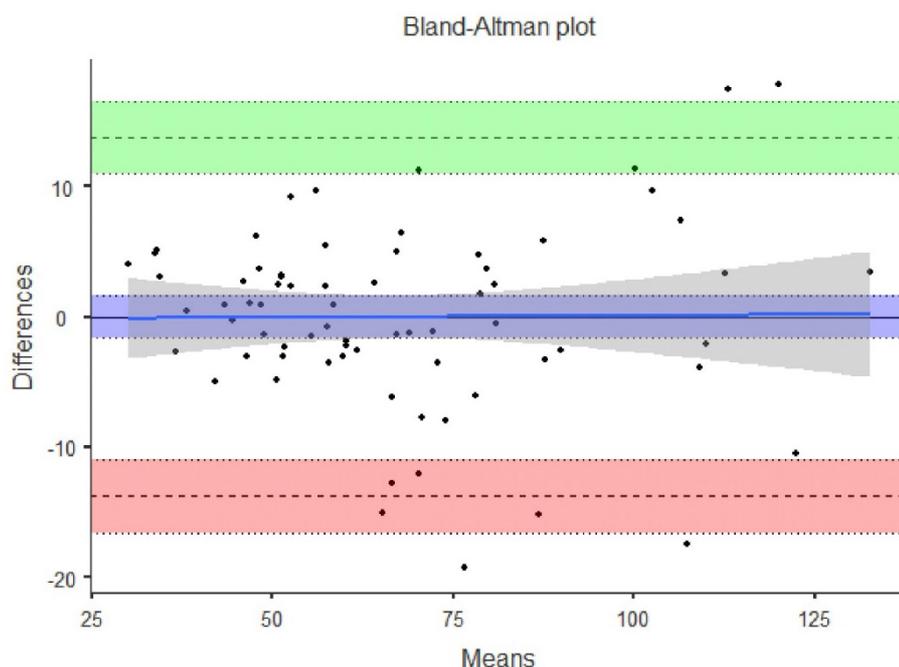
Heteroskedasticity Tests				Distância de Cook				
	Statistic	p		Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	
							Min	Max
Breusch-Pagan	12.85381	3.3679e-4		0.01904	0.00324	0.04906	0.00001	0.29832
Goldfeld-Quandt	5.63149	1.0055e-6						
Harrison-McCabe	0.15153	0.0000						

O *Teste de Bland-Altman* (Plot de Bland-Altman), conforme a Figura 3.36, as linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% e cerca de 91,78% dos pontos de dados estão dentro dos limites de concordância estimados [-13,78; 13,75] MPa e 94,52% dos pontos estão entre os limites de concordância superiores e inferiores [-16,60; 16,56] MPa com intervalo de confiança de 95%. O viés estimado, ou erro médio, é muito pequeno, quase nulo, e aceitável (-0,016 MPa), podendo estar entre os intervalos superiores e inferiores [-1,66 MPa; 1,62 MPa], com 95% de confiança.

Tabela 3.76 Análise de *Bland-Altman* para madeira verde, Asia e Oceania – $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 73)	-0.01586	-1.65454	1.62282
Lower limit of agreement	-13.78171	-16.59500	-10.96842
Upper limit of agreement	13.74999	10.93670	16.56328

>



>

Figura 3.36 Teste de *Bland-Altman* para madeira verde da Ásia e Oceania- $f_{m,kExp} \times f_{m,kEst}$ (jamovi, 2023)

Desta forma, o modelo matemático poderá ser classificado com um grau de concordância adequado, considerando que: (1) o *Teste t de Student* para uma amostra indica que a diferença entre os modelos não é estatisticamente e significativamente diferente de zero; (2) a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%; (3) o viés, ou erro médio, é muito pequeno e aceitável; (4) o modelo matemático proposto é homoscedástico, não tendo tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio que compreende desde madeiras de baixa densidade até madeiras de alta densidade básica.

3.5.4 Sobre o Método Científico e a Generalização do Modelo Matemático

Este item aborda sobre o Método Científico, suas etapas, seus procedimentos sistemáticos e métodos para a validação da pesquisa como um conhecimento verdadeiro, livre especialmente da subjetividade do pesquisador. No item 1.2.1 desta Tese, questões sobre o método científico, seus conceitos e

importância são discutidos. A finalidade de uma pesquisa científica é a obtenção da verdade pela comprovação ou demonstração de um problema científico a ser solucionado. Nas pesquisas científicas e acadêmicas, uma hipótese corresponde a uma possibilidade de explicação sobre determinada causa de estudo. Um objeto de pesquisa pode ter diversas hipóteses. Hipótese é uma suposição, um pressuposto, tese de que algo pode (ou não) ser verosímil, que seja possível de ser verificado, a partir da qual se extrai uma ou mais conclusões. Uma hipótese científica é uma proposição especulativa que, se aceita de forma provisória, pode ser ponto de partida de uma investigação. Hipótese nula é um conceito do âmbito da estatística e da probabilidade, que foi amplamente utilizada neste trabalho, que afirma que uma hipótese é considerada verdadeira até que surjam evidências que provem ao contrário. A verdade ou refutação da hipótese é determinada graças a raciocínios ou experiências (em laboratório, ou estatísticas), sendo de responsabilidade do pesquisador pôr em práticas métodos de comprovação, ou demonstração para se descobrir quais hipóteses são mais prováveis ou verdadeiras. Se uma hipótese é confirmada, ela se transforma na fundamentação de uma teoria, se ela é refutada, se transforma em um contra-argumento (Eco, 2008).

3.5.4.1 *Validação do Modelo Matemático de Resistência Restrito Ao Domínio da Amostra Utilizada na Construção do Modelo de Regressão*

Este item discute a importância da validação do modelo matemático de resistência restrito à amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão linear. Neste sentido as etapas do método científico nesta Tese envolveram as seguintes etapas:

- *Observação*: Existe uma forte correlação entre propriedades físicas e mecânicas da madeira (Noack, 1970).
- *Questionamento*: Perguntas que poderiam ajudar a explicar essas correlações entre propriedades da madeira, ou encontrar possíveis razões que ocasionaram a situação-problema. Alguns exemplos de questionamento que já tinham sido estudados e foram encontrados na literatura, foram: “*Por que essas correlações entre propriedades ocorrem?*”, “*Quais os fatores que poderiam influenciá-los?*”, “*Como é possível descrever matematicamente essas correlações?*” (Noack, 1970) (Melo, et al., 1992) (Melo, 2016) (Melo, 2016)
- *Construção de Hipóteses*: As perguntas que esta Tese, neste contexto, deve responder, são:
 - A densidade básica, associada ou não com outras propriedades de espécies de madeira tropical suficiente para explicar e simular de forma estatisticamente significativa propriedades físicas e mecânicas da madeira, tanto no processo de caracterização quanto na formulação matemática para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira? (De Paula, 2019)
 - É possível desenvolver um modelo matemático de resistência do material capaz de simular propriedades mecânicas e físicas de madeiras tropicais, de forma estatisticamente significativa, a partir de outras propriedades da madeira? (De Paula, 2019).

- É possível desenvolver modelos de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, que sejam estatisticamente significativos, utilizando o modelo matemático desenvolvido para a simulação da resistência do material a partir de códigos de projeto nacionais e também estrangeiros? (De Paula, 2019).
- *Método Científico Experimental*: O banco de dados experimentais do Laboratório de Produtos Florestais-LPF, do IBAMA, resultado do Programa de Caracterização de Madeiras Tropicais conduzido pelo laboratório nos últimos trinta e sete anos, foi utilizado como amostra experimental para os modelos de regressão linear simples e múltipla, utilizados na construção de um modelo matemático de resistência da madeira.
- *Método Estatístico Para Análise da Hipóteses*: Foram aplicadas ferramentas de estatística inferencial para validação da investigação científica. Os dados foram organizados, analisados e interpretados de forma quantitativa, definindo-se: tipos de variáveis envolvidas, independência entre as variáveis, coleta amostral aleatória; variabilidade dos fenômenos estudados, tamanho da amostra experimental de referência; verificação do ajuste à distribuição normal dos dados brutos da amostra experimental, definição da significância e confiança estatística paramétrica, definição dos testes e respectivos pressupostos estatísticos a serem atendidos. Os estudos de inferência estatística paramétrica forneceu, de forma robusta, dados numéricos para estimação da probabilidade de acerto e margem de erro dos resultados obtidos a partir da utilização do Modelo Matemático de Resistência da Madeira, obtidos dos modelos de regressão linear (Anscombe, 1963) (Guenther, 1964) (Barreto, 2011) (Montgomery, et al., 1992) (Mendenhall, 1993) (Charnet, et al., 2008) (Carvalho, et al., 2015) (Alves, 2021a) (Alves, 2021b) (Alves, 2021c) (Honório, 2022).
- *Análise das Hipóteses*: Na análise estatística paramétrica de regressão linear simples o modelo matemático de resistência, para todas as propriedades mecânicas estudadas foi estatisticamente significativo. O coeficiente de determinação, que mede a qualidade de ajuste da linha de regressão, ou quanto o modelo consegue explicar da variância dos valores observados, foram sempre significativos (vejam-se itens-3, item-3.3 e item-3.4 desta Tese).
- *Conclusão*: Em análise os itens anteriores verifica-se que pressupostos das análises estatísticas paramétricas indicam que os modelos globais de resistência estimados pela regressão linear são estatisticamente significativos. Portanto, é possível afirmar que a diferença entre os modelos experimentais de referência e o modelo matemático de resistência proposto é estatisticamente nula (ser *estatisticamente nulo*, *não significa identidade ao zero*). Neste sentido é possível afirmar que, no domínio restrito da amostra utilizada na construção do modelo de regressão, que existe concordância e o **modelo matemático de resistência é adequado para simular espécies tropicais dentro da amostra que gerou o modelo**. Portanto, a esta altura a capacidade de estimação do modelo ainda está restrito à amostra utilizada na elaboração do próprio modelo de regressão linear.

3.5.4.2 Teste de Generalização do Modelo Matemático Com Amostras Externas

Este item discute a importância da validação cruzada na análise de regressão no sentido de verificar se o modelo é generalizável para toda a população ou se está restrito apenas à amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão, conforme já demonstrado no item 3.5.4.1. Para isso, é utilizada a técnica do teste de Bland-Altman que avalia a concordância entre dois modelos ou métodos distintos. No caso desta Tese o *Teste de Bland-Altman* avalia se a concordância entre o modelo

experimental e o modelo matemático de resistência proposto pode ser classificada como: *adequada*, *parcialmente adequada* ou, eventualmente *inadequada*.

A análise de regressão estima os parâmetros de uma função a partir dos dados de uma amostra. Os modelos gerados dessa forma, mesmo sendo estatisticamente significativos e atendendo aos pressupostos das análises estatísticas paramétricas (conforme item 3.5.4.1), podem ser que não estimem bem toda a população de onde foi obtida e extraída a amostra. Assim, pode ser que o modelo somente estime com precisão a amostra utilizada para a elaboração da regressão. Quando isso acontece o modelo é dito não generalizável. Nesses casos em que o modelo não seja generalizável, deve-se restringir qualquer conclusão baseada no modelo apenas à amostra utilizada para a elaboração da regressão. Para generalizar um modelo de regressão e então poder fazer inferências sobre toda a população, pode-se fazer uma *validação cruzada*, que é uma técnica para se verificar a generalização do modelo, utilizando-se de amostras externas, ou parte da própria amostra. Assim, se o modelo é aplicado a amostras externas representativas e se não existe diferença estatisticamente significativa entre a amostra externa experimental e a correspondente amostra estimada pelo modelo matemático, então o modelo pode ser considerado generalizável. Nesta Tese a validação cruzada foi feita com a verificação da concordância, utilizando-se a técnica do teste de Bland-Altman, entre amostras experimentais externas obtidas na literatura e as correspondentes amostras estimadas a partir do modelo de regressão linear, utilizando-se a densidade básica como variável independente (Raposo, 2020) (Barreto, 2011) (Charnet, et al., 2008) (Honório, 2022).

A estatística inferencial paramétrica do Teste de Bland-Altman, que avalia a diferença entre dois modelos distintos, nesta Tese foi discutida no item 2.6.8 e aplicada de forma detalhada, com a análise dos testes adequados e respectivos pressupostos necessários, no item 3.5. A Análise e Interpretação do Teste de Bland-Altman, que não se restringe somente ao gráfico (*Plot de Bland-Altman*) e a distribuição dos dados entre os limites de concordância, compreende as seguintes avaliações (Honório, 2022) (Abdalla, 2023):

1. Elaboração de um *Teste t de Student para uma amostra*, que é a diferença entre a amostra experimental de referência e a amostra estimada a partir do modelo matemático, verificando se a diferença entre os modelos é estatisticamente, de forma significativa, igual ao zero.
2. Verificação se a distribuição dos pontos de dados está dentro dos limites de concordância estimados para uma confiança de 95%.
3. Verificação se o viés, ou erro médio (média da diferença), é pequeno e aceitável dentro da escala do fenômeno analisado, onde o valor zero é o desejável.
4. Verificação se o modelo matemático proposto é homoscedástico não havendo o que se chama de *viés de proporção*, o que significa que as variâncias são homogêneas e o modelo não tem a tendência de errar para mais, ou para menos dentro do domínio do fenômeno pesquisado.

Tabela 3.77 Análise de concordância e generalização do modelo matemático proposto.

Análise de Generalização do Modelo Matemático Para Simulação de Florestas Tropicais									
Continentes	Teor de Umidade	Propriedade Mecânica	N	Teste t	Limites de Concordância	Erro Médio	Variância Homogênea	Análise Final	
								Check	Classificação
América Espanhola	Seco	$f_{c0,k}$	97	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	93	✓	✓	✓	✗	⚠	Parc. Adeq.
		$f_{m,k}$	90	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
	Verde	$f_{c0,k}$	93	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	81	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$f_{m,k}$	96	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
África	Seco	$f_{c0,k}$	100	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	98	✗	✓	✓	✗	⚠	Parc. Adeq.
		$f_{m,k}$	95	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
	Verde	$f_{c0,k}$	38	✗	✓	✓	✓	⚠	Parc. Adeq.
		$E_{m,k}$	42	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$f_{m,k}$	90	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
Ásia e Oceania	Seco	$f_{c0,k}$	73	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	63	✓	✓	✓	✗	⚠	Parc. Adeq.
		$f_{m,k}$	75	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
	Verde	$f_{c0,k}$	72	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	72	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$f_{m,k}$	73	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
Amostra Única	Seco	$f_{c0,k}$	270	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	254	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$f_{m,k}$	258	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
	Verde	$f_{c0,k}$	203	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$E_{m,k}$	195	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado
		$f_{m,k}$	259	✓	✓	✓	✓	✓	Adequado

Nesta Tese foi proposta, a partir da literatura, a seguinte classificação para o Grau de Concordância entre modelos comparados pelo Teste de Bland-Altman, tendo como referência os itens acima (Abdalla, 2023):

- a) *Grau de Concordância Adequado*: quando são atendidos todos os quesitos de (1) a (4).
- b) *Grau de Concordância Parcialmente Adequado*: quando não atendidos pelo menos um dos itens de (1) a (4), acima.
- c) *Grau de Concordância Inadequado*: quando não são atendidos simultaneamente pelo menos os itens (1) e (2), acima.

A análise da validação cruzada para verificar se o modelo é generalizável para toda a população ou se está restrito apenas à amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão, foi aplicada de forma detalhada no item 3.5 desta Tese e está sintetizada na Tabela 3.77, acima. O mais importante para o Teste de Bland-Altman na verificação se o modelo é generalizável para toda a população de onde foi retirada a amostra é o resultado do *Teste t de Student*, onde a diferença entre os modelos não deve ser estatisticamente diferente de zero. É importante destacar que em estatística, como já afirmado anteriormente, isso não significa identidade ao zero. Na análise de Bland-Altman é desejável que o modelo matemático seja homocedástico, mas não é o mais importante. Em se tratando de análise estatística inferencial paramétrica, é imprescindível que os dados estatisticamente se ajustem à distribuição normal, conforme demonstrado na Tese. Outros quesitos que podem explicar os poucos casos em que a concordância dos modelos foi classificada como “*Parcialmente Adequada*”, são: (1) a maneira como os dados externos foram obtidos; (2) o tamanho da amostra; (3) a aleatoriedade da coleta. Não se sabe pela literatura consultada, como as amostras foram obtidas, sobre os quesitos acima. Outros aspectos são os erros não controlados presente nestas amostras de outros continentes, onde os ensaios não só foram realizados em laboratórios diferentes, como em países diferentes (Estados Unidos, Inglaterra e França).

Em análise o item 3.5 desta Tese e a Tabela 3.77 onde se encontra a síntese da análise de concordância e generalização do modelo matemático proposto, é possível afirmar que: “*O Modelo Matemático de Resistência proposto é generalizável para toda a população onde a amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão foi obtida*”. De outro modo é possível afirmar que: “*O Modelo Matemático Proposto é capaz de simular as resistências mecânicas de qualquer espécie de madeira tropical, já caracterizada ou não, de qualquer floresta tropical e de qualquer Continente (América, África, Ásia e Oceania)*”.

Um requisito fundamental do método científico utilizado é que a pesquisa contida no corpo desta Tese fornece todos os elementos para a sua verificação, contestação, ou refutação das hipóteses e conclusões apresentadas e, portanto, para uma continuidade pública.

4 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA COM MODELO DE SEGURANÇA DETERMINÍSTICO PELA NBR 7190/82

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo apresenta-se uma formulação matemática para o dimensionamento de estruturas de madeira tropical utilizando a densidade básica. A concepção teórica proposta tem a densidade básica da madeira como variável independente para o dimensionamento de elementos estruturais solicitados a tração, a compressão axial, barras fletidas e barras submetidas a interação entre esforço normal e momento fletor. Apresenta, também, o dimensionamento de ligações mais usuais de peças de madeira em estruturas. A formulação do método neste capítulo toma como referência as prescrições da norma brasileira NBR-7190/82, baseada no Método das Tensões Admissíveis (ASD), que é um modelo de segurança que também está presente nas normas americanas NDS - *National Design Standard* (NDS, 2015) e ASCE-*American Society of Civil Engeneering* (ASCE, 1997). As normas americanas referidas acima dispõem, no mesmo corpo dos seus respectivos códigos, prescrições para dimensionamento, tanto pelo Método das Tensões Admissíveis, quanto pelo Método dos Estados Limites (LRFD). A NBR-7190/82, utilizada neste capítulo como referência, estabelece as condições gerais a serem seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbramentos. É importante chamar atenção que o dimensionamento utilizando a densidade básica pode ser adaptado e utilizado para qualquer norma de projeto de estruturas de madeira que for utilizada como referência, independentemente do modelo de segurança adotado pela norma (ASD, ou LRFD). Dessa forma, é possível desenvolver uma formulação semelhante à descrita neste capítulo, tendo como base outros códigos estrangeiros consagrados, como, por exemplo o Eurocode-5 (2004), a norma americana da NDS (2015), a norma alemã, inglesa, a australiana, ou uma outra qualquer. É nesse sentido que o Capítulo 5 seguinte neste trabalho descreve a formulação matemática para o Método dos Estados Limites, utilizando-se as prescrições estabelecidas pela atual versão da norma brasileira (NBR 7190, 1997).

A formulação matemática do método é conceitualmente similar à formulação utilizada para dimensionamento de elementos estruturais de aço, especialmente para barras comprimidas axialmente. Assim, o método proposto emprega conceitos já consagrados para o dimensionamento de estruturais de aço, utilizando-se de uma analogia de tensões residuais resultantes do processo de fabricação dos perfis estruturais de aço, com tensões residuais resultantes do processo de secagem da madeira. Utiliza, também, em parte, conceitos utilizados no dimensionamento de elementos estruturais de concreto armado, com analogias de deformação lenta no concreto e os fenômenos de fluência em elementos estruturais de madeira.

As curvas de resistência para peças de concreto armado e aço para diferentes formas de seções são representadas por funções de interação tipo ϕ que, geralmente, correlacionam propriedades geométricas das seções com características mecânicas e físicas do material, conforme abaixo:

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, f_{ck}) \quad (4.1)$$

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, F_y) \quad (4.2)$$

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, \beta F_i^b, m) \quad (4.3)$$

Nos modelos para verificação de condições de segurança e desempenho de elementos estruturais, R_n é uma função que expressa a resistência nominal referente a um determinado estado limite, P_1, \dots, P_n geralmente são características geométricas da seção, ou do elemento estrutural. O f_{ck} e o F_y são a resistência característica a compressão do concreto e a resistência característica à tração do aço - o limite de escoamento, respectivamente. Para modelos de resistência de elementos estruturais de madeira, β é um fator que expressa a uniformidade e conformidade do material, ou seus produtos, F_i^b é uma função de resistência do material associada ao estado limite considerado e a direção entre as tensões e as fibras da madeira. O fator m relaciona as condições de uso da peça, ou edificação, e a duração do carregamento. Os ensaios de compressão de corpos de provas cilíndricos de concreto para determinação do f_{ck} são relativamente fáceis de serem realizados. Da mesma forma, o ensaio de tração com corpos de prova de chapas de aço, ou perfis estruturais, também é simples de ser realizado e de ser compreendido. Nas estruturas de aço todas as considerações e critérios para verificação de elementos estruturais, advêm do ensaio de tração simples. Para o aço praticamente todos os estados limites relacionados à tração (com exceção para o ELU de ruptura da área líquida à tração) e compressão axial, flexão e flexão composta tem sua condição de segurança relacionada diretamente ao limite de escoamento (F_y). O problema do dimensionamento de peças de aço é, portanto, menos complexo que para a madeira, em virtude do comportamento isotrópico do aço como material. A madeira, ao contrário, tem um comportamento anisotrópico: as suas propriedades variam de acordo com a direção das tensões em relação à direção das fibras da peça estrutural. A resistência da madeira é influenciada, também, pelo teor de umidade médio anual do local da edificação e do tempo de duração da carga solicitante, conforme a função ϕ , representada pela Equação 4.3 já descrita. Assim, em estruturas de madeira é necessário determinar tensões limites de resistência para os estados limites de tração e compressão paralela às fibras, compressão perpendicular às fibras,

tensões gradientes na flexão e de tensões tangenciais. Além disso, conforme discutiu-se acima, a resistência de um elemento estrutural depende do teor de umidade em que se encontra a madeira: verde, ou seca. Isso torna os ensaios de caracterização das espécies de madeira difíceis, complexos, caros e dispendiosos para serem realizados, mas não só pela multiplicidade de tensões resistentes a serem determinadas. O projeto e o dimensionamento de estruturas de madeira são, portanto, complexos e trabalhosos em virtude do comportamento anisotrópico da madeira, além dos aspectos tecnológicos e as condições de uso do material.

No Brasil há que se levar em conta que a tecnologia média na construção civil ainda se encontra em uma fase de desenvolvimento, especialmente para estruturas de madeira. Nesse sentido é de se notar que no mercado brasileiro, e também no Distrito Federal, a grande maioria da madeira comercializada para uso em estruturas, é verde (OLIVEIRA, *et al*, 2008). Isso é uma característica não só brasileira, mas dos mercados de comercialização de madeiras em países subdesenvolvidos, especialmente na África e na Ásia (CHUDNOFF, 1980 e 1985). Teoricamente não se deveria usar madeira verde em nenhuma aplicação. Isso, especialmente, porque a madeira seca (teor de umidade de 12%) é mais resistente que a madeira na condição verde. Assim, dimensionar estruturas na condição seca pode conduzir a projetos inseguros, caso a estrutura seja construída com madeira verde, o que é muito provável em países subdesenvolvidos como o Brasil. Como já foi comentado acima, teoricamente não se deveria usar madeira verde em estruturas, não só por aspectos relativos ao consumo de material no dimensionamento (madeira verde é menos resistente que a seca), mas pela possibilidade de aparecer defeito significativo durante a secagem natural da madeira, após a construção da estrutura. Contudo, a experiência mostra que para estruturas convencionais de coberturas, de pisos em edifícios residenciais, ou comerciais, as tipologias estruturais típicas normalmente impedem deslocamentos e rotações dos elementos, e conseqüentemente defeitos como encurvamento, ou torcimento de peças. Além disso, não é fácil encontrar no mercado alguma empresa que faça secagem de madeira para consumidores particulares.

A madeira seca (teor de umidade de 12%), portanto, é bem mais resistente (veja-se as correlações no Capítulo 3) que a madeira na condição verde. Dessa forma, além de condições relacionadas à segurança, a situação do mercado aponta para a necessidade, ainda, de se caracterizar novas espécies de madeira, não só na condição seca, mas também para a condição verde.

A revisão de uma norma de projeto estrutural que envolva a mudança do modelo de segurança a empregar deve ser feita com a precaução de que a nova versão possa ser normalmente aceita pelo meio técnico nela envolvido e interessado. A versão da NBR 7190 (1997) que substituiu a versão anterior (NBR 7190, 1982) trouxe uma profunda mudança no modelo de segurança. Do método determinista de tensões admissíveis (ASD) passou para o método probabilístico de estados limites

(LRFD). Para que a mudança pudesse ser assimilada mais facilmente pelo meio técnico nacional de tecnologia da madeira, a versão que está em vigor atualmente foi calibrada para que de início conduzisse aos mesmos resultados que a versão anterior. Esse procedimento é comum na revisão de códigos de projeto estruturais, inclusive em outros países, especialmente quando há mudança do modelo de segurança. Esse procedimento foi também adotado pelos americanos quando da introdução do método dos estados limites, tanto para estruturas de madeira, quanto para projeto de estruturas de aço (perfis de chapa dobrada e perfis laminados e soldados). Contudo, nos Estados Unidos em virtude de possuírem uma tradição de quase cem anos de uso do método das tensões admissíveis, passaram a conviver, no mesmo corpo das normas com dois modelos de segurança – ASD e LRFD (em madeira e aço). Nesse sentido, na mudança do modelo de segurança na atual versão da norma brasileira de madeira o ponto básico de ligação, entre as duas versões, consistiu em fazer com que as tensões resistentes nominais fossem iguais às tensões admissíveis anteriormente adotadas. A atual versão da norma brasileira de madeira (NBR 7190, 1997), apesar dos procedimentos e cuidados comentados acima, não foi totalmente aceita e utilizada pelo meio técnico. Isso se deve provavelmente por duas razões específicas: a sua complexidade, especialmente para os escritórios de projeto e a inconsistência do modelo adotado para estimar a resistência a compressão axial. Nesse sentido, para barras submetidas a compressão axial as funções de resistência propostas pela atual versão da norma são descontínuas nos limites de mudança entre barra curta, barra medianamente esbelta e barra longa e esbelta (valores de esbeltez limite entre faixas de esbeltez). É nesse sentido que muitos profissionais e escritórios de engenharia ainda utilizam a NBR 7190 (1982), a antiga versão da norma brasileira. É por essa razão, a realidade presente nos escritórios de projeto de engenharia no Brasil, que a formulação matemática utilizado a densidade básica, foi também desenvolvida para a versão em tensões admissíveis da antiga norma brasileira.

O Sistema de Amostragem desenvolvido em estudos de florestas tropicais do Paraguai (NOACK, 1970) e adaptado pelo LPF para as condições brasileiras, apresentado e discutido em capítulos anteriores dessa tese e por Bessa (2018), permite inferir que as funções de resistência determinadas pelo modelo de regressão linear simples amostral, podem estimar o comportamento da amostra estudada pelo LPF, mas ainda não pode ser utilizada para “estimar a floresta”. Isso significa que as funções de correlação estimadas ainda não podem ser utilizadas para prever propriedades físicas e mecânicas de espécies ainda não caracterizadas, ou mesmo ainda desconhecidas, somente a partir da densidade básica determinada em laboratório de uma espécie nova. Portanto, é preciso comprovar a significância estatística da formulação matemática proposta, a partir do banco de dados completo e as suas respectivas variâncias estatísticas. Até o momento os estudos de significância estatística foram elaborados a partir da média dos resultados dos ensaios de laboratório e seus

respectivos coeficientes de variação. Dessa forma, até essa fase da pesquisa é possível afirmar que a formulação matemática proposta tem significância estatística, dentro da base amostral estudada pelo LPF. Levando-se em conta o universo representativo da amostra do LPF (distribuição uniforme de espécies de baixa, média e alta densidade básica), com uma grande quantidade de madeiras tropicais com o uso estudado e definido, sob o ponto de vista prático e estatístico a formulação matemática proposta é vantajosa e ampla, no que se refere às inúmeras possibilidades de aplicações práticas em projeto de um modo geral.

Nos itens seguintes apresenta-se uma formulação matemática para o dimensionamento de estruturas de madeira tropical utilizando a densidade básica. A concepção teórica proposta tem a densidade básica da madeira como variável independente para o dimensionamento de elementos estruturais solicitados a tração e a compressão axial, barras fletidas e barras submetidas a interação entre esforço normal e momento fletor. A formulação matemática para dimensionamento apresentada nesta tese utiliza funções de resistência estimadas por um modelo de regressão linear simples amostral, conforme apresentado no Capítulo-3 anterior.

4.2 Dimensionamento de Barras Tracionadas

4.2.1 Considerações Gerais

Este item trata do estudo de barras tracionadas axialmente. Normalmente, barras tracionadas ocorrem em elementos de treliça utilizadas em cobertura de galpões de uso geral. Os critérios de verificação obedecem às seguintes hipóteses gerais básicas:

- A força de tração axial passa pelo centroide (CG) da seção transversal da peça.
- Ausência de momento fletor atuante em todo o comprimento da barra
- Barra retilínea sem imperfeições inicial e material sem defeito.
- Barra prismática (seção transversal constante).
- A tensão atuante na seção transversal é uniforme.
- Madeira verde (saturada).

A carga admissível à tração axial, admitindo-se as hipóteses acima, pode ser determinada para madeira verde e seca, respectivamente, por:

$$N_{t,as} = \phi_t A_n (2102,506D_b - 132,091) \quad (4.4)$$

$$N_{t,av} = \phi_t A_n (1659,581D_b - 215,093) \quad (4.5)$$

Onde:

$N_{t,as}$: Carga admissível à tração axial para madeira seca (teor de umidade a 12%) (Kgf)

$N_{t,av}$ Carga admissível à tração axial para madeira verde (Kgf)

ϕ_t : Fator de ponderação da resistência à tração = 0,15

A_n : Área líquida da seção transversal da barra (cm²)

D_b : Densidade básica (g/cm³).

4.3 Barras Comprimidadas

4.3.1 Considerações Gerais

Tipologias estruturais sejam em concreto, aço, ou madeira, com elementos exclusivamente a compressão axial não ocorre com muita frequência em casos práticos. Em peças estruturais, especialmente em madeira, dificilmente pode-se evitar pequenas excentricidades do carregamento em relação ao seu eixo (erros de montagem), curvaturas iniciais por empenamento em virtude de secagem inadequada das peças, ou mesmo erros construtivos. Além disso, ações imprevistas na análise estrutural, momentos fletores que possam surgir em função do tipo de ligação utilizada, ou a amplificação dos momentos fletores pelos esforços normais de compressão, especialmente em barras mais esbeltas, exigem verificação a flexocompressão. Desta forma, em projeto de pilares é desejável considerar uma excentricidade mínima e verificar à flexão composta. Neste item será considerada a condição, ou hipótese ideal de compressão axial centrada. Em pré-dimensionamentos e estruturas convencionais com pequenos vãos, onde a possibilidade de ocorrer momentos fletores importantes pode ser desprezada, apesar das considerações feitas acima, é possível dimensionar alguns desses elementos estruturais exclusivamente a compressão centrada. A resistência média de materiais e seus produtos, disponíveis no mercado, como concreto e aço, praticamente dobrou nos últimos trinta anos. Como consequência, isso tem conduzido, frequentemente, a estruturas cada vez mais esbeltas. Portanto, a verificação da instabilidade global das estruturas, com modelos computacionais matematicamente consistentes, passou a ser uma quase exigência presente nos códigos de projeto. Isso deverá ser uma tendência, também, para as estruturas de madeira. A grande variedade de madeiras de alta densidade básica e, conseqüentemente, resistência elevada, existentes na Amazônia, coloca à disposição do mercado da construção civil, para os arquitetos e engenheiros, diversas novas espécies de alta resistência mecânica e módulo de elasticidade elevado. Inúmeras novas espécies de madeira já foram caracterizadas, mas ainda são pouco conhecidas pelos projetistas. Hoje há uma concentração predatória na utilização do Ipê (*Tabebuia serratifolia*) e outras poucas espécies como o Cumaru (*Dipteryx odorata*) e o Angelim Pedra (*Hymenolobui petraeun*). Mas, espécies como a Muirapixuna (*Cassia scleroxylon*), Abiu-de-casca-fina (*Chrysophyllum prieurii*), Urucurana (*Sloanea nitida*) e o Pau-Santo (*Zollernia paraensis*) apenas para citar alguns exemplos, com grande ocorrência na Amazônia, podem ser uma opção vantajosa ao Ipê, no que se refere não só à resistência, como à durabilidade. Essas espécies com alta densidade básica, alta resistência mecânica, durabilidade natural elevada, facilidade de acabamento e odor agradável, por outro lado, conduzem a estruturas e elementos mais esbeltos. Isso deverá exigir em projeto a utilização de modelos

matemáticos consistentes para a análise de instabilidade global, também para as estruturas de madeira, como já foi comentado. Portanto, pode ser afirmado que a tendência é estruturas de madeira cada vez mais esbeltas, similar às estruturas de aço e de concreto.

Os elementos de madeira comprimidos axialmente na direção das fibras podem ser constituídos de seção maciça (roliça, lavrada, serrada), de seção composta de madeira roliça com ligações intermitentes, seções compostas de madeira serrada ligada continuamente, ou formada de elementos espaçados. Para peças com seção maciça, ou composta, pode-se utilizar o procedimento dos itens a seguir, para o seu dimensionamento, desde que seja assegurada a condição de seção composta perfeitamente solidarizada. Para o caso de seções compostas com elementos espaçados, o procedimento para dimensionamento deve seguir critérios específicos que levem em consideração a deformação por cisalhamento das seções compostas, para instabilidade em relação ao eixo que não é comum na seção transversal.

No dimensionamento pelo Método das Tensões Admissíveis (ASD), ou dos Estados Limites (LRFD) de peças comprimidas axialmente, os códigos de projeto, geralmente, consideram três faixas que associam a esbeltez da barra e a relação constitutiva do material. Outros códigos dividem as barras em duas faixas a partir de critérios semelhantes. Esse é um procedimento comum no projeto de barras comprimidas axialmente em estruturas de concreto armado, aço e também de madeira. Resultado da correlação entre esbeltez e a não linearidade física do material, os elementos estruturais são divididos, frequentemente, em três categorias com a seguinte denominação: barras curtas, barras intermediárias ou medianamente esbeltas, barras esbeltas (ou barras longas), conforme abaixo:

1. *Barras Curtas* (para valores pequenos da esbeltez $\lambda = \frac{kl}{i}$; onde k é o comprimento efetivo de flambagem da peça). Geralmente a tensão resistente admissível à compressão axial é estimada a partir pela tensão de ruptura a compressão axial paralela às fibras, determinada em laboratório.
2. *Barras de Esbeltez Intermediária, ou medianamente esbelta*. Nesses casos as imperfeições iniciais decorrentes dos processos construtivos, ou de secagem inadequada da madeira, além da relação constitutiva não linear do material, reduz a tensão de ruína da barra a um valor que pode ser menor do que a tensão de ruptura ao esmagamento da madeira a compressão axial paralela às fibras, obtida em ensaios de laboratório.
3. *Barras Longas* (para valores elevados de $\frac{kl}{i}$), onde a instabilidade pode ocorrer em regime elástico do material, a resistência é dada por funções ajustadas a partir da carga crítica (ou tensão crítica) de instabilidade de Euler, como apresentado adiante.

O comprimento efetivo de flambagem ($L_{fl} = kl$) na maioria das tipologias usuais de estruturas de madeira é igual ao comprimento real da peça. Isso significa que $k = 1$, pela dificuldade de se executar ligações perfeitamente rígidas em peças de madeira. São os casos de elementos individuais em treliças (banzos, diagonais, montantes), além de elementos de sistemas de contraventamentos em edificações. Algumas das poucas exceções são os pilares de pórticos

pertencentes a edificações diretamente apoiados em blocos de fundações. Nesses casos, as rotações e os deslocamentos transversais junto à fundação, podem ser considerados desprezíveis (“engaste”) e a extremidade oposta, onde geralmente se aplica a carga axial, pode ser considerada livre para deslocamentos transversais e rotações. Para essas situações é recomendável adotar $k = 2,1$, o que significa dizer que o comprimento efetivo de flambagem do pilar de madeira pode ser considerado como de barra isolada, mas com um comprimento ligeiramente superior ao dobro comprimento da barra (pela dificuldade de se conseguir rotação nula na fundação).

Para a seção seguinte de barra com compressão axial uniforme, as seguintes hipóteses básicas foram consideradas:

- A força de compressão axial passa pelo centroide (CG) da seção transversal da peça
- Ausência de momento fletor atuante em todo o comprimento da barra
- Barra retilínea sem imperfeições iniciais e materiais sem defeito
- Barra prismática (seção transversal constante)
- A tensão atuante na seção transversal é uniforme em todo o comprimento da barra
- As funções de resistência são determinadas para as situações tanto de madeira na condição verde, quanto para madeira seca (teor de umidade de 12%).

4.3.2 Resistência Admissível à Compressão Axial¹

A resistência da madeira é influenciada sensivelmente pela sua umidade, conforme já discutido nos capítulos precedentes. O Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA, no seu programa de caracterização de madeiras tropicais, estudou e elaborou ensaios de madeiras, tanto na condição verde, quanto seca (teor de umidade de 12%). As madeiras e fornecedores, no mercado brasileiro de madeiras e seus produtos, raramente, possuem sistemas de secagem artificial em estufa, nem mesmo pátios para secagem natural, conforme já foi discutido na introdução deste capítulo. Dessa forma, a maioria da madeira disponível para construção civil em geral, no mercado brasileiro, são madeiras verdes. Portanto, levando-se em consideração as condições do mercado brasileiro de construção civil, é recomendável que a verificação de estados limites últimos (resistência) e estados limites de utilização (deslocamentos, vibração) para estruturas de madeira, sejam feitas para a condição verde, além da condição seca. Apesar dessa realidade do mercado brasileiro de madeiras, conforme as recomendações das norma brasileira e dos códigos estrangeiros, Bessa (2018) desenvolveu as funções para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%), a partir das informações contidas no banco de dados do LPF.

Nos capítulos precedentes mostrou-se que existem fortes correlações entre a densidade básica da madeira e suas propriedades físicas e mecânicas. Nas seções seguintes é desenvolvida uma

¹ Neste texto define-se “madeira seca” para uma condição de teor de umidade de 12%

formulação matemática utilizando-se a densidade básica em funções de resistência a compressão axial uniforme, tanto para verificação de resistência e estabilidade de elementos estruturais, quanto para os estados limites de utilização, na condição seca e verde.

Definindo-se uma tensão resistente nominal de um elemento estrutural, para um determinado estado limite último R_n , para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%), ou verde, vem:

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, \beta F_i^b, m) \quad (4.6)$$

Onde:

R_n : Tensão resistente nominal de um elemento estrutural para um determinado estado limite último

ϕ : Função de interação que correlaciona propriedades geométricas das seções, características mecânicas e físicas do material, além da sua qualidade e uniformidade, condições de uso e tipo de carregamento.

P_1 e P_2 : São características geométricas da seção da barra, ou do elemento estrutural.

β : é um fator que expressa a uniformidade e conformidade do material.

F_i^b : Função resistência associada ao estado limite último considerado e a direção entre as tensões e as fibras da madeira, condição seca (teor de umidade de 12%), ou verde.

m : Relaciona as condições de uso da peça, ou edificação, e a duração do carregamento

Para um estado limite de compressão axial a Equação 4.6 toma a seguinte forma:

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, \beta F_i^b, m) = F_{cr}(A_g, \lambda, \beta f_{c0,k}, m) \quad (4.7)$$

Onde:

R_n : Tensão resistente nominal de um elemento estrutural à compressão axial

F_{cr} : Tensão crítica resistente nominal a compressão axial para madeira seca, ou verde

A_g : Área bruta da seção transversal da barra

λ : Esbeltez da barra em relação ao eixo em torno do qual ocorre a ruína por instabilidade

$f_{c0,k}$: Tensão resistente ao esmagamento a compressão paralela às fibras para madeira seca, ou verde

$F_i^b, \phi, P_1, P_2, \beta$ e m já foram definidos anteriormente.

Portanto, definindo-se uma tensão resistente admissível F_a a partir de F_{cr} , vem:

$$F_a = \phi_c F_{cr} = \phi_c F_{cr}(A_g, \lambda, f_{c0,k}) \quad (4.8)$$

Onde:

F_a : Tensão resistente admissível à compressão axial

F_{cr} : Tensão crítica resistente, função da esbeltez e da relação constitutiva do material

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial ao esmagamento paralelo às fibras da madeira (CPA) para madeira seca, ou verde.

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

ϕ_c : Coeficiente de minoração da resistência à compressão axial.

A partir das hipóteses consideradas na seção anterior e da teoria da mecânica clássica, é possível considerar uma distribuição uniforme de tensões na seção transversal para uma solicitação à compressão axial, em seções distantes dos pontos de ligação das barras, ou emendas de barras. Portanto, de forma análoga pode-se definir uma carga resistente admissível à compressão axial P_a , conforme abaixo:

$$N_{c,a} = \phi_c N_c = \phi_c F_{cr} = \phi_c A_g F_{cr}(\lambda, f_{c0,k})$$

$$N_{c,a} = \phi_c A_g F_{cr}(\lambda, f_{c0,k}) \quad (4.9)$$

Onde:

$N_{c,a}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra

$N_{c,n}$: Carga resistente nominal à compressão axial da barra

F_{cr} : Tensão crítica resistente, função da esbeltez e da relação constitutiva do material

$f_{c0,k}$: Tensão resistente ao esmagamento à compressão paralelo à direção das fibras (CPA), para madeira seca, ou verde.

A_g : Área bruta da seção transversal da barra

$\lambda = \frac{kl}{i}$: é a esbeltez real da barra

ϕ_c : Coeficiente de minoração da resistência à compressão axial paralela à direção das fibras

Portanto, é possível determinar F_{cr} como função da esbeltez da barra, da relação constitutiva do material e para a condição de umidade da madeira: seca, ou verde. A NBR-7190/82 considera no seu modelo de resistência à compressão axial os intervalos clássicos de esbeltez de barras da literatura de estruturas de madeira, a partir da tensão de instabilidade elástica de Euler, correspondente a uma tensão igual ao $f_{c0,k}$ (CPA). Portanto, classificando-se os elementos estruturais comprimidos em barras curtas ($\lambda \leq 40$), intermediárias ($40 < \lambda \leq 80$) e longas ($80 < \lambda \leq 140$), a formulação matemática para dimensionamento de barras comprimidas axialmente utiliza funções de resistência estimadas por um modelo de regressão linear simples amostral, construído a partir de banco de dados do LPF, obtido de a partir de um programa experimental para caracterização de espécies de madeiras tropicais. Para madeira na condição seca utiliza-se as correlações obtidas por Bessa (2018) e para madeira na condição verde as correlações obtidas neste trabalho.

a) Para $\lambda \leq 40$ (Barra Curta)

Para barras curtas com esbeltez até o limite considerado ($\lambda \leq 40$) há comprovação experimental que a ruína ocorre por esmagamento das fibras da madeira para tensões de compressão paralelas à direção das fibras, tanto para madeiras de baixa e média densidade básica, quanto para madeiras de alta densidade básica ($D_b \geq 720 \text{ kgf/cm}^2$). A Norma Brasileira NBR-7190/82 para o estado limite último de esmagamento das fibras considera o $f_{c0,k}$ como tensão característica resistente de

comparação para esmagamento a compressão paralela as fibras. Inicialmente para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%) a correlação entre o $f_{c0,k}$ e a densidade básica D_b é dada pela Equação (4.10), segundo Bessa (2018)², abaixo:

$$f_{c0,k} = CPA = (106,5973D_b - 3,0689) \quad (4.10)$$

A tensão nominal, ou tensão crítica de ruína para barra curta nesse caso é dada por $f_{c0,k}$ (NBR 7190, 82). Para madeira seca (Bessa, 2018), vem:

$$F_{cr} = f_{c0,k} = (106,5973D_b - 3,0689) \quad (4.11)$$

Onde:

F_{cr} : Tensão crítica resistente função da esbelteza e da relação constitutiva do material (MP_a)

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial ao esmagamento paralelo às fibras da madeira (MP_a)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

Para seções distantes de pontos de ligações em barras comprimidas (apoios e ligações de treliças em colunas, barras de treliças), é razoável considerar uma distribuição uniforme de tensões na seção transversal da barra comprimida axialmente, conforme a Equação 4.9:

$$N_{c,a} = \phi_c A_g F_{cr} \quad \therefore \quad (4.12)$$

Levando-se o valor de F_{cr} dada pela Equação 4.11 na Equação 4.12, para madeira na condição seca, vem:

$$N_{c,as} = \phi_c A_g (106,5973D_b - 3,0689) \quad (4.13)$$

Onde:

$N_{c,as}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira seca (Kgf)³

A_g : Área bruta da seção transversal

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³)

$\phi_c = 0,20$: Coeficiente de minoração da resistência à compressão axial (NBR 7190, 82)

Para madeira na condição verde, segundo a correlação obtida neste trabalho:

$$F_{cr} = f_{c0,k} = (82,7321D_b - 11,8863). \quad (4.14)$$

² Veja-se Capítulo-3

³ O valor de $f_{c0,k}$ está multiplicado por 10 (dez) de modo que $N_{c,as}$ retorne valores em Kgf

Assim, por analogia à Equação 4.13, para madeira verde, vem:

$$N_{c,av} = \phi_c A_g (827,321 D_b - 118,863) \quad (4.15)$$

Onde:

$N_{c,av}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira verde (Kgf)⁴

A_g : Área bruta da seção transversal

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³)

$\phi_c = 0,20$: Coeficiente de minoração da resistência à compressão axial (NBR 7190, 82)

b) Para $40 < \lambda \leq \lambda_0$ (Barras Intermediárias)

A NBR-7190/82 prescreve como tensão crítica resistente função da esbeltez e da relação constitutiva do material F_{cr} , para barras medianamente esbeltas, conforme abaixo:

$$F_{cr} = f_{c0,k} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right) \right] \quad (4.16)$$

Onde:

$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi^2 E_{Ms}}{8\phi_c f_{c0,k}}}$: Esbeltez limite da função resistência entre a zona de instabilidade inelástica e elástica

F_{cr} : Tensão crítica resistente função da esbeltez e da relação constitutiva do material

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras, para madeira seca, ou verde

E_M : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca, ou verde

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$\phi_c = 0,2$: Coeficiente de minoração da resistência à compressão axial (NBR 7190, 82).

Primeiramente, para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%), vem:

$$\phi_c = 0,2 \Rightarrow \lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi^2 E_{Ms}}{8 \cdot 0,2 \cdot f_{c0,k}}} = \sqrt{\frac{15}{8} \cdot \frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \sqrt{\frac{15}{8}} \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} \quad (4.17)$$

Onde:

λ_0 : Esbeltez limite da função resistência entre a zona de instabilidade inelástica e elástica

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca

E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra.

⁴ O valor de $f_{c0,k}$ está multiplicado por 10 (dez) de modo que $N_{c,av}$ retorne valores em Kgf

Definindo-se $\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}}$ como uma esbeltez correspondente à tensão de instabilidade elástica de Euler, correspondente à tensão resistente à compressão axial paralela as fibras, $f_{c0,k}$, para madeira na condição seca, vem:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{15}{8}} \cdot \alpha \quad (4.18)$$

$$\lambda_0 = 1,369\alpha \quad (4.19)$$

Para madeira na condição seca a correlação entre a densidade básica D_b e o $f_{c0,k}$ é dada pela Equação 4.10. Também, conforme proposto por Bessa (2018), considerando a correlação entre a densidade D_b e o módulo de elasticidade à flexão E_{Ms} , dado pela Equação 4.20, e para $\lambda_0 = 1,369\alpha$ levados na Equação 4.16, de F_{cr} , vem:

$$E_{Ms} = (16.047,5454D_b + 3229,1667) \quad (4.20)$$

$$F_{cr} = f_{c0} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right) \right] = (1065,973D_b - 30,689) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 (16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}} \\ &= \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Portanto, a tensão crítica resistente F_{cr} , como uma função da densidade básica D_b e da esbeltez α , é dada por:

$$F_{cr} = (106,5973D_b - 3,0689) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right] \quad (4.22)$$

Onde:

F_{cr} : Tensão crítica resistente função da esbeltez e da relação constitutiva do material (MP_a)

f_{c0} : Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)

E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a)

$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}}$, parâmetro de esbeltez da barra correspondente à $f_{c0,k}$

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)
 $\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez efetiva da barra.

Para barras medianamente esbeltas, também são válidas as hipóteses da mecânica clássica, para a distribuição de tensões para a situação de barras curtas comprimidas. Dessa, é razoável admitir uma distribuição uniforme de tensões na seção transversal da barra comprimida axialmente, de modo a ser válida as hipóteses da Equação 4.23:

$$N_{c,a} = \phi_c A_g F_{cr} \quad \therefore \quad (4.23)$$

Levando-se o valor de F_{cr} dada pela Equação 4.22 na Equação 4.23, para madeira na condição seca, vem:

$$N_{c,as} = \phi_c A_g F_{cr} = \phi_c A_g (1065,973 D_b - 30,689) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right]$$

$$N_{c,as} = \phi_c A_g (1065,973 D_b - 30,689) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right] \quad (4.24)$$

Onde:

$N_{c,as}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira seca (Kgf)⁵

A_g : Área bruta da seção transversal da barra

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{(106,5973 D_b - 3,0689)}}$, parâmetro de esbeltez da barra correspondente à $f_{c0,k}$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MPa)

E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MPa)

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$\phi_c = 0,20$: fator de ponderação para resistência à compressão paralela às fibras (NBR 7190, 82).

Para madeira na condição verde, segundo a correlação obtida neste trabalho:

$$F_{cr} = (82,7321 D_b - 11,8863) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right] \quad (4.25)$$

Assim, por analogia à Equação 4.24, para madeira verde, vem:

$$N_{c,as} = \phi_c A_g (827,321 D_b - 118,863) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right] \quad (4.26)$$

^{5,6} O valor de $f_{c0,k}$ está multiplicado por 10 (dez) de modo que $N_{c,as}$ e $N_{c,av}$ retornem valores em Kgf

Onde:

P_{av} : Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira verde (Kgf)⁶

A_g : Área bruta da seção transversal da barra (cm²)

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira verde (MPa)

E_{Mv} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira verde (MPa)

$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Mv}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b + 1876,1964)}{(82,7321D_b - 11,8863)}}$, parâmetro de esbeltez da barra correspondente à $f_{c0,k}$

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$\phi_c = 0,20$: fator de ponderação para resistência à compressão paralela às fibras (NBR 7190, 82)

c) Para $\lambda_0 < \lambda \leq 140$ (Barras Longas)

A NBR-7190/82 adota um coeficiente de segurança ligeiramente maior para o caso de barras longas, quando comparado com as barras curtas e intermediárias comprimidas axialmente. Isso se deve a menor coeficiente de variação dos resultados experimentais. O coeficiente de ponderação para barra esbelta é $\phi_c = \frac{1}{4} = 0,25$ (NBR 7190, 1982). Dessa forma, para que o fator de ponderação ϕ_c seja o mesmo, tanto para barras curtas e intermediárias, quanto para barras longas, será introduzido a constante de correção $\eta = 1,25$, na função crítica resistente (F_{cr}). Assim, o índice de segurança permanece o mesmo previsto pela norma brasileira. A tensão F_{cr} como função da esbeltez da barra e da relação constitutiva do material para o caso de barra esbelta, é obtida a partir da equação de instabilidade elástica de Euler, conforme abaixo:

$$F_{cr} = \eta \cdot F_e = \eta \cdot \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\lambda^2} \quad (4.27)$$

Fazendo $\eta = 1,25$, vem:

$$F_{cr} = 1,25 \cdot \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\lambda^2} = 1,25 F_e \quad (4.28)$$

Onde:

$F_e = \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\lambda^2}$: Tensão de instabilidade elástica de Euler (MPa)

E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MPa)

λ : É a esbeltez real da barra longa.

O módulo de elasticidade para madeira na condição seca é igual a $E_{Ms} = (16.047,5414D_b + 3229,1667)$, então:

$$F_{cr} = 1,25 \cdot \frac{\pi^2 E_{MS}}{\lambda^2} = 1,25 \left[\frac{\pi^2 (16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{\lambda^2} \right] = 12,3370 \left[\frac{(16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{\lambda^2} \right] \quad (4.29)$$

$$F_{cr} = 12,3370 \left[\frac{(16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{\lambda^2} \right] \quad (4.30)$$

Onde:

F_{cr} : Tensão crítica resistente função da esbeltez e da relação constitutiva do material (MP_a)

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^2}$)

$\lambda = \frac{kl}{i}$: É a esbeltez real da barra.

A partir da hipótese de uma distribuição uniforme de tensões na seção transversal da barra comprimida axialmente, pode-se definir uma força resistente admissível à compressão axial P_a , a partir da Equação 4.30 e da área bruta A_g . Então,

$$N_{c,as} = \phi_c A_g F_{cr} \quad (4.31)$$

$$N_{c,as} = 123,370 \phi_c A_g \left[\frac{(16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{\lambda^2} \right] \quad (4.32)$$

Onde:

$N_{c,as}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira seca (Kgf)⁷

A_g : Área bruta da seção transversal da barra

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^2}$)

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{MS}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{(106,5973 D_b - 3,0689)}}, \text{ parâmetro de esbeltez da barra correspondente}$$

à $f_{c0,k}$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)

E_{MS} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a)

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$\phi_c = 0,20$: fator de ponderação para resistência à compressão paralela às fibras (NBR 7190, 82).

Para madeira na condição verde, segundo a correlação obtida neste trabalho, vem:

$$F_{cr} = 12,3370 \left[\frac{(15,298,5500 D_b + 1876,1964)}{\lambda^2} \right] \quad (4.33)$$

Assim, por analogia à Equação 4.32, para madeira verde, vem:

$$N_{c,av} = 123,370 \phi_c A_g \left[\frac{(15,298,5500 D_b + 1876,1964)}{\lambda^2} \right] \quad (4.34)$$

^{7, 8} $N_{c,as}$ e $N_{c,av}$ retornem valores em Kgf

Onde:

$N_{c,av}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira verde (Kgf)⁸

A_g : Área bruta da seção transversal da barra (cm²)

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Mv}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b + 1876,1964)}{(82,7321D_b - 11,8863)}}$, parâmetro de esbeltez da barra correspondente à $f_{c0,k}$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira verde (MPa)

E_{Mv} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira verde (MPa)

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$\phi_c = 0,20$: fator de ponderação para resistência à compressão paralela às fibras (NBR 7190, 82).

4.3.3 Funções Adimensionais Para a Resistência à Compressão Axial

As funções que estimam a resistência a compressão axial serão normalizadas de modo a tornar a função $F_{cr} = f(\lambda, D_b)$ adimensional. A tensão crítica F_{cr} é uma função que pode ser representada na forma $f: A \rightarrow B$, com domínio igual ao conjunto dos elementos $D(f) = \{x \in \mathbb{R}^+ \mid 0 \leq x \leq 140\}$ e imagem igual ao conjunto dos elementos $Im(f) = \{y \in \mathbb{R}^+ \mid 0 \leq y \leq f_{c0,k}\}$. As normas escolhidas são de tal sorte que a imagem possa ser representada pelo conjunto $Im(f) = \{y \in \mathbb{R}^+ \mid 0 \leq y \leq 1,0\}$ e o domínio pelo conjunto $D(f) = \{x \in \mathbb{R}^+ \mid 0 \leq x \leq \frac{140}{\alpha}\}$. Dessa forma, a curva do modelo de resistência a compressão axial será adimensional e terá a densidade básica D_b , da espécie de madeira considerada no projeto, como variável independente. Além disso, as curvas adimensionais simplificam a compreensão e a forma dessas equações correspondentes à função matemática do modelo de resistência. A normalização das funções, também, unifica os procedimentos para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira, com os procedimentos utilizados para o dimensionamento de elementos estruturais de aço, já adotado pelos principais códigos de projeto. Isso é uma vantagem para a compreensão teórica e o ensino do novo método proposta utilizando a densidade básica da madeira. A normalização das funções facilita, também, a informatização, como a elaboração de ábacos adimensionais e tabelas com menor número de dados e maior precisão. Assim, para a normalização será definida uma função adimensional de resistência à compressão axial denominada como ρ e uma esbeltez reduzida, ou fictícia, $\bar{\lambda}$ como a seguir:

$F_{cr} \rightarrow$ Normalizada tomando-se como norma a tensão $f_{c0,k}$ de modo que $\rho = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}}$ e

$\lambda \rightarrow$ Normalizado tomando-se como norma uma esbeltez corresponde à tensão de instabilidade elástica de Euler, igual ao $f_{c0,k}$. Dessa forma, $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$.

a) Para $\lambda \leq 40$ (Barras Curtas)

Para barras curtas, tomando como norma a tensão resistente à compressão axial paralela às fibras $f_{c0,k}$ (CPA), vem:

$$\rho = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}} \quad (4.35)$$

Para barras curtas ($\lambda \leq 40$) a NBR-7190/82 estabelece a tensão crítica resistente conforme a Equação 4.36, abaixo:

$$F_{cr} = f_{c0,k} \quad \therefore \quad (4.36)$$

$$\rho = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}} = \frac{f_{c0,k}}{f_{c0,k}} = 1,0$$

Portanto, para barras curta ($\lambda \leq 40$) a função adimensional ρ é uma função constante e igual à unidade, como se pretendia:

$$\rho = 1,0 \quad (4.37)$$

Onde:

ρ : função adimensional de resistência à compressão axial.

Para a normalização da esbeltez real da barra, dada por $\lambda = \frac{kl}{i}$, será utilizado uma esbeltez limite correspondente à tensão crítica de instabilidade elástica de Euler, a partir da tensão de ruína à compressão axial paralela às fibras $f_{c0,k}$. Assim:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (4.38)$$

Assim, para $\sigma_{cr} = f_{c0,k}$, $E = E_M$ e $\lambda = \alpha$, vem:

$$f_{c0,k} = \frac{\pi^2 E_M}{\alpha^2} \Rightarrow \alpha^2 = \frac{\pi^2 E_M}{f_{c0,k}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_M}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E_M}{f_{c0,k}}} \quad (4.39)$$

Onde:

α : É a esbeltez limite correspondente a $f_{c0,k}$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras, madeira seca e verde (MP_a)

E_M : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca e verde (MP_a)

Dessa forma, para madeira na condição seca (Bessa, 2018), vem:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}}$$

$$\alpha = \pi \sqrt{\frac{E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}} \quad (4.40)$$

Definindo-se uma esbeltez reduzida fictícia a partir de α , obtem-se $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$. Para o intervalo de esbeltez considerado e para $\lambda = 40$, a esbeltez reduzida no limite do intervalo é dada por:

$$\bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha} = \frac{40}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{Ms}}} = \frac{40}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{(106,5973D_b - 3,0689)}{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}}, \text{ ou:}$$

$$\text{Para } \lambda = 40 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha} \quad (4.41)$$

Para um valor genérico de λ , no intervalo ($0 \leq \lambda \leq 40$, ou $0 < \bar{\lambda} \leq \frac{40}{\alpha}$), vem:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} \therefore \quad (4.42)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{1}{\pi} \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{Ms}}} = \frac{1}{\pi} \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{(106,5973D_b - 3,0689)}{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{kl}{i} \sqrt{\frac{(106,5973D_b - 3,0689)}{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}} \quad (4.43)$$

Onde:

$\bar{\lambda}$: É uma esbeltez reduzida, ou fictícia da barra

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}}$, parâmetro de esbeltez da barra correspondente à $f_{c0,k}$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira verde (MP_a)

E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a)

b) Para $40 < \lambda \leq \lambda_0$ (Barras Intermediárias)

Para barras intermediárias, medianamente esbeltas, comprimidas axialmente, a partir da Equação

4.16, tem-se que a função F_{cr} , segundo a NBR 7191/82, é dada por:

$$F_{cr} = f_{c0,k} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right]$$

Para $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} \Rightarrow \lambda = \alpha \bar{\lambda}$ e fazendo $\rho = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}}$, vem:

$$\rho = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}} = \frac{f_{c0,k}}{f_{c0,k}} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha \bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right] = \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha \bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right]$$

Portanto, para $40 < \lambda \leq \lambda_0$, vem:

$$\rho = \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha \bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right]$$

Pela Equação 4.19 $\lambda_0 = 1,369\alpha$. Assim, normalizando λ_0 a partir de α , vem:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_0}{\alpha} = \frac{1,369 \cdot \alpha}{\alpha} = 1,369$$

Assim, a esbeltez reduzida correspondente ao limite superior do intervalo referente as barras intermediárias, é dada pela Equação 4.44:

$$\lambda = \lambda_0 \Rightarrow \bar{\lambda} = 1,369 \quad (4.44)$$

Assim, para o intervalo $40 < \lambda \leq \lambda_0$ a esbeltez reduzida $\bar{\lambda}$ será dada por $\frac{40}{\alpha} < \bar{\lambda} \leq 1,369$, e a função adimensional de resistência ρ , determinada acima, é dada pela Equação 4.45, abaixo. Ou,

$$\rho = \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha \bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \right] \quad (4.45)$$

Onde:

ρ : função adimensional de resistência à compressão axial

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{co,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16,047,5414 D_b + 3229,1667)}{(106,5973 D_b - 3,0689)}}, \text{ parâmetro de esbeltez da barra correspondente à } f_{co,k}$$

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$: É a esbeltez reduzida, ou fictícia da barra

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$f_{co,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)

E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a)

c) Para $\lambda_0 < \lambda \leq 140$ (Barra Esbelta)

Para barras longas comprimidas axialmente, segundo as recomendações da NBR 7190/82, considerando a Equação 4.28, a normalização da função F_{cr} , a partir de $f_{co,k}$, pode ser feita como abaixo

$$F_{cr} = 1,25 F_e = 1,25 \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\lambda^2}$$

Pela Equação 4.42, vem:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} \Rightarrow \bar{\lambda}^2 = \frac{\lambda^2}{\alpha^2} \quad \therefore$$

$$\lambda^2 = \alpha^2 \bar{\lambda}^2, \text{ então:}$$

$$F_{cr} = 1,25 \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\lambda^2} = 1,25 \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\alpha^2 \bar{\lambda}^2} = \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\alpha^2} \cdot \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2}$$

Mas, por definição $f_{co,k} = \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\alpha^2}$. Levando-se $f_{co,k} \rightarrow F_{cr}$ acima, vem:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_{Ms}}{\alpha^2} \cdot \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} = f_{co,k} \cdot \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \quad \therefore$$

$$F_{cr} = f_{co,k} \cdot \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \quad (4.46)$$

Dividindo-se ambos os lados da Equação 4.45 por $f_{co,k}$, vem:

$$\frac{F_{cr}}{f_{co,k}} = \frac{f_{co,k}}{f_{co,k}} \cdot \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} = \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2}$$

$$\frac{F_{cr}}{f_{co,k}} = \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2}$$

Mas, como $\rho = \frac{F_{cr}}{f_{co,k}}$, vem:

$$\rho = \frac{F_{cr}}{f_{co,k}} = \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \quad \therefore$$

$$\rho = \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2}$$

A Equação 4.47 é válida no intervalo $\lambda_0 < \lambda \leq 140$. Portanto, normalizando-se a esbeltez a partir de α , a partir da Equação 4.42, vem que:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} \quad \therefore$$

$$\lambda_0 < \lambda \leq 140 \quad \Rightarrow \quad \frac{\lambda_0}{\alpha} < \frac{\lambda}{\alpha} \leq \frac{140}{\alpha}$$

Mas, como $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$ e $\lambda_0 = 1,369\alpha$, para barras esbeltas comprimidas axialmente a Equação 4.47 para ρ , é válida para os seguintes intervalos de esbeltez real λ e para o correspondente intervalo de esbeltez reduzida $\bar{\lambda}$, respectivamente:

$$\lambda_0 < \lambda \leq 140$$

$$1,369 < \bar{\lambda} \leq \frac{140}{\alpha} \quad (4.47)$$

Assim, para barras longas, no intervalo de esbeltez dado pela Equação 4.7, a função adimensional de resistência à compressão axial, ρ é dada pela Equação abaixo:

$$\rho = \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \quad (4.48)$$

Onde:

ρ : função adimensional de resistência à compressão axial

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}}, \text{ parâmetro de esbeltez da barra correspondente à } f_{c0,k}$$

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{1}{\pi} \lambda \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}} = \frac{1}{\pi} \frac{kl}{i} \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}}, \text{ esbeltez reduzida da barra}$$

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)

E_M : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a).

Para barras comprimidas axialmente, considerando a esbeltez reduzida $\bar{\lambda}$, pode-se determinar uma força resistente admissível à compressão axial P_{as} , para distribuição uniforme de tensão, conforme, abaixo:

$$\rho = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}} \Rightarrow F_{cr} = \rho \cdot f_{c0,k}$$

Pela Equação 4.23, vem:

$$N_{c,as} = \phi_c A_g F_{cr} = \phi_c A_g \rho f_{c0,k} \quad \therefore$$

$$N_{c,as} = \phi_c A_g \rho f_{c0,k} \quad (4.49)$$

Para $f_{c0,k} = (106,5973D_b - 3,0689)$, $E_{Ms} = (16.047,5414D_b + 3229,1667)$, dados pelas respectivas correlações com a densidade básica (Bessa, 2018), vem que:

$$N_{c,as} = \phi_c \rho A_g f_{c0,k} = \phi_c \rho A_g (106,5973D_b - 3,06899) \quad (\text{N}) \quad (4.50)$$

$$N_{c,as} = \phi_c \rho A_g f_{c0,k} = \phi_c \rho A_g (1065,973D_b - 30,6899) \quad (\text{Kgf}) \quad (4.51)$$

Onde:

P_{as} : Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira seca (Kgf)

ρ : Função adimensional de resistência à compressão axial para madeira seca

A_g : Área bruta da seção transversal da barra

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b + 3229,1667)}{(106,5973D_b - 3,0689)}}, \text{ parâmetro de esbeltez da barra correspondente à } f_{c0,k}$$

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{1}{\pi} \lambda \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b+3229,1667)}{(106,5973D_b-3,0689)}} = \frac{1}{\pi} \frac{kl}{i} \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b+3229,1667)}{(106,5973D_b-3,0689)}}, \text{ esbeltez reduzida da barra}$$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)

E_{MS} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a)

$\phi_c = 0,20$: fator de ponderação para resistência à compressão paralela às fibras (NBR 7190, 82).

A função adimensional ρ é determinada pelas Equações 4.52, 4.43 e 4.54, conforme abaixo:

1) Para $\bar{\lambda} \leq \frac{40}{\alpha}$ (Barra Curta)

$$\rho = 1,0 \quad (4.52)$$

2) Para $\frac{40}{\alpha} < \bar{\lambda} \leq 1,369$ (Barra Intermediária)

$$\rho = 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha \bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \quad (4.53)$$

3) Para $1,369 < \bar{\lambda} \leq \frac{140}{\alpha}$ (Barra Esbelta)

$$\rho = \left(\frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \right) \quad (4.54)$$

Onde:

ρ : Função adimensional de resistência à compressão axial para madeira seca

$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{MS}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b+3229,1667)}{(106,5973D_b-3,0689)}}$: parâmetro de esbeltez da barra correspondente a $f_{c0,k}$

$\lambda = \frac{kl}{i}$: é a esbeltez real da barra

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{1}{\pi} \lambda \cdot \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b+3229,1667)}{(106,5973D_b-3,0689)}} = \frac{1}{\pi} \frac{kl}{i} \sqrt{\frac{(16.047,5414D_b+3229,1667)}{(106,5973D_b-3,0689)}}$: esbeltez reduzida da barra

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)

E_{MS} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira seca (MP_a)

Assim, por analogia, pelas Equações 4.50 a 4.54, para madeira na condição verde, vem:

$$N_{c,av} = \phi_c \rho A_g f_{c0,k} = \phi_c \rho A_g (82,7321D_b - 11,8863) \quad (\text{N}) \quad (4.55)$$

$$N_{c,av} = \phi_c \rho A f_{c0,k} = \phi_c \rho A_g (827,321D_b - 118,863) \quad (\text{Kgf}) \quad (4.56)$$

Onde:

$N_{c,av}$: Carga resistente admissível à compressão axial da barra para madeira verde (Kgf)

ρ : Função adimensional de resistência à compressão axial para madeira verde

A_g : Área bruta da seção transversal da barra

D_b : Densidade básica da madeira ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b+1876,1964)}{(82,7321D_b-11,8863)}}, \text{ parâmetro de esbeltez da barra correspondente à } f_{c0k}$$

$\lambda = \frac{kl}{i}$ é a esbeltez real da barra

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{1}{\pi} \lambda \cdot \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b+1876,1964)}{(82,7321D_b-11,8863)}} = \frac{1}{\pi} \frac{kl}{i} \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b+1876,1964)}{(82,7321D_b-11,8863)}}, \text{ esbeltez reduzida da barra}$$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira seca (MP_a)
 E_{Ms} : Módulo de elasticidade à flexão para madeira verde (MP_a)
 $\phi_c = 0,20$: fator de ponderação para resistência à compressão paralela às fibras (NBR 7190, 82).

A função adimensional ρ para madeira na condição verde é determinada pelas Equações 4.57, 4.58 e 4.59, conforme abaixo:

1) Para $\bar{\lambda} \leq \frac{40}{\alpha}$ (Barra Curta)

$$\rho = 1,0 \quad (4.57)$$

2) Para $\frac{40}{\alpha} < \bar{\lambda} \leq 1,369$ (Barra Intermediária)

$$\rho = 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha \bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \quad (4.58)$$

c) Para $1,369 < \bar{\lambda} \leq \frac{140}{\alpha}$ (Barra Esbelta)

$$\rho = \left(\frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \right) \quad (4.59)$$

Onde:

ρ : Função adimensional de resistência à compressão axial para madeira verde

$$\alpha = \sqrt{\frac{\pi^2 E_{Ms}}{f_{c0,k}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b+1876,1964)}{(82,7321D_b-11,8863)}}: \text{ parâmetro de esbeltez da barra correspondente a } f_{c0k}$$

$\lambda = \frac{kl}{i}$: é a esbeltez real da barra

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{1}{\pi} \lambda \cdot \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b+1876,1964)}{(82,7321D_b-11,8863)}} = \frac{1}{\pi} \frac{kl}{i} \sqrt{\frac{(15.298,5500D_b+1876,1964)}{(82,7321D_b-11,8863)}}: \text{ esbeltez reduzida da barra}$$

$f_{c0,k}$: Tensão resistente à compressão axial paralela à direção das fibras para madeira verde (MP_a)

E_v : Módulo de elasticidade à flexão para madeira verde (MP_a)

4.4 Barras Fletidas

4.4.1 Hipóteses Básicas

Este item trata do estudo das barras submetidas à flexão simples. Estas normalmente ocorrem nos pisos de edifícios, ou mezaninos, para uso residencial, comercial ou mesmo industrial. As hipóteses básicas consideradas são:

- Para peças submetidas à flexão simples as verificações devem ser feitas de acordo com a teoria da elasticidade clássica;
- As barras à flexão simples estão submetidas a momentos fletores em relação a somente um dos eixos principais de inércia;
- O plano de aplicação das cargas passa pelo centro de cisalhamento da seção transversal, estando a viga restringida à rotação nos apoios e pontos de aplicação de cargas concentradas;
- Barra retilínea sem imperfeições iniciais;
- Barra prismática o que significa que a viga tem seção constante ao longo do seu eixo longitudinal;
- Os pontos de apoio das vigas são restringidos a rotação em torno do seu eixo longitudinal;
- As cargas são aplicadas lentamente de modo que possam ser consideradas estáticas, ou quase estáticas;

Madeira na base verde e seca.

O momento fletor admissível para tensão de compressão na flexão, na madeira seca:

$$M_{Ra,s} = \phi_b W (2102,506D_b - 132,091) \quad (4.60)$$

$$M_{Ra,v} = \phi_b W (1659,581D_b - 215,093) \quad (4.61)$$

Onde:

$M_{Ra,s}$: Momento admissível à flexão simples para madeira seca (teor de umidade de 12%) (cm. Kgf)

$M_{Ra,v}$: Momento admissível à flexão simples para madeira verde (cm. Kgf)

ϕ_b : Fator de ponderação da resistência à flexão = 0,15

W : Módulo resistente elástico (cm³)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

4.5 Esforço cortante admissível na flexão simples

4.5.1 Considerações Gerais

Para o cálculo das tensões de cisalhamento, são admitidas as hipóteses da análise das tensões normais de flexão, adotando-se a hipótese básica de que a tensão de cisalhamento se mantém constante na largura da seção. As seções utilizadas para madeira são normalmente retangulares, quadradas ou circulares. As vigas de seção composta, geralmente são formadas por essas seções individuais. Logo, são compactas e frequentemente as tensões de cisalhamento atuantes são significativamente menores que as tensões admissíveis ao cisalhamento. Dessa forma, para seções maciças retangulares não há necessidade de verificação da interação simultânea do momento fletor com a força cortante. A resistência ao esforço cortante é dada por:

$$V_{a,s} = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (207,516D_b) \quad (4.62)$$

$$V_{a,v} = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (157,886D_b) \quad (4.63)$$

Onde:

- $V_{a,s}$: Esforço cortante admissível na seção para madeira seca (Kgf).
 $V_{a,v}$: Esforço cortante admissível na seção para madeira verde (Kgf)
 ϕ_v : Fator de ponderação resistência ao cisalhamento = 0,10
 I : Momento de inércia da seção (cm⁴)
 b : Largura da seção no plano de corte considerado (cm)
 S : Momento estático para parte comprimida, ou tracionada da seção em relação à linha neutra (cm³)
 D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

4.6 Barras submetidas a flexão composta reta

4.6.1 Resistência Admissível à Compressão Axial

A NBR 7190/82, para verificação da segurança na flexão composta reta, utiliza os conceitos da mecânica clássica e o princípio de Saint Venant superpondo as tensões de compressão na flexão e a tensão uniforme de compressão axial. A flexão composta reta (flexotração e flexocompressão) ocorre em estruturas de madeira, geralmente, nas seguintes situações:

1. Barras com momentos fletores aplicados nas extremidades, em somente uma das extremidades. Esse é, geralmente, o caso de barras de treliça com excentricidades, ou pilares de galpões, respectivamente. Também é o caso de estacas de fundação em madeira.
2. Barras com cargas excêntricas, portanto não passando pelo centro de gravidade da seção transversal. Esses são os casos de pilares de galpões, ou residências que recebem cargas excêntricas de vigas de piso.
3. Barras com imperfeições iniciais provocadas, geralmente, pelo processo de secagem, quando as barras podem empenar, curvar ou torcer. Os códigos, comumente, adotam para o desvio no alinhamento axial da peça, medido na metade da distância entre os apoios, valores da ordem de $e_a = \frac{l_0}{300}$, independente das dimensões da seção transversal, para peças de madeira serrada ou roliça.

As hipóteses básicas consideradas são:

- Para peças submetidas à flexão composta as verificações devem ser feitas de acordo com a teoria da elasticidade clássica
- As barras à flexão composta estão submetidas a momentos fletores e forças axiais em relação a somente um dos eixos principais de inércia
- O plano de aplicação das cargas passa pelo centro de cisalhamento da seção transversal, estando a viga restringida à rotação nos apoios e pontos de aplicação de cargas concentradas
- Barra retilínea sem imperfeições iniciais
- Barra prismática o que significa que a viga tem seção constante ao longo do seu eixo longitudinal
- As cargas são aplicadas lentamente de modo que possam ser consideradas estáticas, ou quase estáticas
- Madeira na condição seca e verde.

4.6.2 Condições de Segurança na Flexão Composta Reta

A tensão de flexão composta na borda mais comprimida, ou tracionada, é dada a partir da mecânica clássica, por:

$$f_{fc} = \frac{N_c}{A} + \frac{M \cdot y_c}{I} \quad (4.64)$$

$$f_{ft} = \frac{N_t}{A} + \frac{M \cdot y_t}{I} \quad (4.65)$$

Onde:

f_{fc} : Tensão solicitante de flexocompressão ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$)

f_{ft} : Tensão solicitante de flexotração ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$)

N_c : Valor da força normal axial de compressão (Kgf)

N_t : Valor da força normal axial de tração (Kgf)

A : Área da seção transversal (cm^2)

M : Momento fletor solicitante em relação a um eixo principal de inércia (cm. Kgf)

I : Momento de inércia da seção (cm^4)

y_c : Distância da parte comprimida da seção em relação à linha neutra (cm)

y_t : Altura da parte tracionada da seção em relação à linha neutra (cm)

A tensão solicitante da flexão composta (f_{fc}) na borda comprimida não deverá ultrapassar um valor intermediário entre a tensão característica de compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) e a compressão a flexão simples ($f_{m,k}$). Para considerar os efeitos combinados do momento fletor e o esforço normal de compressão axial, estabelece-se uma excentricidade fictícia (e), determinada pela razão entre momento fletor atuante e esforço normal (NBR 7190, 1982):

$$e = \frac{|M|}{|N|} \quad (4.126)$$

Define-se também a razão entre a tensão nominal solicitante da flexão simples e a tensão nominal de sollicitação da flexão composta, como abaixo:

$$\varepsilon = \frac{\text{Tensão na Flexão simples}}{\text{Tensão na Flexão composta}} = \frac{\sigma_{Mx}}{\sigma_{Nc} + \sigma_{Mx}} = \frac{\frac{M_{x,S}}{W_x}}{\frac{N_{c,S}}{A} + \frac{M_{x,S}}{W_x}} \quad (4.67)$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{|M_{x,S}|}{W_x}}{\frac{|N_{c,S}|}{A} + \frac{|M_{x,S}|}{W_x}} \quad (4.68)$$

Onde:

ε : Excentricidade relativa à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta

$\sigma_{Nc} = \frac{N_{c,S}}{A}$: Valor da tensão solicitante de compressão axial

$\sigma_{Mx} = \frac{M_{x,S}}{W_x}$: Tensão solicitante de cálculo da componente à compressão na flexão segundo o eixo-x

$W_x = \frac{I_x}{y_c}$: Módulo resistente elástico de compressão da seção segundo o eixo-x (cm^3)

I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm^4)

$|N_{c,S}|$: Valor absoluto da força solicitante de compressão axial

$|M_{x,S}|$: Valor absoluto do momento fletor solicitante em relação ao eixo-x (cm. Kgf)

A : Área bruta da seção barra

y_c : Distância da parte comprimida da seção em relação à linha neutra (cm)

Nas edificações residenciais e galpões os pilares ou colunas de madeira são utilizados na forma quadrada ou circular, especialmente por opções de arquitetura e disponibilidade de produtos nas madeireiras. Assim, como a flexão composta ocorre na maioria das vezes nessas condições, a Equação 4.68 pode ser simplificada. No caso específico de seção retangular, para flexão em torno do eixo perpendicular à maior dimensão (h), levando a Equação 4.66 → na Equação 4.68, vem:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\frac{M_x}{W_x}}{\frac{N_c}{A} + \frac{M_x}{W_x}} = \frac{\frac{M_x}{bh^2}}{\frac{N_c}{bh} + \frac{M_x}{bh^2}} = \frac{\frac{1}{bh^2} \cdot \frac{M}{6}}{\frac{1}{bh} + \frac{1}{bh^2} \cdot \frac{M}{6}} = \frac{\frac{e}{bh^2}}{\frac{1}{bh} + \frac{e}{bh^2}} \\ \varepsilon &= \frac{\frac{e}{\frac{h^2}{6}}}{\frac{1}{h} + \frac{e}{\frac{h^2}{6}}} = \frac{\frac{6e}{h^2}}{\frac{1}{h} + \frac{6e}{h^2}} = \frac{\frac{6e}{h^2} \cdot h^2}{\frac{1}{h} \cdot h^2 + \frac{6e}{h^2} \cdot h^2} = \frac{6e}{6e + h} \end{aligned}$$

Para seção retangular

$$\varepsilon = \frac{6e}{6e + h} \quad (4.69)$$

Para seção circular de diâmetro d e flexão em torno do eixo principal de inércia, vem:

$$\varepsilon = \frac{\frac{M_x}{W_x}}{\frac{N_c}{A} + \frac{M_x}{W_x}} = \frac{\frac{M_x}{\frac{\pi d^3}{32}}}{\frac{N_c}{\frac{\pi d^2}{4}} + \frac{M_x}{\frac{\pi d^3}{32}}} = \frac{\frac{32M}{\pi^3}}{\frac{4N_c}{\pi d^2} + \frac{32M}{\pi d^3}} =$$

$$\varepsilon = \frac{6e}{6e + h} \quad \text{Para seção retangular} \quad (4.78)$$

➤
➤
➤

$$\varepsilon = \frac{8e}{8e + D} \quad \text{Para seção circular} \quad (4.78)$$



Onde:

$e = \frac{|M|}{|N|}$ excentricidade fictícia na direção perpendicular ao eixo de flexão

h = altura da seção transversal da peça, na direção perpendicular ao eixo de flexão

D = diâmetro da seção transversal circular.

Definindo-se também a esbeltez da peça (λ), como abaixo, vem:

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \quad (4.71)$$

Onde:

λ = índice de esbeltez real da peça

L_0 = comprimento efetivo de flambagem

i = raio de giração da seção

I = momento de inércia

A = área da seção transversal.

Assim, as curvas de interação normal-fletor, são:

1. Para peças com $\lambda < 40$ (Barra Curta)

O intervalo para barras curtas apresentado em função da esbeltez real λ , pode ser dado em função da esbeltez reduzida $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$. Assim, para a esbeltez reduzida o intervalo passa a ser: $0 < \bar{\lambda} \leq \frac{40}{\alpha}$ (veja-se o item 4.2). A tensão admissível na flexão composta F_{fca} é dada pela Equação (4.72), após algumas manipulações algébricas a partir da função de resistência para barras curtas, proposta pela antiga NBR-7190/82:

$$F_{fa} = \phi_c \rho CPA(1 - \varepsilon) + \phi_b MOR \varepsilon \quad (4.72)$$

A Equação (4.72) mostra que tensão para a flexão composta é formada por uma componente de tensão proveniente do esforço axial (CPA), sem flambagem, e uma parcela proveniente do esforço de compressão na flexão (MOR). Deste modo, para madeira na condição seca (umidade a 12%), a partir das funções de correlação a partir da densidade básica levando a Equação (4.73) e Equação (4.74) na Equação (4.75) , vem:

$$CPA = 1065,973D_b - 30,689 \quad (4.73)$$

$$MOR = 2102,506D_b - 132,091 \quad (4.74)$$

$$F_{fca} = \phi_c \rho (1065,973D_b - 30,689)(1 - \varepsilon) + \phi_b (2102,506D_b - 132,091) \quad (4.75)$$

Para barra curta não há necessidade de se considerar a flambagem, já que a ruína se dará por esmagamento a compressão axial paralela às fibras. Portanto, para esse caso $\rho = 1,0$ (veja item 4.2), a Equação (4.75) pode tomar a forma abaixo, dada pela Equação (4.76), assumindo-se a função ρ igual a unidade (sem flambagem). Ou:

$$F_{fca} = \phi_c (2102,506D_b - 132,091)(1 - \varepsilon) + \phi_b (2102,506D_b - 132,091)\varepsilon \quad (4.76)$$

Onde:

F_{fca} = tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm²)

$\rho = 1,0$ é a função adimensional de resistência nominal crítica a compressão axial. Conforme visto no item 4.2, sobre barras comprimidas axialmente, para peças curtas não se considera a flambagem, o que significa tomar ρ igual à unidade

ε = excentricidade relativa à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta, dada pela Equação (4.68)

CPA = tensão resistente nominal de compressão axial (Kgf/cm²)

MOR = tensão resistente nominal de compressão na flexão (Kgf/cm²)

$\phi_b = 0,15$ fator de ponderação da resistência a compressão na flexão

$\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência a compressão axial

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$ esbeltez reduzida (veja-se item 4.2, barras comprimidas axialmente)

$\alpha = \pi \cdot \sqrt{\frac{16.047,54D_b + 3229,17}{106,5973D_b - 3,0689}}$, para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2)

2. Para Barras com $40 \leq \lambda \leq \lambda_0$ (Barra Intermediária)

O intervalo para barras intermediárias deste item, pode ser dado em função da esbeltez reduzida (ou fictícia) $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$. Assim, corresponde a $\frac{40}{\alpha} \leq \bar{\lambda} \leq 1,369$ (veja-se o item 4.2). A tensão admissível na flexão composta F_{fca} , para barras intermediárias, é dada pela Equação (4.77), segundo a antiga NBR-7190/82. Após algumas manipulações algébricas a partir da função de resistência para barras curtas, chega-se às equações abaixo para madeira na condição seca:

$$F_{fca} = \phi_c \rho CPA (1 - \varepsilon) + \phi_b MOR \varepsilon \quad (4.77)$$

Na Equação (4.77) ρ é a função adimensional que leva em conta a instabilidade que deve ser considerada para barra de esbeltez intermediária. Assim, para CPA e MOR para madeira na condição verde, definidos pela Equação (4.73) e Equação (4.74) e as considerações do item 4.2 (barras comprimidas axialmente), vem:

$$F_{fca} = \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69)(1 - \varepsilon) + \phi_b (2102,51D_b - 132,09)\varepsilon \quad (4.78)$$

Onde:

F_{fca} = tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm²)

$\rho = 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha\bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right)$ é a função adimensional de resistência nominal crítica a compressão axial (veja-se item 4.2, sobre barras comprimidas axialmente)

ε = excentricidade relativa á tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta, dada pela Equação (4.68)

CPA = tensão resistente nominal de compressão axial (Kgf/cm²)

MOR = tensão resistente nominal de compressão na flexão (Kgf/cm²)

$\phi_b = 0,15$ fator de ponderação da resistência a compressão na flexão

$\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência a compressão axial

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$ esbeltez reduzida (veja-se item 4.2, barras comprimidas axialmente)

$\alpha = \pi \cdot \sqrt{\frac{16.047,54D_b + 3229,17}{106,597D_b - 3,069}}$, para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2)

$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi(16.047,54D_b + 3229,17)}{8\phi_c(106,597D_b - 3,069)}} = 1,369\alpha$ para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2), esbeltez limite que separa o trecho da flambagem inelástica da flambagem elástica de Euler.

Na Equação (4.78), nota-se que ρ é obtido mediante a normalização da função de resistência a compressão axial a partir da tensão de ruína a compressão paralela às fibras (CPA) e a esbeltez de instabilidade elástica de Euler (Euler, 1744), correspondente à essa mesma tensão CPA . Para maior clareza, veja a seção 3.3.2, deste trabalho. Evidenciando novamente que a tensão admissível para a flexão composta possui uma parcela que se relaciona com a tensão devido à sollicitação axial (CPA) e uma parcela que se relaciona com o momento fletor, portanto da tensão de compressão na flexão MOR .

3. Para peças com $\lambda_0 < \lambda \leq 140$

O intervalo para barras esbeltas definido acima em função da esbeltez real λ , pode ser dado em função da esbeltez reduzida $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$. Assim, para a esbeltez reduzida o intervalo passa a ser: $1,369 < \bar{\lambda} \leq \frac{140}{\alpha}$ (veja-se o item 4.2).

A tensão admissível na flexão composta F_{fca} segundo a antiga norma NBR-7190/82 é dada por um parâmetro ε_0 , definido pela Equação (4.13), abaixo:

$$\varepsilon_0 = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2 \quad (4.13)$$

Seguindo o item 4.2 deste trabalho, sobre o dimensionamento de barras comprimidas axialmente, $\lambda_0 = 1,369\alpha$ e $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$. Assim, ε_0 pode ser definido a partir α , λ e $\bar{\lambda}$. Ou:

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{15\alpha^2}{8\lambda^2} \quad (4.14)$$

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{15}{8\bar{\lambda}^2} \quad (4.15)$$

Assim, seguindo as prescrições da antiga NBR-7191/82, vem:

1) Se $\varepsilon \leq \varepsilon_0$

Para esse caso a NBR-7191/82 recomenda verificar a barra como barra esbelta e solicitada somente à tensão axial de instabilidade elástica de Euler. Portanto, além das características geométricas da seção transversal, do comprimento da barra e as condições de contorno representada pelos apoios, a tensão de flexão composta F_{fca} dependerá, principalmente, do módulo de elasticidade da madeira. A condição da madeira – estado verde ou seca (umidade de 12%) – não tem grande interferência na capacidade de carga da barra, como é possível observar pelas equações, seguintes. Assim, para madeira verde $CPA = 1057,17D_b - 23,62$, vem:

$$F_{fca} = \phi_c \rho CPA$$

$$F_{fca} = \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69) \quad (4.16)$$

A partir de manipulações algébricas na Equação (4.16), com mudanças de variáveis, a tensão da flexão composta F_{fca} pode ser estimada a partir da variável esbeltez real da barra λ , ou a partir da variável esbeltez reduzida $\bar{\lambda}$. A rigor as funções são as mesmas, ficando a opção de escolha para avaliação da tensão na flexão composta, em função de ρ , λ , ou $\bar{\lambda}$, a critério do projetista. Mas, todas em função da densidade básica como propriedade física da espécie de madeira em uso.

$$F_{fca} = 12,5\phi_c \frac{(1065,977D_b - 30,69)}{\bar{\lambda}^2} \quad (4.17)$$

Assim:

$$F_{fca} = 12,5\phi_c \frac{\pi^2(16.047,54D_b + 3229,17)}{\lambda^2} \quad (4.18)$$

Onde:

F_{fca} = tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm²)

$\rho = \frac{1,25}{\bar{\lambda}^2}$ é a função adimensional de resistência nominal crítica a compressão axial para barra esbelta (veja-se item 9.2, sobre barras comprimidas axialmente)

ε = excentricidade relativa à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta, dada pela Equação (4.68),

CPA = tensão resistente nominal de compressão axial (Kg/cm²)

$\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência a compressão axial

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$ esbeltez reduzida (veja-se item 4.2, barras comprimidas axialmente)

$\alpha = \pi \cdot \sqrt{\frac{16.047,54D_b+3229,17}{106,597D_b-3,069}}$, para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2)

$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi(16.047,54D_b+3229,17)}{8\phi_c(106,597D_b-3,069)}} = 1,369\alpha$ para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2)

2) Se $\varepsilon > \varepsilon_0$

Para esse caso a NBR-7191/82 recomenda verificar a tensão na borda não deve ultrapassar a tensão na flexão composta F_{fca} , resultado da interação da tensão nominal resistente a compressão axial na direção das fibras (CPA) e a tensão resistente nominal de compressão na flexão (MOR), dada pela Equação (4.79). A NBR-7190/82 não considera, para esse caso, a verificação de instabilidade (flambagem), mas fatora tanto a tensão resistente nominal de compressão axial (CPA), quanto a tensão resistente nominal de compressão na flexão (MOR), da grandeza $(\varepsilon - \varepsilon_0)$. Nesse caso como $F_{cr} = CPA$, logo a $\rho = 1,0$ (sem flambagem). Assim:

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho F_{cr} + \left(\phi_b MOR - \frac{2}{3} \phi_c F_{cr} \right) (\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (4.79)$$

Assim, vem da Equação (4.79):

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69) [1 - (\varepsilon - \varepsilon_0)] + \phi_b (2102,51D_b - 132,09) (\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (4.80)$$

A partir de manipulações algébricas na Equação (4.80), com mudanças de variáveis, a tensão da flexão composta F_{fca} pode ser estimada a partir da variável esbeltez real da barra λ , ou a partir da variável esbeltez reduzida $\bar{\lambda}$. Da mesma forma que na seção anterior, funções são as mesmas, ficando a opção de escolha para avaliação da tensão na flexão composta, em função de ρ , λ , ou $\bar{\lambda}$, a critério do projetista. Mas, todas em função da densidade básica como propriedade física da espécie de madeira em uso. Assim:

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho (1065,973D_b - 30,689) \left[1 - \left(\varepsilon + \frac{15}{8\bar{\lambda}^2} - 1 \right) \right] + \phi_b (2102,51D_b - 132,09) \left(\varepsilon + \frac{15}{8\bar{\lambda}^2} - 1 \right) \quad (4.81)$$

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho (1065,973D_b - 30,689) \left[1 - \left(\varepsilon + \frac{15\alpha^2}{8\lambda^2} - 1 \right) \right] + \phi_b (2102,51D_b - 132,09) \left(\varepsilon + \frac{15\alpha^2}{8\lambda^2} - 1 \right) \quad (4.82)$$

Onde:

F_{fca} = tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm²)
 $\rho = 1,0$ é a função adimensional de resistência nominal crítica a compressão axial para barra esbelta (veja-se item 4.2, sobre barras comprimidas axialmente)
 ε = excentricidade relativa à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta, dada pela Equação(4.68)
 CPA = tensão resistente nominal de compressão axial para madeira seca (umidade a 12%) (Kgf/cm²)
 $\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência a compressão axial
 $\phi_b = 0,15$ fator de ponderação da resistência a compressão na flexão
 D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).
 λ = esbeltez real da peça
 $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\alpha}$ esbeltez reduzida (veja-se item 9.2, barras comprimidas axialmente)
 $\alpha = \pi \cdot \sqrt{\frac{16.047,54D_b+3229,17}{106,597D_b-3,069}}$, para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2)
 $\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi(16.047,54D_b+3229,17)}{8\phi_c(106,597D_b-3,069)}} = 1,369\alpha$ para madeira seca (umidade a 12%) (veja-se item 4.2)

4.7 Verificação de cargas localizadas para madeira seca (umidade em 12%)

4.7.1 Hipóteses básicas

Este item trata da verificação de elementos submetidos a cargas localizadas. Estas normalmente ocorrem em vigas apoiadas sobre vigas, apoio de vigas sobre pilares e apoio de elementos de cobertura e treliça sobre vigas. As hipóteses básicas consideradas são:

- Para peças submetidas a cargas localizadas, as verificações devem ser feitas de acordo com a teoria da elasticidade clássica;
- O plano de aplicação das cargas passa pelo centro de cisalhamento da seção transversal, estando a viga restringida à rotação nos apoios e pontos de aplicação de cargas concentradas;
- Barra retilínea sem imperfeições iniciais;
- Barra prismática o que significa que a viga tem seção constante ao longo do seu eixo longitudinal;
- Os pontos de apoio das vigas são restringidos a rotação em torno do seu eixo longitudinal;
- As cargas são aplicadas lentamente de modo que possam ser consideradas estáticas, ou quase estáticas;
- Madeira na base verde e seca;

A extensão da carga na direção das fibras é menor ou igual a 15 cm e está afastada de pelo menos 7,5 cm da extremidade da peça (caso geral da NBR-7190/82, que na prática é o caso em que se enquadra a maior parte das ocorrências práticas).

4.7.2 Considerações de dimensionamento

A tensão de compressão perpendicular às fibras (F_n) deve ser verificada nos apoios e em outros pontos onde haja cargas concentradas em pequenas áreas:

$$F_{c90(atuante)} = \frac{V}{A} \leq f_{c90,k} \quad (4.83)$$

Onde:

V = Força aplicada ou reação de apoio

A : Área localizada de contato ou área de contato no apoio

$f_{c90,k}$ = Tensão resistente característica de compressão perpendicular as fibras

A tensão resistente admissível perpendicular as fibras é dada pela Equação 5.83 abaixo, segundo a NBR 7190 (1982). A norma brasileira usa uma correlação para estimar a tensão resistente a compressão perpendicular as fibras $f_{90,a}$ (CPE) a partir da tensão de compressão na direção das fibras $f_{c0,k}$ (CPA). Isso se deve ao fato de não existir resultados experimentais para o CPE no banco de dados tomado como referência pela norma brasileira NBR 7190 (1982 e 1997). Na Equação 5.83 a norma usa uma correlação para estimas CPE de forma que $CPE = 0,3CPA$. Estudos realizados por DePaula e Bessa (2019) usando as funções de correlação propostas neste trabalho para madeira seca e verde, a partir da densidade básica, demonstram que uma melhor aproximação. Para madeira verde, $CPE_v = 0,255CPA_v$. Para madeira seca uma melhor correlação é $CPE_s = 0,264CPA_s$. Neste estudo foram utilizados os resultados de 246 ensaios experimentais para madeira seca e 247 para madeira verde do Banco de Dados do LPF. Essas funções, inclusive, estão mais coerentes com as próprias recomendações da NBR 7190 (1982 e 1997), que sugerem uma constante de ponderação igual a 0,25 e não 0,30. Portanto, a recomendação da NBR 7190 (Equação 5.83) está ligeiramente contra a segurança.

$$F_{c90,a} = 0,30 \cdot \phi_c \cdot CPA \cdot \gamma' \quad (4.84)$$

Onde:

$F_{c90,a}$: Tensão admissível resistente na compressão perpendicular às fibras, para madeira

ϕ_c : Coeficiente de ponderação da resistência à compressão = 0,20;

CPA : Tensão resistente nominal de compressão axial paralela as fibras, para madeira seca e verde (MPa);

γ' : Coeficiente que considera o efeito de inclinação das fibras para pequenas extensões de carga localizada, na resistência da madeira. Quando a extensão da carga na direção das fibras for menor ou igual a 15 cm e estiver afastada de pelo menos 7,5 cm da extremidade da peça, este coeficiente tem os valores fornecidos pela tabela seguinte:

Extensão da carga normal medida paralela às fibras	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	15 cm
Coeficiente γ'	2,00	1,70	1,55	1,40	1,30	1,15	1,10	1,00

Bessa (2019) elaborou um estudo de regressão para estimar o coeficiente γ' , obtendo-se a seguinte função para esse coeficiente:

$$\gamma' = 2,0215 \cdot b^{-0,265} \quad (4.85)$$

Onde:

b : largura da faixa da atuação da carga localizada em região de apoios e pontos de aplicação de cargas em vigas, por pilares, ou mesmo outra viga

Assim, a Equação 5.83 para avaliação da tensão sob cargas localizadas toma a seguinte forma, para madeira verde e seca, a partir do valor do CPA :

Para madeira verde:

$$F_{c90,av} = 0,3\gamma'\phi_c(827,321D_b - 118,863) \quad (4.86)$$

Para madeira seca:

$$F_{c90,as} = 0,3\gamma'\phi_c(1065,973D_b - 30,689) \quad (5.87)$$

Onde:

$F_{c90,av}$: Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras para madeira verde ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$)

$F_{c90,as}$: Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras para madeira seca ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$)

$\phi_c = 0,2$: Fator de ponderação da resistência para tensões normais de compressão

D_b = Densidade básica da madeira ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

$\gamma' = 2,0215 \cdot b^{-0,265}$: Coeficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira

b : largura da faixa da atuação da carga localizada em região de apoio e pontos de aplicação de cargas (cm)

As Equações 5.85 e 5.86 podem ser reescritas para determinação da carga localizada admissível, para uma área de contato no ponto da carga localizada igual a A . Assim, vem:

$$N_{c90,a} = A \cdot F_{c90,a} \quad (4.88)$$

Assim, para madeira verde e seca, vem:

Para madeira verde:

$$N_{c90,av} = 0,3\gamma'\phi_c A (827,321D_b - 118,863) \quad (4.89)$$

Para madeira seca:

$$N_{c90,as} = 0,3\gamma'\phi_c A (1065,973D_b - 30,689) \quad (5.90)$$

Onde:

$N_{c90,av}$: Carga admissível na compressão perpendicular às fibras para madeira verde (Kgf)

$N_{c90,as}$: Carga admissível na compressão perpendicular às fibras para madeira seca (Kgf)

$\phi_c = 0,2$: Fator de ponderação da resistência para tensões normais de compressão

D_b = Densidade básica da madeira ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

A : Área de contato no ponto da carga localizada (cm^2)

$\gamma' = 2,0215 \cdot b^{-0,265}$: Coeficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira
 b : largura da faixa da atuação da carga localizada em região de apoio e pontos de aplicação de cargas (cm)

Caso sejam utilizados diretamente os resultados experimentais e as correlações proposta neste trabalho, para estimar o CPE a partir da densidade básica, as Equações 5.88 e 5.89 passam a ser expressa por:

Para madeira verde:

$$N_{c90,av} = \gamma' \phi_c A (217,172D_b - 63,744) \quad (4.91)$$

Para madeira seca:

$$N_{c90,as} = \gamma' \phi_c A (291,719D_b - 62,541) \quad (5.92)$$

Onde:

$N_{c90,av}$: Carga admissível na compressão perpendicular às fibras para madeira verde (Kgf)

$N_{c90,as}$: Carga admissível na compressão perpendicular às fibras para madeira seca (Kgf)

$\phi_c = 0,2$: Fator de ponderação da resistência para tensões normais de compressão

D_b = Densidade básica da madeira ($\frac{g}{cm^3}$)

A : Área de contato no ponto da carga localizada (cm^2)

$\gamma' = 2,0215 \cdot b^{-0,265}$: Coeficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira

b : largura da faixa da atuação da carga localizada em região de apoio e pontos de aplicação de cargas (cm)

4.8 Ligações parafusadas

O comportamento da madeira em relação a sua capacidade de carga, especialmente para barras tracionadas de treliças de cobertura convencionais, é determinado na maioria das situações, pelo comportamento e resistência das ligações (Melo, 2018). A NBR 7190 (1982) estabelece as seguintes disposições construtivas para se calcular os esforços admissíveis em parafusos e pregos de aço:

1. As tensões normais de compressão ou tração nas peças de aço não deverão ultrapassar:
 - a. Força axial: 1/2 do limite de escoamento mínimo do aço especificado
 - b. Flexão: 5/8 do limite de escoamento mínimo do aço especificado
 - c. Cisalhamento: 1/3 do limite de escoamento mínimo do aço especificado.
2. Espessura mínima da chapa metálica:
 - a) Elementos principais de pontes: 9,53 mm (3/8"), ou 10 mm;
 - b) Demais casos: 6,4 mm (1/4").
3. Não considerar o atrito entre os elementos de ligação.
4. Deve-se colocar no mínimo dois parafusos por ligação.
5. As fórmulas presentes são aplicadas para cobrejuntas metálicas. Caso se deseje utilizar cobrejuntas de madeira, considerar 80% do valor da tensão admissível por parafuso na compressão paralela às fibras.

Neste caso o valor de “b” não pode ser superior ao dobro da largura da peça lateral menos espessa, sendo que “b” é a largura das peças de madeira, medida na direção do eixo do parafuso.

As figuras abaixo representam os esforços dos parafusos nas peças de madeira (MELO, 2018):

Figura 21- Ligação de peças de madeira com cobrejuntas metálicas

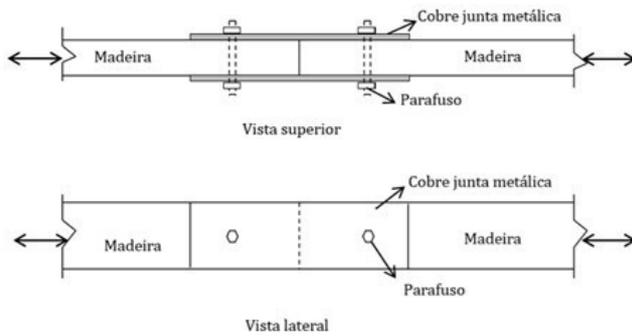


Figura 22- Ligação de peças de madeira com cobre junta de madeira.

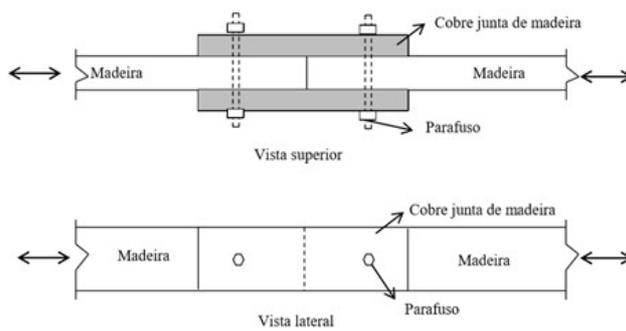


Figura 23- Ligação de peças de madeira com cobrejuntas de madeira (vista)

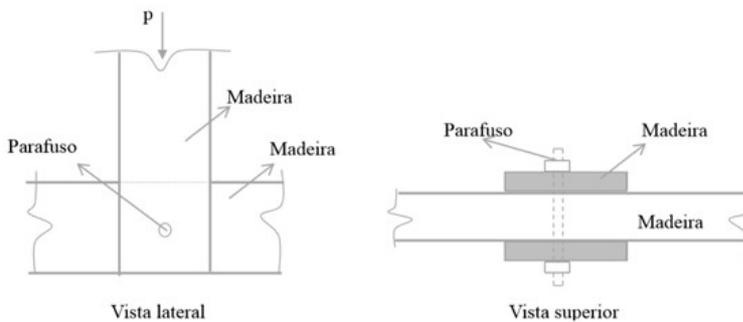
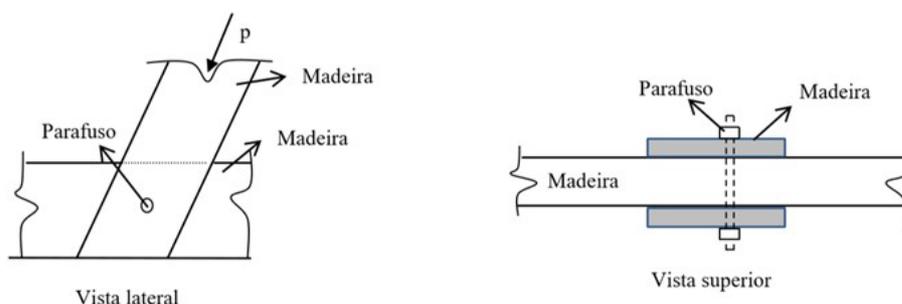


Figura 24- Ligação de peças de madeira com cobrejuntas de madeira (vista)



4.8.1 Ligações parafusadas com duas peças laterais metálicas

A tensão admissível de compressão paralela às fibras F_{c0} equivale a tensão de ruptura na compressão paralela às fibras $f_{c0,k}$ (PA) multiplicada pelo fator de ponderação da resistência à compressão ($\phi_c = 0,20$). Sendo assim, a equação em função da densidade básica é:

$$f_{c0,d} = \phi_c f_{c0,k} \quad (5.93)$$

Para madeira na condição verde (umidade de saturação):

$$f_{c0,dv} = \phi_c (827,321 D_b - 118,863) \quad (5.94)$$

Para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%):*

$$f_{c0,ds} = \phi_c (1065,973 D_b - 30,689) \quad (5.95)$$

1. Tensão básica paralela às fibras, na área projetada do parafuso:

$$F_{bp} = 0,9 f_{c0,d} \quad (5.96)$$

Para madeira na condição verde (umidade de saturação):

$$F_{bp} = 0,9 \phi_c (827,321 D_b - 118,863) \quad (5.97)$$

Para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%):

$$F_{bp} = 0,9 \phi_c (1065,973 D_b - 30,689) \quad (5.98)$$

2. Tensão básica perpendicular às fibras, na área projetada do parafuso:

$$F_b = 0,25 F_{bp} \quad (5.99)$$

Para madeira na condição verde (umidade de saturação):

$$F_{bnv} = 0,225 \phi_c (827,321 D_b - 118,863) \quad (5.100)$$

Para madeira na condição seca (teor de umidade de 12%):

$$F_{bns} = 0,225 \phi_c (1065,973 D_b - 30,689) \quad (5.101)$$

3. Força admissível paralela às fibras, por parafuso, de uma peça principal de madeira e duas cobrejuntas laterais metálicas:

$$N_p = F_{bp} \omega_p b d$$

Para madeira verde, vem:

$$N_{pv} = 0,9 \phi_c \omega_p b d. (827,321 D_b - 118,863) \quad (5.102)$$

Para madeira seca, vem:

$$N_{ps} = 0,9 \phi_c \omega_p b d. (1065,973 D_b - 30,689) \quad (5.103)$$

$$\omega_p = \frac{22,6 + 0,63 \omega'_p + 0,00575 \omega'^2_p}{100}, \quad \text{para } \omega'_p \leq 33,3 \quad (5.104)$$

$$\omega_p = \frac{25,0 + 0,75 \omega'_p}{100} \leq 1, \quad \text{para } \omega'_p > 33,3 \quad (5.105)$$

$$\omega'_p = \frac{59 F_y d^2}{0,9 \phi_c b^2. (827,321 D_b - 118,863)}, \quad (\text{madeira verde}) \quad (5.106)$$

$$\omega'_p = \frac{59 F_y d^2}{0,9 \phi_c b^2. (1065,973 D_b - 30,689)}, \quad (\text{madeira seca}) \quad (5.107)$$

Onde:

N_{pv} : Força admissível paralela às fibras, na área projetada do parafuso, para madeira verde (Kgf)

N_{ps} : Força admissível paralela às fibras, na área projetada do parafuso, para madeira seca (Kgf)

F_y : limite de escoamento do aço do parafuso (Kgf/cm²)

b : comprimento de contato do parafuso com a peça de madeira, medida na direção do eixo do parafuso (cm)

d : diâmetro do parafuso (cm).

4. Força admissível perpendicular às fibras, por parafuso, de uma peça principal de madeira e duas peças laterais metálicas:

$$N_n = F_{bn} \omega_n b d \eta$$

Para madeira verde:

$$N_{nv} = 0,225 \phi_c \omega_n b d \eta (827,321 D_b - 118,863) \quad (5.108)$$

Para madeira seca:

$$N_{ns} = 0,225 \phi_c \omega_n b d \eta (1065,973 D_b - 30,689) \quad (5.109)$$

$$\omega_n = \frac{25,0 + 0,75 \omega'_n}{100} \leq 1, \quad \text{para } \omega'_n > 33,3 \quad (5.111)$$

$$\omega'_n = \frac{26,2 F_y d^2}{0,225 \phi_c b^2 \cdot (827,321 D_b - 118,863)} \quad (\text{madeira verde}) \quad (5.112)$$

$$\omega'_n = \frac{26,2 F_y d^2}{0,225 \phi_c b^2 (1065,973 D_b - 30,689)} \quad (\text{madeira seca}) \quad (5.113)$$

$$\eta = 1,8035 d^{-0,363} \quad (\text{Bessa, 2019}) \quad (5.114)$$

Onde:

N_{nv} : Força admissível perpendicular às fibras para madeira verde (Kgf)

N_{ns} : Força admissível perpendicular às fibras para madeira seca (Kgf)

F_{bn} : Tensão básica perpendicular às fibras, na área projetada do parafuso (Kgf/cm²)

F_y : Limite de escoamento do aço do parafuso (Kgf/cm²);

b : comprimento de contato do parafuso com a peça de madeira, medida na direção do eixo do parafuso (cm);

d : diâmetro do parafuso (cm);

η : Coeficiente que depende do diâmetro do parafuso.

➤

4.8.2 Ligações parafusadas com duas peças laterais de madeira

A metodologia de cálculo é equivalente à do item acima na compressão paralela às fibras. Contudo, deve-se considerar 80% do valor da tensão admissível por parafuso, como foi visto no item 5.7. Além disso, o valor da largura das peças de madeira, medida na direção do eixo do parafuso, não pode ser superior ao dobro da largura da peça lateral menos espessa.

4.8.3 Esforços inclinados em relação às fibras

A fórmula de Hankinson, representada abaixo, permite definir os valores intermediários da força admissível por parafuso (N_θ) em função do ângulo θ da força em relação à direção das fibras (MELO, 2018).

$$N_\theta = \frac{N_p \cdot N_n}{N_p \cdot \text{sen}^2 \theta + N_n \cdot \text{cos}^2 \theta}$$

Assim, a partir das Equações 5.102 e 5.103, para madeira verde, vem:

Para madeira verde:

$$N_{\theta v} = \frac{0,2025 \phi_c^2 \omega_p \omega_n \eta b^2 d^2 \cdot (827,321 D_b - 118,863)^2}{[0,9 \phi_c \omega_p b d \operatorname{sen}^2 \theta \cdot (827,321 D_b - 118,863)] + [0,225 \phi_c \omega_n b d \eta \operatorname{cos}^2 \theta \cdot (827,321 D_b - 118,863)]}$$

(Equação 5.115)

Assim, a partir das Equações 5.108 e 5.109, para madeira seca, vem:

$$N_{\theta s} = \frac{0,2025 \phi_c^2 \omega_p \omega_n \eta b^2 d^2 (1065,973 D_b - 30,689)^2}{[0,9 \phi_c \omega_p b d \operatorname{sen}^2 \theta \cdot (1065,973 D_b - 30,689)] + [0,225 \phi_c \omega_n b d \eta \operatorname{cos}^2 \theta \cdot (1065,973 D_b - 30,689)]}$$

(Equação 5.116)

$$\omega_p = \frac{22,6 + 0,63 \omega'_p + 0,00575 \omega'_p{}^2}{100}, \quad \text{para } \omega'_p \leq 33,3$$

$$\omega_p = \frac{25,0 + 0,75 \omega'_p}{100} \leq 1, \quad \text{para } \omega'_p > 33,3$$

$$\omega'_p = \frac{59 F_y d^2}{0,9 \phi_c b^2 \cdot (827,321 D_b - 118,863)}, \quad (\text{madeira verde})$$

$$\omega'_p = \frac{59 F_y d^2}{0,9 \phi_c b^2 \cdot (1065,973 D_b - 30,689)}, \quad (\text{madeira seca})$$

$$\omega_n = \frac{22,6 + 0,63 \omega'_n + 0,00575 \omega'_n{}^2}{100}, \quad \text{para } \omega'_n \leq 33,3$$

$$\omega_n = \frac{25,0 + 0,75 \omega'_n}{100} \leq 1, \quad \text{para } \omega'_n > 33,3$$

$$\omega'_n = \frac{26,2 F_y d^2}{0,225 \phi_c b^2 \cdot (827,321 D_b - 118,863)} \quad (\text{madeira verde})$$

$$\omega'_n = \frac{26,2 F_y d^2}{0,225 \phi_c b^2 (1065,973 D_b - 30,689)} \quad (\text{madeira seca})$$

$$\eta = 1,8035 d^{-0,363} \quad (\text{Bessa, 2019})$$

Onde:

$N_{\theta v}$: força admissível inclinada para madeira verde, por parafuso (Kgf)

$N_{\theta s}$: força admissível inclinada para madeira seca, por parafuso (Kgf)

θ : ângulo da direção do esforço em relação a direção das fibras

b : comprimento de contato do parafuso com a peça de madeira, medida na direção do eixo do parafuso (cm);

d : diâmetro do parafuso (cm);

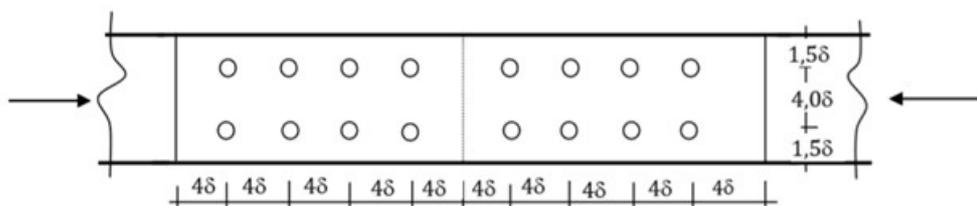
η : Coeficiente que depende do diâmetro do parafuso.

4.8.4 Espaços mínimos entre parafusos – uma peça principal com duas cobrejuntas laterais de madeira

Os espaçamentos mínimos recomendados, entre parafusos, de acordo com a NBR 7192 (1982), são os representados abaixo.

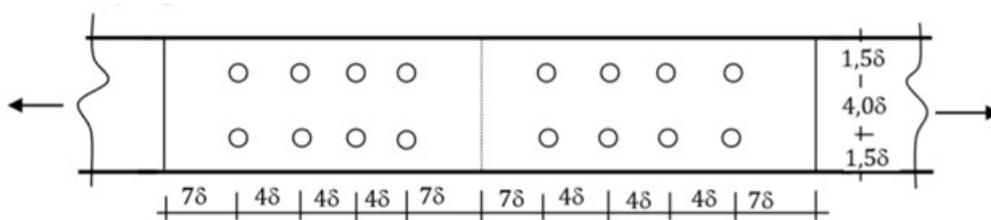
1. Compressão paralela às fibras
 - a. Entre parafusos: 4 vezes o seu diâmetro (δ)
 - b. Borda longitudinal: 4 vezes o seu diâmetro (δ)
 - c. Borda vertical: 1,5 vezes o seu diâmetro (δ)

Figura 21- Espaçamento mínimo



2. Tração paralela às fibras
 - a. Entre parafusos: 4 vezes o seu diâmetro (δ)
 - b. Borda longitudinal: 7 vezes o seu diâmetro (δ)
 - c. Borda vertical: 1,5 vezes o seu diâmetro (δ)

Figura 22- Espaçamento mínimo

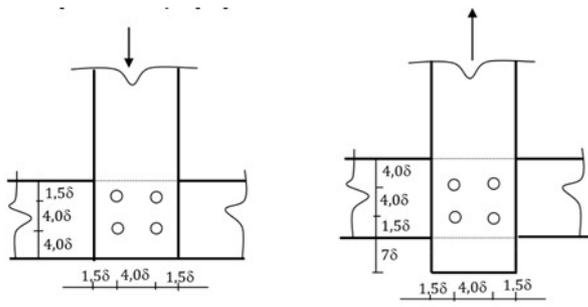


3. Compressão e tração perpendicular às fibras

Os parafusos devem distanciar entre si de:

- a) Compressão:
 - Entre parafusos: 4 vezes o seu diâmetro (δ)
 - Borda peça horizontal: 1,5 vezes o seu diâmetro (δ)
 - Borda peça vertical: 1,5 vezes o seu diâmetro (δ)
4. Tração:
 - Entre parafusos: 4 vezes o seu diâmetro (δ);
 - Borda peça horizontal: 4 vezes o seu diâmetro (δ) na parte superior e 1,5 na inferior;
 - Borda peça vertical: 1,5 vezes o seu diâmetro (δ)

Figura 23- Espaçamento mínimo



5 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA COM MODELO DE SEGURANÇA PROBABILÍSTICO PELA NBR 7190/1997

5.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta os modelos de resistência para elementos estruturais de madeira baseados no método probabilístico constante da norma brasileira NBR-7190/1997-Projeto de Estruturas de Madeira (ABNT, 1997) e os modelos de resistência desenvolvidos para o material utilizando a densidade básica da madeira como variável independente, apresentados no Capítulo 3. A resistência do material foi desenvolvida a partir de modelos estatísticos de regressão linear simples – MRLS, formalmente definidos no Capítulo 2 precedente, aplicado ao espaço amostral aleatório representado pelo Banco de Dados de Madeiras Tropicais caracterizadas pelo LPF. O MRLS define esperanças e variâncias no espaço amostral com todos os resultados possíveis do experimento aleatório, para uma variável Y definida, relacionada a valores de uma outra variável X . A seguir são apresentados modelos de resistência para elementos estruturais submetidos a tração axial, compressão axial, flexão simples e flexão composta oblíqua.

5.2 Barras Tracionadas

Este item trata do estudo de barras tracionadas axialmente. Normalmente, barras tracionadas ocorrem em elementos de treliça utilizadas na cobertura de galpões de uso geral. Os critérios de verificação obedecem às seguintes hipóteses básicas:

- A força de tração axial passa pelo centroide CG da seção transversal da peça;
- Ausência de momento fletor atuante em todo o comprimento da barra;
- Barra retilínea sem imperfeições iniciais e material sem defeito;
- Barra prismática (seção transversal constante);
- A tensão atuante na seção transversal é uniforme;
- Madeira verde saturada;
- Madeira seca a 12% de umidade.

5.2.1 Resistência Para Barras Tracionadas

A condição de segurança para barras solicitadas à tração axial é representada pela Eq. (7.20) (NBR 7190 97). Assim:

$$\sigma_{Nt,d} \leq f_{t0,d} \quad (5.1)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d} = \frac{T_d}{A_n}$: tensão solicitante de cálculo à tração axial (paralela às fibras);

$f_{t0,d}$: Tensão resistente de cálculo à tração axial (paralela às fibras);

T_d : Força de cálculo axial de tração;

A_n : Área líquida da seção transversal.

Tendo em vista a fragilidade da madeira a compressão perpendicular às fibras, há dificuldade em realizar ensaios à tração, uma vez que os corpos de prova, comumente, rompem no ponto de fixação da garra da máquina de ensaio à tração paralela às fibras. Em virtude disso os códigos de projeto, geralmente, estimam a resistência a tração axial paralela às fibras a partir da resistência à ruptura na flexão ($f_{b,k} = MOR$), ou a partir da resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k} = CPA$). A NBR 7190/97 admite as duas hipóteses, dando preferência para a estimativa da resistência a tração a partir da tensão de ruptura a compressão paralela as fibras. Isso se deve à madeira ter um comportamento nitidamente elastofrágil na tração paralela às fibras, o mesmo não ocorrendo para a compressão paralela às fibras. Por esta razão, a determinação de $f_{t0,k}$ por meio de uma expressão de comportamento elástico linear (equação da mecânica clássica para tensão de flexão: $\sigma = M \cdot \frac{y}{I}$), não é correta em virtude da nítida distribuição não linear das tensões, na ruptura por flexão simples. A adoção da tensão de ruptura à flexão ($f_{b,k}$), para estimar a resistência à tração axial ($f_{t0,k}$), tem uma clara tendência a superestimar essa resistência (NBR 7190, 97). Esse erro sistemático contra a segurança era compensado na antiga norma (NBR 7190/82), pelo aumento do coeficiente de minoração da resistência à tração. Tomava-se, portanto, apenas 15% do resultado do ensaio ($\sigma_t = 0,15MOR$; $\sigma = 0,15f_{b,k}$) e não 20% como era feito na compressão paralela às fibras (NBR 7191, 97). A versão atual da norma brasileira, apesar disso, ainda admite essas duas alternativas para estimar a resistência à tração axial. Nesse sentido, quando da revisão da norma brasileira, foi feita uma investigação direta para determinação de uma função de correlação entre a resistência à tração axial ($f_{t0,k}$) e a resistência a compressão axial ($f_{c0,k}$), ambas paralelas às fibras. Os resultados mostram uma função linear de constante nula, tendo $f_{c0,k}$ como variável independente, conforme a equação 7.2. Dessa forma, para estimativa da carga resistente de cálculo à tração axial, $N_{tR,d}$, determinada a partir do $f_{c0,k}$, vem:

$$f_{t0,k} \geq 1,3f_{c0,k} \quad \because \quad (5.2)$$

$$N_{tR,d} \leq \phi_t A_n 1,3 \cdot f_{c0,k} \quad (5.3)$$

Para estimativa da carga resistente de cálculo à tração axial $N_{tR,d}$, determinada a partir da tensão resistente de compressão na flexão, $f_{b,k}$, vem:

$$f_{t0,k} \geq f_{b,k} \quad \because \quad (5.4)$$

$$N_{tR,d} \leq \phi_t A_n 1,3 \cdot f_{b,k} \quad (5.5)$$

Madeira nas condições verde e seca, tendo como referência o $f_{c0,k}$, vem:

Para madeira verde (referência o f_{c0k}):

$$N_{tR,d}^v = \phi_t A_n 1,3. (816,548D_b - 113,263) \quad (5.6)$$

Para madeira seca:

$$N_{tR,d}^s = \phi_t A_n 1,3. (1087,063D_b - 44,872) \quad (5.7)$$

➤

Madeira nas condições verde e seca, tomando como referência o MOR, vem:

Para madeira verde (referência o f_{bk}):

$$N_{tR,d}^v = \phi_t A_n (166,0025D_b - 21,7285) \quad (5.8)$$

Para madeira seca:

$$N_{tR,d}^s = \phi_t A_n (219,4705D_b - 18,5034) \quad (5.9)$$

Onde:

$N_{tR,d}^v$: Carga resistente de cálculo à tração axial paralela as fibras para madeira verde (daN, ou Kgf)

$N_{tR,d}^s$: Carga resistente de cálculo à tração axial paralela as fibras para madeira seca (Kgf)

$\sigma_{Nt,d}$: Tensão de tração solicitante de cálculo paralela às fibras;

$f_{t0,k}$: Tensão de tração resistente nominal paralela às fibras;

$f_{t0,d}$: Tensão de tração resistente de cálculo paralela às fibras;

$f_{c0,k} = CPA$: Tensão de compressão resistente nominal paralela às fibras;

$f_{c0,d}$: Tensão de compressão resistente de cálculo paralela às fibras;

A_n : Área líquida da seção transversal;

$\phi_t = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à tração;

K_{mod} : Coeficiente de modificação;

$\gamma_w = 1,385$.

D_b : Densidade básica (g/ cm³)

$\phi_t = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à tração

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de ponderação de resistência para estados limites de tensões de tração

5.3 Barras Comprimidadas

5.3.1 Hipóteses Básicas

Este item trata do estudo de barras submetidas à compressão axial. A compressão centrada ocorre mais frequentemente em barras de treliças de cobertura em galpões de uso geral. As hipóteses básicas consideradas são:

- A força de compressão axial passa pelo centroide (CG) da seção transversal da peça
- Ausência de momento fletor atuante em todo o comprimento da barra
- Barra retilínea e sem imperfeições iniciais e material sem defeito
- Barra prismática (seção transversal constante)
- A tensão atuante na seção transversal é uniforme

- Madeira verde saturada
- Madeira seca (Umidade a 12%).

5.3.2 Resistência Barras Comprimidas

A NBR 7190/97 classifica as peças comprimidas a partir de seus respectivos índices de esbeltez, λ , em peças curtas, quando $\lambda \leq 40$, em medianamente esbeltas quando $40 < \lambda \leq 80$ e em esbeltas, quando $80 < \lambda \leq 140$, fixando em 140 o limite superior de esbeltez máxima (estado limite de utilização). Apenas na hipótese de se ter uma peça curta ($\lambda \leq 40$) o dimensionamento é feito pela regra clássica à compressão simples, sendo dispensada a avaliação de eventuais efeitos de flexão. Nos demais casos, mesmo que a solicitação de cálculo seja apenas a compressão centrada, a verificação de resistência e estabilidade deve ser feita admitindo-se uma excentricidade da carga de compressão. Essa excentricidade é devida às imperfeições acidentais geométricas das peças, excentricidades inevitáveis dos carregamentos em situações de projeto, além de amplificações das excentricidades em virtude de efeitos de segunda ordem. Para peças esbeltas ($\lambda > 80$) é necessário considerar uma excentricidade suplementar ocasionada por fenômenos de fluência da madeira. Dessa forma, para elementos estruturais esbeltos e medianamente esbeltos, a resistência e a estabilidade devem ser verificada segundo os critérios de peças flexocomprimidas, devendo satisfazer à condição geral, abaixo:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (5.10)$$

Onde:

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A_g} \quad (5.11)$$

$$\sigma_{md} = \frac{M_d \cdot y}{I} = \frac{M_d}{I/y} = \frac{M_d}{W} \quad (5.12)$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod}}{\gamma_c} \cdot CPA \quad (5.13)$$

Na equação 7.13, σ_{Nd} é a solicitação de cálculo referente à tensão normal compressão relativa ao esforço de compressão axial; σ_{md} o valor de cálculo da tensão de compressão na flexão, devida ao momento fletor de primeira e de segunda ordem, M_d ; E $f_{c0,d}$ é a tensão resistente de cálculo a

compressão paralela às fibras. O momento fletor M_d é estimado pela equação 7.17, a partir de uma excentricidade de 1ª ordem, amplificada para se levar em conta o efeito de segunda ordem, conforme a equação 7.18 abaixo:

$$M_d = N_d \cdot e_d \quad (7.17)$$

Onde,

$$e_d = e_{1,ef} \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.18)$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a; \quad \text{para } 40 < \lambda \leq 80 \quad (7.19a)$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c; \quad \text{para } 80 < \lambda \leq 140 \quad (7.19b)$$

Sendo,

$$e_a \geq \frac{L_0}{300} \quad (7.20a)$$

$$e_i = \text{excentricidade na aplicação carga axial em relação ao CG} = \frac{M_{1d}}{N_d} \geq \frac{h}{30} \quad (7.20b)$$

$$\phi = \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.20c)$$

Onde, ((Eq. (7.18) a Eq. (7.20c)):

- e_d : Excentricidade amplificada para estimativa do momento M_d ;
- $e_{1,ef}$: Excentricidade efetiva de primeira ordem;
- e_a : Excentricidade acidental mínima;
- e_i : Excentricidade geométrica de projeto em relação ao CG da seção;
- e_c : Excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira;
- Φ : Fator de amplificação do momento M_d ;
- N_d : Esforço axial de cálculo atuante na barra, a partir das ações permanentes e acidentais;
- N_e : Carga crítica de instabilidade elástica de Euler;
- M_{1d} : Momento de cálculo, na situação de projeto;
- M_d : Momento fletor de cálculo de primeira ordem amplificado.

É importante ressaltar que e_i se refere à excentricidade na aplicação da carga na seção transversal, em virtude das situações normais de projeto (pilares laterais, pilares de canto, ou mesmo barras integrantes de treliças de madeira). Portanto, e_i corresponde à distância do ponto de aplicação da carga, em relação ao centro de gravidade da seção transversal (CG da seção). É frequente nos

textos disponíveis, quando do dimensionamento de barras comprimidas de madeira, assumir a hipótese, equivocada, de que $e_i = 0$, por se tratar de treliça. Isso não é correto uma vez que na maioria das situações de projeto de treliças de madeira (mesmo para vãos convencionais), devido às dimensões das seções das peças de diagonais, montantes e os banzos da treliça, fazer a ligação sem excentricidade. Portanto, de acordo com a Eq. (7.20b) a excentricidade na aplicação da carga deve ser considerada, mesmo em barras de treliça, quando for maior do que o limite mínimo estabelecido nessa equação ($\frac{h}{30}$).

O fator ϕ (Timoshenko & Gere, 1963), representa a influência da força de compressão axial N_d na amplificação do momento M_d , determinado a partir das excentricidades discutidas acima. Esse fator Φ de amplificação depende da carga crítica de instabilidade elástica de Euler, de acordo com a Eq. (7.20c). O fator Φ tem uma forma apresentação, neste texto, diferente da NBR 7190/97, embora sejam a mesma equação. A forma dada pela Eq. (7.20c) mostra que, para valores de $\frac{N_d}{N_e} \geq 0,3$, o coeficiente $\Phi \geq 1,43$. Esse valor é aproximadamente o valor do coeficiente $\gamma_f = 1,4$ (valor médio do fator de majoração das ações nominais). Portanto, esse formato na equação do coeficiente de segunda ordem de amplificação do momento, Φ , permite ao projetista avaliar, previamente, a seção transversal adotada para a peça, antes mesmo da verificação da condição de resistência. O valor de N_e é dado pela equação 7.21, abaixo:

$$N_e = \left(\frac{\pi^2 E_{c0,ef} \cdot I}{L_0^2} \right) \quad (7.21)$$

Onde:

$E_{c0,ef}$: Módulo de elasticidade a compressão efetivo da madeira, em condição verde ou seca;

I : Momento de inércia da seção em relação ao eixo de flexão do momento M_d ;

L_0 : Comprimento efetivo a flambagem da peça.

No programa de pesquisa conduzido nos últimos trinta anos pelo LPF/SFB/MMA, que caracterizou quase trezentas espécies de madeiras tropical, foram realizados ensaios experimentais para estimativa do módulo de elasticidade à flexão, E_m . Não foram determinados módulo de elasticidade com corpos de prova a compressão paralela às fibras, E_c . Assim, é necessário modificar a Eq. (7.21) utilizando-se de uma função de correlação entre o módulo de elasticidade a compressão, E_c e o módulo de elasticidade à flexão, E_m . A NBR-7190/97 propõe uma função dada pela Eq. (7.23), de modo que a carga crítica de instabilidade elástica de Euler, toma a forma dada pela Eq. (7.22), conforme a seguir:

$$E_{c0,ef} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \cdot E_{c0} \quad (7.22)$$

Segundo (NBR 7191, 97),

$$E_m = 0,9E_{c0} \quad (7.23)$$

$$E_{c0} = 1,11E_m \quad (7.42)$$

Onde:

E_{c0} = Módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras;

E_m = Módulo de elasticidade à flexão.

Logo, tem-se:

$$E_{c0,ef} = k_{mod}E_c = k_{mod} \cdot 1,11E_m = 1,11 \cdot k_{mod}E_m \quad (7.25)$$

Fazendo,

$$E_{m,ef} = k_{mod}E_m \quad (7.26)$$

$$E_{c0,ef} = 1,11 \cdot E_{m,ef} \quad \therefore \quad (7.27)$$

$$N_e = \left(\frac{1,11 \cdot \pi^2 E_{m,ef} \cdot I}{L_0^2} \right) \quad (7.28)$$

Pode-se a partir da Eq. (7.28) (N_e no SI, portanto em Newton) estimar N_e para madeira na condição verde e na condição seca (umidade em 12%), conforme a Eq. (7.29) e Eq. (7.30), para módulo de elasticidade à flexão:

$$N_{e,v} = \left(\frac{11,1k_{mod} \cdot \pi^2 (15.298,5500D_b + 1.876,1964) \cdot I}{L_0^2} \right) \quad (7.29)$$

$$N_{e,s} = \left(\frac{11,1k_{mod} \cdot \pi^2 (16.047,5414D_b + 3.229,1657) \cdot I}{L_0^2} \right) \quad (7.30)$$

Onde:

$N_{e,v}$: Carga crítica de instabilidade elástica de Euler, em função de E_m e madeira verde (Kgf)

$N_{e,s}$: Carga crítica de instabilidade elástica de Euler, em função de E_m e madeira seca (Kgf)

K_{mod} : Coeficiente de modificação

D_b : Densidade básica da madeira(g/cm³)

I : Momento de inércia da seção transversal da peça relativo ao plano de flexão em que se está verificando a condição de segurança (cm⁴)

L_0 : Comprimento efetivo de flambagem da peça (cm).

A excentricidade de 1º ordem, e_1 , para peças medianamente esbeltas, é dada pela excentricidade acidental, e_a , devida às imperfeições geométricas das peças (empenamento, torção

originada especialmente pelo processo de secagem), somado a e_i , decorrente de excentricidades na aplicação da carga, dada pela Eq. (7.19a). Nas peças esbeltas ($80 < \lambda \leq 140$) deve-se considerar, ainda, uma excentricidade suplementar de 1ª ordem, e_c , que representa os efeitos da fluência da madeira (deformação lenta). As peças esbeltas devem ser verificadas à instabilidade, a exemplo das peças medianamente esbeltas. A excentricidade suplementar e_c é determinada a partir da excentricidade inicial devida apenas à carga permanente axial de compressão, e_{ig} , que é estimada como indica a equação:

$$e_{ig} = \frac{M_{1gd}}{N_{gd}} \quad (7.31)$$

Onde:

M_{1gd} : Valor de cálculo do momento fletor devido apenas às ações permanentes, na situação de projeto;

N_{gd} : Valor de cálculo da força normal devida à somente às ações permanentes.

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \left\{ e^{\left\{ \frac{\phi \cdot [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} \right\}} - 1 \right\} \quad (7.32)$$

Com $(\psi_1 + \psi_2) \leq 1,0$

onde $(\psi_1 + \psi_2)$ são os fatores de combinação e utilização, tabelados pela NBR 7190/97 e ϕ é o coeficiente de fluência dado pela tabela 15 da mesma. Pode-se observar que quanto maior as excentricidades e efeitos de fluência, ou seja, mais esbelta, menor a resistência à compressão paralela às fibras e chegamos à seguinte equação, a partir da Eq. (7.33):

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (7.33)$$

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} \leq 1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \Rightarrow \sigma_{Nd} \leq f_{c0,d} \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \right) \therefore$$

$$\sigma_{Nd} \leq f_{c0,red} = f_{c0,d} \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \right) \therefore$$

$$f_{c0,red} = f_{c0,d} \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \right) \quad (7.34)$$

Portanto, a tensão média a compressão axial atuante σ_{Nd} , não pode ultrapassar uma tensão resistente a compressão axial reduzida $f_{c0,red}$, resultante da interação entre o esforço normal e o momento fletor. O termo entre parênteses na Eq. (7.34) é um fator redutor da tensão resistente de cálculo a compressão

axial ($f_{co,d}$), devido a presença do momento fletor M_d atuante (ou a tensão σ_{md}). Dessa forma, pela Eq. (7.34) é possível estimar uma carga última de ruína a compressão axial, reduzida pela interação com o momento fletor, representada por P_u . Assim:

$$f_{co,red} = \frac{P_u}{A_g} = f_{co,d} \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{co,d}} \right) \quad \therefore$$

$$P_u = A_g \cdot f_{co,d} \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{co,d}} \right) = A_g \frac{k_{mod}}{\gamma_w} \cdot f_{co,k} \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{co,d}} \right)$$

Fazendo $CPA = f_{co,k}$, vem:

$$P_u = A_g \frac{k_{mod}}{\gamma} \cdot CPA \left(1 - \frac{\sigma_{md}}{f_{co,d}} \right) = A_g \phi_c CPA \left(1 - \frac{\frac{M_d}{W}}{\phi_c CPA} \right) \quad \therefore$$

$$P_u = \phi_c A_g CPA \left(1 - \frac{\frac{M_d}{W}}{\phi_c CPA} \right) \quad (7.35)$$

Onde:

P_u : Carga última resistente de ruína a compressão axial (Kgf/cm²)

CPA : Tensão resistente nominal de ruína a compressão por esmagamento paralelo às fibras

$M_d = N_d \cdot e_d$: Momento atuante na peça devido a excentricidades de primeira ordem

W : Módulo resistente elástico em relação ao eixo em que atua o momento fletor

A_g : Área bruta da seção transversal da peça

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência a compressão axial paralela às fibras

k_{mod} : Coeficiente de modificação (veja-se itens anteriores)

$\gamma_w = 1,4$: Para tensões de compressão paralelo às fibras.

Assim, para madeira condição verde e seca (umidade a 12%), vem:

Madeira Verde

A carga de compressão para madeira verde pode ser determinada por:

a) Para $\lambda \leq 40$ (Barra Curta)

Segundo a NBR-7190/97 a forma de ruptura para barra curta, caracteriza-se por esmagamento da madeira na seção mais comprimida, sendo expressa por:

$$\sigma_{Nd} = \frac{P_u}{A_g} = \phi_c CPA \Rightarrow P_u = \phi_c A_g CPA \Rightarrow$$

$$P_u = \phi_c \cdot A_g \cdot CPA \quad (7.36)$$

$$P_u = \phi_c A_g (827,321 D_b - 118,863) \quad (7.37)$$

Onde:

- P_u : Carga última de ruína a compressão axial por esmagamento (sem flambagem) (Kgf);
 $\phi_c = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;
 k_{mod} : Coeficiente de modificação ($(k_{mo,2} = 1,0$; ver item 5.3);
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência da madeira (ver tabela 5.1);
 A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);
 D_b : Densidade básica (g/cm³).

Para $40 < \lambda \leq 80$ (Barra medianamente esbelta)

$$P_u = \phi_c A_g (827,321 D_b - 118,863) \cdot \left(1 - \frac{M_d}{\phi_c W (827,321 D_b - 118,863)} \right) \quad (7.38)$$

$$M_d = N_d \cdot (e_i + e_a) \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.39)$$

Onde:

- P_u : Carga última de ruína reduzida a compressão axial, reduzida pelo momento fletor (Kgf);
 N_d : Carga à compressão axial atuante na barra (Kgf);
 $\phi_c = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;
 k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência da madeira (ver tabela 5.1);
 A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);
 D_b : Densidade básica (g/cm³);
 W : Módulo resistente elástico (cm³);
 N_e : Carga crítica de Euler, para madeira verde: $N_{e,v} = \left(\frac{11,1 k_{mod} \cdot \pi^2 (15.298,55 D_b + 1.876,20) \cdot I}{L_0^2} \right)$ (kgf)
 I : Momento de inércia da seção transversal da peça relativo ao plano de flexão em que se está verificando a condição de segurança (cm⁴)

Para $80 < \lambda \leq 140$ (Barra Esbelta)

$$P_u = \phi_c A_g (827,321 D_b - 118,863) \cdot \left(1 - \frac{M_d}{\phi_c W (827,321 D_b - 118,863)} \right) \quad (7.40)$$

$$M_d = (e_i + e_a + e_c) \cdot N_d \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.41)$$

Onde:

- P_u : Carga última de ruína reduzida a compressão axial, reduzida pelo momento fletor (Kgf);
 N_d : Carga à compressão axial atuante na barra (Kgf);
 $\phi_c = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

k_{mo} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

D_b : Densidade básica (g/cm³);

W : Módulo resistente elástico (cm³);

N_e : Carga crítica de Euler, para madeira verde: $N_{e,v} = \left(\frac{11,1k_{mod}\pi^2(15.298,550D_b+1.876,196).I}{L_0^2} \right)$ (kgf)

I : Momento de inércia da seção transversal da peça relativo ao plano de flexão em que se está verificando a condição de segurança (cm⁴)

Madeira Seca

A carga de cálculo à tração axial na madeira seca, admitindo-se as hipóteses acima, pode ser determinada por:

Para $\lambda \leq 40$ (Barra Curta)

$$P_u = \phi_c A_g (1065,973D_b - 30,689) \quad (7.42)$$

Onde:

P_u : Carga última de ruína a compressão axial por esmagamento (sem flambagem) (Kgf)

$\phi_c = k_{mod} \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão

k_{mod} : Coeficiente de modificação (ver item 5.2)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1)

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

Para $40 < \lambda \leq 80$ (Barra medianamente esbelta)

$$P_u = \phi_c A_g (1065,973D_b - 30,689) \cdot \left(1 - \frac{M_d}{\phi_c W (1065,973D_b - 30,689)} \right) \quad (7.43)$$

$$M_d = N_d \cdot (e_i + e_a) \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.44)$$

Onde:

P_u : Carga última de ruína reduzida a compressão axial, reduzida pelo momento fletor (Kgf)

N_d : Carga à compressão axial atuante na barra (Kgf)

$\phi_c = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão

k_{mod} : Coeficiente de modificação (ver item 5.2)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1)

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

W : Módulo resistente elástico (cm³)

N_e : Carga crítica de Euler: $N_{e,s} = \left(\frac{11,1k_{mod}\pi^2(16.047,541D_b+3.229,167).I}{L_0^2} \right)$ (kgf)

I : Momento de inércia da seção transversal da peça relativo ao plano de flexão em que se está verificando a condição de segurança (cm⁴)

Para $80 < \lambda \leq 140$ (Barra Esbelta)

$$P_u = \phi_c A_g (1065,973D_b - 30,689) \cdot \left(1 - \frac{M_d}{\phi_c W (1065,973D_b - 30,689)}\right) \quad (7.45)$$

$$M_d = N_d \cdot (e_i + e_a + e_c) \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.46)$$

Onde:

P_u : Carga última de ruína reduzida a compressão axial, reduzida pelo momento fletor (Kgf);

N_d : Carga à compressão axial atuante na barra (Kgf);

$\phi_c = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

k_{mod} : Coeficiente de modificação (ver item 5.2);

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

D_b : Densidade básica (g/cm³);

W : Módulo resistente elástico (cm³);

N_e : Carga crítica de Euler para madeira seca: $N_{e,s} = \left(\frac{11,1 k_{mod} \cdot \pi^2 (16.004,754 D_b + 3.229,17) \cdot I}{L_0^2} \right)$ (kgf).

5.4 Barras Fletidas

5.4.1 Hipóteses Básicas

Este item trata do estudo das barras submetidas à flexão simples. Estas normalmente ocorrem nos pisos de edifícios, ou mezaninos, para uso residencial, comercial ou mesmo industrial. As hipóteses básicas consideradas são:

- Para peças submetidas à flexão simples as verificações devem ser feitas de acordo com a teoria da elasticidade clássica;
- As barras à flexão simples estão submetidas a momentos fletores em relação a somente um dos eixos principais de inércia;
- O plano de aplicação das cargas passa pelo centro de cisalhamento da seção transversal, estando a viga restringida à rotação nos apoios e pontos de aplicação de cargas concentradas;
- Barra retilínea sem imperfeições iniciais;
- Barra prismática o que significa que a viga tem seção constante ao longo do seu eixo longitudinal;
- Os pontos de apoio das vigas são restringidos a rotação em torno do seu eixo longitudinal;
- As cargas são aplicadas lentamente de modo que possam ser consideradas estáticas, ou quase estáticas;
- Madeira na base verde e seca.

5.4.2 MADEIRA VERDE

Momento fletor de cálculo para tensão de compressão na flexão, na madeira verde:

$$M_a = \phi_b W (1.659,581D_b - 215,093) \quad (7.47)$$

Onde:

M_a : Momento resistente à flexão simples (cm.Kgf);

$\phi_b = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à flexão;
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);
 k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);
 W : Módulo resistente elástico (cm³);
 D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

5.4.3 Madeira Seca

Momento fletor admissível para tensão de compressão na flexão, na madeira seca:

$$M_d = \phi_b W (2.102,506 D_b - 132,091) \quad (7.48)$$

Onde:

M_d : Momento resistente à flexão simples (cm.Kgf);
 $\phi_b = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à flexão;
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);
 k_{mod} : Coeficiente de modificação (ver item 5.2);
 W : Módulo resistente elástico (cm³);
 D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

5.5 Esforço Cortante Admissível Na Flexão Simples

As seções utilizadas para madeira são normalmente retangulares, quadradas ou circulares. As vigas de seção composta, geralmente são formadas por essas seções individuais. Logo, são compactas e frequentemente as tensões de cisalhamento atuantes são significativamente menores que as tensões admissíveis ao cisalhamento. Dessa forma, para seções maciças retangulares não há necessidade de verificação da interação simultânea do momento fletor com a força cortante.

5.5.1 Madeira Verde

Resistência ao esforço cortante é dado por:

$$V_d = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (157,886 \cdot D_b) \quad (7.49)$$

Onde:

V_d : Esforço cortante na seção (Kgf);
 $\phi_v = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação resistência ao cisalhamento;
 k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.2);
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);
 I : Momento de inércia da seção (cm⁴);
 b : Largura da seção no plano de corte considerado (cm);
 S : Momento estático da parte comprimida, ou tracionada da seção transversal em relação à linha neutra (cm³);
 D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

➤

5.5.2 Madeira Seca

Resistência ao esforço cortante:

$$V_d = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (207,516 D_b) \quad (7.50)$$

Onde:

V_d : Esforço cortante na seção (Kgf);

$\phi_v = k_{mod} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$: Fator de ponderação resistência ao cisalhamento;

k_{mod} : Coeficiente de modificação (ver item 5.2);

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

I : Momento de inércia da seção (cm⁴);

b : Largura da seção no plano de corte considerado (cm);

S : Momento estático para parte comprimida, ou tracionada da seção transversal em relação à linha neutra (cm³);

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

5.6 Barras Submetidas A Flexão Composta

5.6.1 Hipóteses Básicas

Este item trata do estudo das barras submetidas à flexão composta. Solicitações dessa natureza, normalmente, ocorrem em pilares de canto, ou laterais, em edificações como pisos, e estruturas cuja arquitetura exija a aplicação de uma excentricidade inicial. As hipóteses básicas consideradas são:

- Para peças submetidas à flexão composta as verificações podem ser feitas de acordo com a teoria da elasticidade clássica
- As barras podem estar solicitadas à flexão composta oblíqua
- O plano de aplicação das cargas passa pelo centro de cisalhamento da seção transversal, estando a viga restringida à rotação nos apoios e pontos de aplicação de cargas concentradas. Portanto, momento torsor é desprezível
- Barra prismática o que significa que a viga tem seção transversal constante ao longo do seu eixo longitudinal
- Os pontos de apoio das vigas são restringidos à rotação em torno do seu eixo longitudinal
- As cargas são aplicadas lentamente de modo que possam ser consideradas estáticas, ou quase estáticas
- A madeira pode estar na condição verde, ou na condição seca (umidade a 12%)

5.6.2 Flexo-Tração

Nas peças estruturais submetidas a flexotração os esforços resistentes devem ser estimados com a hipótese de relação constitutiva de comportamento elastofrágil da madeira para tração paralela às fibras. Na flexotração oblíqua, a segurança deve ser verificada por meio da mais rigorosa de duas condições de resistência, aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais tracionada, considerando uma função linear para a influência das tensões decorrentes do esforço normal de tração em interação com o momento fletor, conforme abaixo:

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{t0d}} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{f_{t0d}} \leq 1,0 \quad (7.51)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0d}} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{my,d}}{f_{t0d}} \leq 1,0 \quad (7.52)$$

Onde $\sigma_{N,d}$ é o valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de tração; f_{t0d} é a resistência de cálculo à tração paralela às fibras; $\sigma_{mx,d}$ e $\sigma_{my,d}$ são as tensões máximas relativas às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais, isoladamente sem atuação do esforço de tração; k_M é o coeficiente de correção relacionado à forma geométrica da seção transversal da peça.

Tendo em vista a fragilidade da madeira a compressão perpendicular às fibras, há dificuldade em realizar ensaios à tração, uma vez que os corpos de prova, comumente, rompem no ponto de fixação da garra da máquina de ensaio à tração paralela às fibras, conforme discutido no item sobre verificação de barras tracionadas. Em virtude disso os códigos de projeto, geralmente, estimam a resistência a tração axial paralela às fibras a partir da resistência à tração na flexão (MOR), ou a partir da resistência a compressão axial paralela às fibras (CPA). A NBR 7190/97 admite as duas hipóteses, dando preferência para a estimativa a partir da compressão axial (CPA). Isso se deve à madeira ter um comportamento nitidamente elastofrágil na tração paralela às fibras, o mesmo não ocorrendo à compressão paralela às fibras. Por esta razão, a determinação de f_{tk} por meio de uma expressão de comportamento elástico linear (equação da mecânica clássica para tensão de flexão: $\sigma = \frac{My}{I}$), não é correto em virtude da nítida distribuição não linear, na ruptura por flexão simples. A adoção da tensão de resistência a tração na flexão ($f_{Mk} = MOR$), para estimar a resistência à tração axial paralela às fibras (f_{tk}), tem uma clara tendência a superestimar a resistência à tração (NBR 7190, 97). Esse erro sistemático contra a segurança era compensado na antiga norma (NBR 7190/82), pelo aumento do coeficiente de minoração da resistência à tração. Tomava-se, portanto, apenas 15% do resultado do ensaio ($\gamma_t = 0,15MOR; \sigma = 0,15f_{Mk}$) e não 20% como era feito na compressão paralela (NBR 7191, 97). A versão atual da norma brasileira, apesar disso, admite estas duas alternativas. Contudo, quando da elaboração da norma brasileira, foi feita uma investigação direta de correlação entre a resistência a tração axial (f_{t0k}) e a resistência a compressão axial (f_{c0k}), ambas paralelas às fibras. Os resultados obtidos mostraram que se pode admitir a função linear, com f_{c0k} como variável independente: $f_{t0k} \geq 1,3 \cdot f_{c0k}$. Dessa forma, vem:

$$f_k = 1,3f_{c0k} \quad \because \quad (7.53)$$

$$f_{td} = \phi_t CPA \quad (7.54)$$

$$f_{t0d} = \frac{K_{mod}}{\gamma_t} \cdot 1,3f_{c0k} = K_{mod} \cdot \frac{1,3}{1,8} \cdot f_{c0k} \quad \because$$

$$f_{t0d} = \frac{K_{mod}}{1,385} \cdot CPA = \phi_t CPA \quad \therefore$$

Logo, tem-se:

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{\phi_t CPA} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_t CPA} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_t CPA} \leq 1,0 \quad (7.55)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{\phi_t CPA} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_t CPA} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_t CPA} \leq 1,0 \quad (7.56)$$

Então, para a condição de madeira verde e $CPA = 82,732D_b - 11,886$, levando na Eq. (7.55) e Eq. (7.56)

Madeira Verde

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{\phi_t(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_t(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_t(827,321D_b - 118,863)} \leq 1,0 \quad (7.57)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{\phi_t(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_t(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_t(827,321D_b - 118,863)} \leq 1,0 \quad (7.58)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d} = \frac{T_d}{A_n}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de tração (Kgf/cm²)

T_d : Esforço de tração axial de cálculo (kgf);

A_n : Área líquida da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (igual a 0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{xd}}{W_{xt}}$: Tensão de tração relativa momento segundo o eixo-x (Kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{yd}}{W_{yt}}$: Tensão máxima relativa ao momento segundo o eixo-y (Kgf/cm²);

M_{xd} : Momento de cálculo atuante em relação ao eixo x (cm.Kgf);

M_{yd} : Momento de cálculo atuante em relação ao eixo y (cm.Kgf);

$W_{xt} = \frac{I_x}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-x (cm³);

$W_{yt} = \frac{I_y}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-y (cm³);

I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴);

I_y : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-y ($\frac{hb^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴);

$\phi_t = \frac{k_{mod}}{1,385}$: Fator de ponderação da resistência à tração;

k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

MADEIRA SECA (Umidade A 12%)

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{\phi_t(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_t(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_t(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1,0 \quad (7.59)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{\phi_t(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_t(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_t(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1,0 \quad (7.60)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d} = \frac{T_d}{A_n}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de tração;

T_d : Esforço de tração axial de cálculo (kgf);

A_n : Área líquida da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (igual a 0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{xd}}{W_{xt}}$: Tensão de tração relativa momento segundo o eixo-x (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{yd}}{W_{yt}}$: Tensão máxima relativa ao momento segundo o eixo-y (kgf/cm²);

M_{xd} : Momento de cálculo atuante em relação ao eixo-x (kgf.cm);

M_{yd} : Momento de cálculo atuante em relação ao eixo-y (kgf.cm);

$W_{xt} = \frac{I_x}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-x (cm³);

$W_{yt} = \frac{I_y}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-y (cm³);

I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴);

I_y : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-y ($\frac{hb^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴);

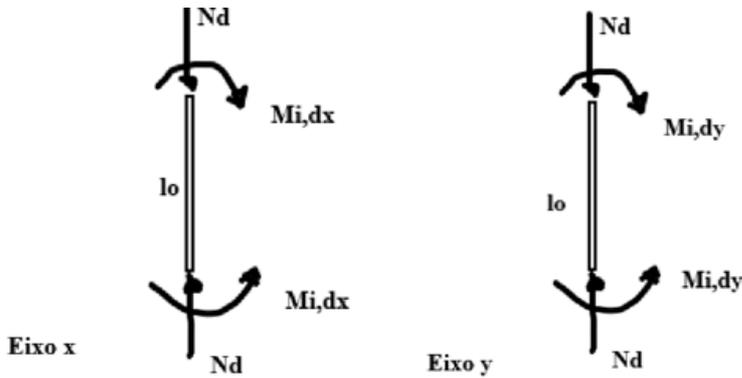
$\phi_t = \frac{k_{mod}}{1,385}$: Fator de ponderação da resistência à tração;

k_{mod} : Coeficiente de modificação;

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

5.6.3 Flexo-Compressão

Nas peças estruturais submetidas a flexocompressão os esforços resistentes podem ser estimados com a hipótese de relação constitutiva de comportamento elastoplástico da madeira para compressão paralela às fibras. A segurança de barras submetidas à flexocompressão oblíqua é assegurada pelo atendimento da resistência ao esmagamento das fibras da madeira a compressão, no ponto mais solicitado da borda mais comprimida, da seção transversal, sem consideração da instabilidade. As funções de interação normal-fletor para a resistência ao esmagamento das fibras, são quadráticas para a influência das tensões relativas ao esforço normal de compressão. Além da consideração da resistência deve ser verificada a estabilidade admitindo-se uma excentricidade acidental (imperfeições geométricas em virtude, principalmente, do processo de secagem) e excentricidades inevitáveis dos carregamentos. Deve-se considerar ainda um acréscimo dessas excentricidades em decorrência dos efeitos de segunda ordem que amplificam o momento fletor (Timoshenko & Gere, 1963) e, para peças esbeltas ($\lambda > 80$), uma excentricidade decorrente da fluência (deformação lenta) da madeira.



5.6.4 Condição de Resistência

A condição de segurança relativa à resistência das seções transversais submetidas à flexocompressão é expressa pela mais rigorosa das equações abaixo, considerando para a interação normal-fletor uma função quadrática para a influência das tensões relativas à força normal de compressão, conforme já destacado acima. Assim:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{cod}}\right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{cod}} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{f_{cod}} \leq 1,0 \quad (7.61)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{cod}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{my,d}}{f_{cod}} \leq 1,0 \quad (7.62)$$

Onde $\sigma_{Nc,d}$ é o valor de cálculo da parcela da tensão normal atuante em virtude apenas dos esforços de compressão; f_{cod} é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras; $\sigma_{mx,d}$ e $\sigma_{my,d}$ são as tensões máximas devido às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais; k_M é o coeficiente de correção relacionado à forma geométrica da seção transversal da peça caracterizada no item referente à flexão simples oblíqua.

5.6.5 2. Condição de Estabilidade

Além das condições de resistências estabelecidas acima, as barras submetidas à flexão composta oblíqua devem atender duas condições de estabilidade:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{cod}} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{f_{cod}} \leq 1,0 \quad (7.63)$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{cod}} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{my,d}}{f_{cod}} \leq 1,0 \quad (7.64)$$

As tensões normais devidas aos momentos fletores $M_{x,d}$ e $M_{y,d}$, são amplificadas pelos efeitos de segunda ordem para elementos estruturais definidos como medianamente esbeltas ($40 < \lambda \leq 80$) e esbeltas ($80 < \lambda \leq 140$). Assim, as excentricidades são definidas como abaixo:

$$e_1 = e_i + e_a \quad \text{para } 40 < \lambda \leq 80 \quad (7.65)$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c \quad \text{para } 80 < \lambda \leq 140 \quad (7.66)$$

Em

cada uma das expressões acima, somente a parcela não minorada pelo fator k_M deve ser amplificada pelo efeito de segunda ordem. Na parcela minorada por k_M , os momentos $M_{x,d}$ ou $M_{y,d}$ são momentos de cálculo de primeira ordem (momentos externos atuantes). Em peças medianamente esbeltas deve-se considerar os efeitos de segunda ordem relativo às excentricidades acidentais (e_a) e iniciais (e_i). Dessa forma, os momentos que não são minorados por k_M serão amplificados por uma excentricidade e_1 , que é a excentricidade de primeira ordem. Os momentos amplificados incluem um momento de primeira ordem (externo) $M_{i,d}$, e um momento de segunda ordem previsto.

Na Eq. (7.63), o momento $M_{d,x}$ é função da excentricidade dada pela Eq. (7.65), e deve ser amplificado pelo termo $\left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}}\right)$. Dessa forma, para elementos estruturais medianamente esbeltos, portanto com ($40 < \lambda \leq 80$), vem:

$$M_{d,x} = N_d \cdot (e_a + e_{i,x}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}}\right) \quad (7.67)$$

Para a verificação da segunda condição de estabilidade, dada pela Eq. (7.64), $M_{d,y}$ de forma semelhante é dado pela Eq. (7.68):

$$M_{d,y} = N_d \cdot (e_a + e_{i,y}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}}\right) \quad (7.68)$$

$$N_e = \left(\frac{1,11 \cdot \pi^2 E_{m,ef} \cdot I}{L_0^2}\right) \quad (7.69)$$

A parcela $\left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}}\right)$ (Timoshenko & Gere, 1963), representa a influência da força de compressão axial N_d na barra deformada, comparada com a carga crítica de instabilidade elástica de Euler N_e (Euler, 1744), dada pela Eq. (7.69). Para a Eq. (7.67), Eq. (7.68) e Eq. (7.69), tem-se as seguintes definições:

I: momento de inércia da seção transversal relativo ao plano de flexão em que se está verificando a estabilidade

$E_{m,ef}$: Valor efetivo do módulo de elasticidade a flexão

$$e_a = \frac{L_0}{300} \quad (7.70)$$

L_0 é o comprimento efetivo de flambagem

$$e_i = \frac{M_{i,d}}{N_d} \geq \frac{h}{30}, \text{ ou } \frac{b}{30} \quad (7.71) \quad \begin{array}{l} h, \\ \text{ou} \end{array}$$

b é a altura seção transversal na direção perpendicular ao plano de flexão.

A excentricidade accidental e_a deve ser considerada em função da possibilidade real de existir imperfeições geométricas da barra, originadas, especialmente, pelo processo de secagem da madeira. A excentricidade geométrica e_i advém da possibilidade de existirem excentricidades na aplicação das cargas. O valor de e_i é estimado a partir do valor de cálculo $M_{i,d}$, correspondente ao momento externo atuante de cálculo (momento de primeira ordem). N_d é o esforço normal solicitante de cálculo. No caso de peças esbeltas ($80 < \lambda \leq 140$) é necessário acrescentar uma excentricidade suplementar definida como e_c em virtude da fluência da madeira, determinada pela expressão (NBR 7190/97):

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot \{e^c - 1\} \quad (7.72)$$

$$c = \frac{\phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]} \quad (7.73)$$

com $(\psi_1 + \psi_2) \leq 1,0$

onde ψ_1 e ψ_2 são fatores referentes à combinação, ao tipo e duração das ações accidentais, dados pela Tabela 7.2, abaixo; N_{gk} e N_{qk} são valores característicos (a partir das ações nominais) do esforço normal devidos às cargas permanentes e variáveis, respectivamente; $M_{1g,d}$ é o valor de cálculo do momento fletor devido apenas às ações permanentes; ϕ é o coeficiente de fluência relacionado às classes de carregamento e de umidade, dado pela Tabela 7.1.

Tabela 55.1: Coeficientes de fluência ϕ

Classes de Carregamento	Classes de Umidade	
	1 e 2	3 e 4
Permanente ou de Longa Duração	0,8	2,0
Média Duração	0,3	1,0
Curta Duração	0,1	0,5

Figura 5.1: Coeficientes de combinação ψ_1 e ψ_2 (NBR 7190/97)

Ações em estruturas correntes	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 ¹⁾
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 ¹⁾
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 ¹⁾
¹⁾ Admite-se $\psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.			

Na Eq. (7.72) e_{ig} é determinado conforme a Eq. (7.74), abaixo:

$$e_{ig} = \frac{M_{1gd}}{N_{gd}} \quad (7.74)$$

Onde, M_{1gd} é o momento de 1ª ordem relativo, exclusivamente, à carga permanente, ou seja, momento externo de cálculo atuante devido à carga permanente; N_{gd} esforço de cálculo relativo à carga permanente.

Para a Eq. (7.63), o $M_{d,x}$ será amplificado pela Eq. (7.66), conforme abaixo:

$$M_{d,x} = N_d \cdot (e_a + e_{i,x} + e_{c,x}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.75)$$

Para a Eq. (7.64), o $M_{d,y}$ será amplificado, também, pela Eq. (7.66), conforme:

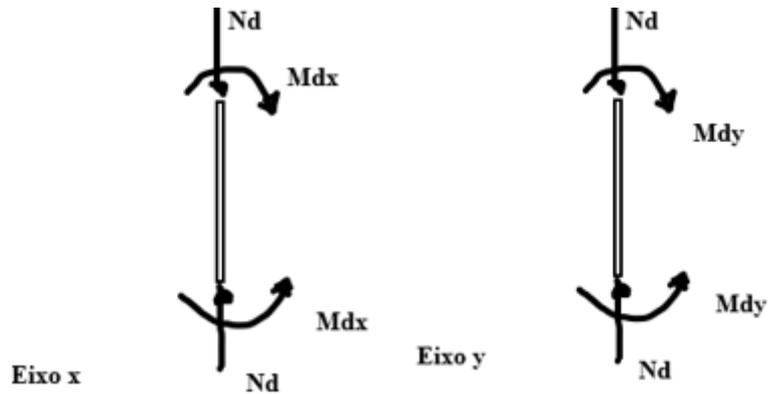
$$M_{d,y} = N_d \cdot (e_a + e_{i,y} + e_{c,y}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (7.76)$$

Madeira Verde

Barra Curta ($\lambda \leq 40$)

A NBR-7190/97 estabelece para barras curtas apenas a verificação da resistência, sem consideração

de flambagem. Assim:



$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{cd}}\right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{cd}} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{f_{cd}} \leq 1,0 \quad (7.77)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{cd}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{my,d}}{f_{cd}} \leq 1,0 \quad (7.78)$$

Onde $\sigma_{Nc,d}$ é o valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão; f_{cd} é a resistência de cálculo à compressão paralelas às fibras; $\sigma_{mx,d}$ e $\sigma_{my,d}$ são as tensões máximas devidas às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais; k_M é o coeficiente de correção relacionado com a possibilidade de não uniformidade da madeira na seção transversal, dependendo, portanto, do tipo da seção transversal (retangular e outros tipos de seção, como circular). Reescrevendo as inequações acima em função da resistência nominal para compressão paralela às fibras (CPA), tem-se:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c CPA}\right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c CPA} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c CPA} \leq 1,0 \quad (7.80)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c CPA}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c CPA} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c CPA} \leq 1,0 \quad (7.79)$$

Onde $CPA = (827,32D_b - 118,86)$, na para madeira na condição verde, vem:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)}\right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.81)$$

-
-
-

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.82)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_d}{A_g}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;

N_d : Força de compressão (kgf);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm²);

M_x : Momento atuante em relação ao eixo x, sem amplificação (kgf.cm);

M_y : Momento atuante em relação ao eixo y, sem amplificação (kgf.cm);

$W_x = \frac{I_x}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

$W_y = \frac{I_y}{x}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ($\frac{b.h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi.d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴);

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ($\frac{h.b^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi.d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴);

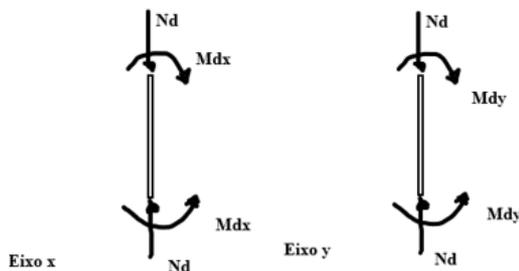
$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

Barra Medianamente Esbelta ($40 < \lambda \leq 80$)



a) Verificação da Condição de Resistência

Conforme já discutido, não se considera a flambagem, na verificação da resistência. Assim:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.83)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.84)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_d}{A_g}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;

N_d : Força de compressão (kgf);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm²);

M_{x} : Momento atuante em relação ao eixo x, sem amplificação (kgf.cm);

$M_{d,y}$: Momento atuante em relação ao eixo y, sem amplificação (kgf.cm);

$W_x = \frac{I_x}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça; (cm³);

$W_y = \frac{I_y}{x}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça; (cm³);

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular); (cm⁴);

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular); (cm⁴);

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

b) Verificação da Condição de Estabilidade

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1,0 \quad (7.85)$$

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{m,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1,0 \quad (7.86)$$

Onde:

Para a Eq. (7.85):

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

$M_{d,x} = N_d \cdot (e_a + e_{i,x}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right)$ (kgf.cm).

Para a Eq. (7.86):

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

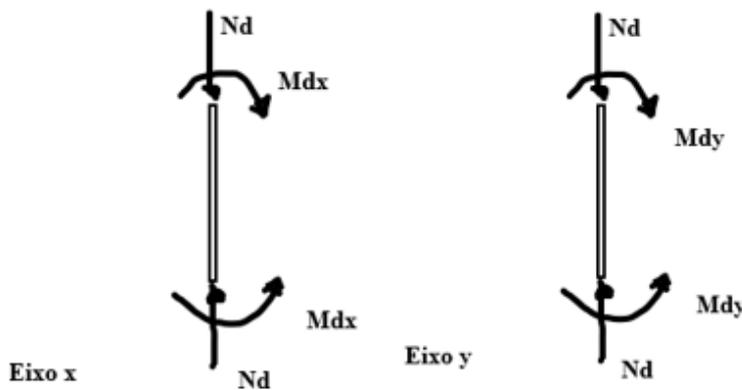
$M_{d,y} = N_d \cdot (e_a + e_{i,y}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right)$ (kgf.cm).

$N_e = \left(\frac{11,1 k_{mod} \cdot \pi^2 (15,298,55 D_b + 1,876,20) \cdot I}{L_0^2} \right)$, carga crítica de Euler para madeira verde.

Barra Esbelta ($80 < \lambda \leq 140$)

a) Verificação da Condição de Resistência .

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c (827,321 D_b - 118,863)} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c (827,321 D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c (827,321 D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.87)$$



Onde:

$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_d}{A_g}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;

N_d : Força de compressão (kgf);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm²);

$M_{d,x}$: Momento de primeira ordem atuante, sem amplificação (kgf.cm);

$M_{d,y}$: Momento de primeira ordem atuante, sem amplificação (kgf.cm);

$W_x = \frac{I_x}{y}$; : Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

$W_y = \frac{I_y}{x}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴);

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴);

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

k_{mod} : Coeficiente de modificação ($k_{mod,2} = 1,0$; ver item 5.3);

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

b) Verificação da Condição de Estabilidade

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + k_M \cdot \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.88)$$

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(827,321D_b - 118,863)} \leq 1 \quad (7.89)$$

Onde:

$$N_e: \text{carga crítica de Euler: } N_{e,v} = \left(\frac{11,1k_{mod} \cdot \pi^2 (15.298,55D_b + 1.876,20) \cdot I}{L_0^2} \right)$$

Para a Eq. (7.88):

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}: \text{Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm}^2\text{);}$$

$$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}: \text{Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm}^2\text{);}$$

$$M_{d,x} = N_d \cdot (e_a + e_{i,x} + e_{c,x}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \text{ (kgf.cm).}$$

Para a Eq. (7.89):

$$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}: \text{Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm}^2\text{);}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}: \text{Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm}^2\text{);}$$

$$M_{d,y} = N_d \cdot (e_a + e_{i,y} + e_{c,y}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \text{ (kgf.cm).}$$

Madeira Seca (Umidade a 12%)

Barra Curta ($\lambda \leq 40$)

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,6892)} \leq 1 \quad (7.90)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.91)$$

Onde:

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_d}{A_g}: \text{Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;}$$

N_d : Força de compressão axial (kgf);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x}: \text{Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm}^2\text{);}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y}: \text{Tensão máxima devido ao momento atuante, sem amplificação (kgf/cm}^2\text{);}$$

M_x : Momento atuante em relação ao eixo x, sem amplificação (kgf.cm);

M_y : Momento atuante em relação ao eixo y, sem amplificação (kgf.cm);

$W_x = \frac{I_x}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

$W_y = \frac{I_y}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm^3)

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm^4);

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm^4);

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

k_{mod} : Coeficiente de modificação;

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm^3).

Barra Medianamente Esbelta ($40 < \lambda \leq 80$)

a) Verificação da Condição de Resistência

Conforme já discutido, não se considera a flambagem, na verificação da resistência. Assim:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.92)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.93)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_d}{A_g}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;

N_d : Força de compressão (kgf);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm^2);

k_M : Coeficiente de correção (0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm^2);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm^2);

$M_{d,x}$: Momento atuante em relação ao eixo x, sem amplificação (kgf.cm);

$M_{d,y}$: Momento atuante em relação ao eixo y, sem amplificação (kgf.cm);

$W_x = \frac{I_x}{x}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm^3);

$W_y = \frac{I_y}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm^3);

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm^4);

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm^4);

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

k_{mod} : Coeficiente de modificação;

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm^3).

b) Verificação da Condição de Estabilidade

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.94)$$

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.95)$$

Onde:

Para a Eq. (7.94):

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

$$M_{d,x} = N_d \cdot (e_a + e_{i,x}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (\text{kgf.cm}).$$

Para a Eq. (7.95):

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

$$M_{d,y} = N_d \cdot (e_a + e_{i,y}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right) \quad (\text{kgf.cm});$$

$$N_e = \left(\frac{11,1k_{mod}\pi^2(16,047,5414D_b + 3,229,1657).l}{L_0^2} \right), \text{ carga crítica de Euler para madeira seca.}$$

Barra Esbelta ($80 < \lambda \leq 140$)

a) Condição de resistência

$$\left(\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \right)^2 + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.96)$$

$$\left(\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.97)$$

Onde:

$\sigma_{nc,d} = \frac{N_d}{A_g}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;

N_d : Força de compressão (kgf);

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (0,5 para seção retangular; 1,0 para outras seções);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

$M_{d,x}$: Momento atuante em relação ao eixo x, sem amplificação (kgf.cm);

$M_{d,y}$: Momento atuante em relação ao eixo y, sem amplificação (kgf.cm);

$W_x = \frac{I_x}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

$W_y = \frac{I_y}{x}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³);

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴);

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴);

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à compressão;

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração (ver tabela 5.1);

k_{mod} : Coeficiente de modificação;

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

b) Condição de Estabilidade

$$\frac{\sigma_{c,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.98)$$

$$\frac{\sigma_{nc,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + k_M \frac{\sigma_{mx,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} + \frac{\sigma_{my,d}}{\phi_c(1065,973D_b - 30,689)} \leq 1 \quad (7.99)$$

Onde,

Para a Eq. (7.98):

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

$M_{d,x} = N_d \cdot (e_a + e_{i,x} + e_c) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right)$ (kgf.cm);

Para a Eq. (7.99):

$\sigma_{mx,d} = \frac{M_{d,x}}{W_x}$: Tensão devida ao momento, sem amplificação (kgf/cm²);

$\sigma_{my,d} = \frac{M_{d,y}}{W_y}$: Tensão devido ao momento, com amplificação (kgf/cm²);

$M_{d,y} = N_d \cdot (e_a + e_{i,y} + e_{c,y}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{N_d}{N_e}} \right)$ (kgf.cm);

N_e : Carga crítica de Euler: $N_e = \left(\frac{11,1k_{mod} \cdot \pi^2 (16,047,5414D_b + 3,229,1657)I}{L_0^2} \right)$.

6 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA COM MÉTODO DE SEGURANÇA PROBABILÍSTICO PELA NBR 7190/2022 E EUROCODE 5/2004

6.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta modelos de resistência para elementos estruturais de madeira tropical utilizando a densidade básica como variável independente e método de segurança probabilístico segundo as prescrições da nova norma brasileira NBR 7190/22 (ABNT, 2022), que se baseia quase que integralmente na norma europeia Eurocode 5 (Eurocode 5, 2004). São apresentadas formulações para o dimensionamento de elementos estruturais solicitados a tração e a compressão axial, a flexão simples e a flexão composta. Critérios sobre o dimensionamento de ligações utilizando a densidade básica constará da próxima edição.

6.2 Modelos de Resistência Para o Material Utilizando a Densidade Básica

Os modelos de regressão linear simples entre a Densidade Básica- D_b , utilizada como variável independente, e outras Propriedades Mecânicas e Físicas de Madeiras Tropicais (PMFMT), foram obtidas com a utilização do software comercial Excel da Microsoft (Microsoft Excel, 2019) para modulação dos dados e a plataforma *jamovi project statistical platform* (jamovi, 2022) para análise descritiva e testes estatísticos. Análises de regressão e verificação de pressupostos estatísticos foram elaboradas a partir da amostra que compõe o Banco de Dados com espécies de madeiras tropicais elaborado no programa de caracterização conduzido pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF do IBAMA/MMA. Nos itens seguintes são apresentadas as regressões lineares entre a densidade básica como variável independente e como variável dependente propriedades mecânicas importantes para o uso e o projeto de elementos estruturais e ligações de madeira, obtendo-se modelos de resistência do material para: resistência à ruína na flexão, compressão paralela às fibras, cisalhamento na flexão, compressão perpendicular às fibras e módulo de elasticidade. O estudo detalhado para obtenção dos modelos de regressão linear simples, e verificação e análise de pressupostos estatísticos encontra-se em (De Paula, 2022).

6.2.1 Modelo de Resistência de Madeira Tropical Para Tensão de Ruptura na Flexão – MOR (Madeira Verde e Seca)

Esse é o caso de elementos estruturais submetidos à flexão simples, correspondentes a um estado de tensões gradientes na flexão. Esta propriedade é usada para dimensionamento de peças fletidas, arqueamento de peças, além de permitir a comparação entre espécies.

a) Para Madeira Verde – MOR

$$f_{m,k} = 166,0025D_b - 21,7285 \quad (6.1)$$

Onde:

$f_{b,k}$: Tensão resistente nominal de ruptura na flexão para madeira verde (MPa)

D_b : Densidade Básica da madeira (g/cm³).

b) Para a Madeira Seca – MOR (Teor de umidade de 12%)

$$f_{m,k} = 219,4705D_b - 18,5034 \quad (6.2)$$

Onde:

$f_{b,k}$ = Tensão resistente nominal de ruptura na flexão para madeira seca (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm³).



6.2.2 Modelo de Resistência de Madeira Tropical Para Compressão Paralela às Fibras – CPA (Madeira Verde e Seca)

Esta propriedade é usada para verificação da resistência de barras uniformemente comprimidas axialmente, tais como pilares, barras de treliças e verificação do estado de tensões em ligações, além de permitir a comparação entre espécies. A Figura 2 exibe a dispersão dos dados e as linhas de tendência para funções ajustadas para modelos lineares, potência e polinomial de grau 2, para compressão axial paralela às fibras, tendo a densidade básica como variável independente.

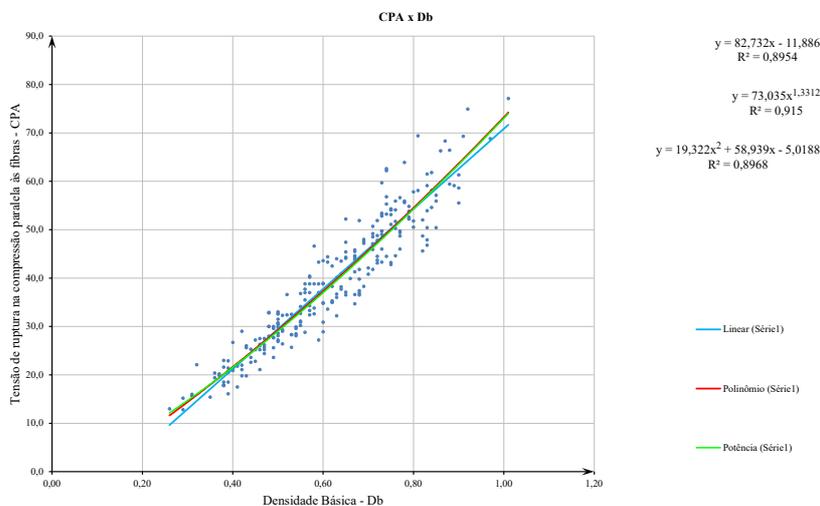


Figure 1: Dispersão dos dados e linhas de tendência de funções ajustadas para resistência a compressão axial paralela às fibras (CPA), para madeira verde em função da densidade básica.

a) Para Madeira Verde – CPA

$$f_{c0,k} = 81,6548D_b - 11,3263 \quad (6.3)$$

Onde:

$f_{c0,k}$ = Tensão resistente nominal de compressão axial para madeira verde (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm³).

b) Para a Madeira Seca – CPA (Teor de umidade de 12%)

$$f_{c0,k} = 108,7063D_b - 4,4872 \quad (6.4)$$

Onde:

$f_{c0,k}$ = Tensão resistente nominal de compressão axial para madeira seca (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm³).

6.2.3 Modelo de Resistência de Madeira Tropical Para Cisalhamento Longitudinal – CIS (Madeira Verde e Seca)

Essa propriedade é usada para verificação da resistência ao esforço cortante em barras fletidas, para a verificação do estado de tensões em ligações, além de permitir a comparação entre espécies diferentes de madeira.

a) Para Madeira Verde - CIS

$$f_{v0,k} = 16,8585D_b - 0,6970 \quad (6.5)$$

Onde:

$f_{v0,k}$ = Tensão resistente nominal de cisalhamento paralelo às fibras para madeira verde (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm³).

b) Para a Madeira Seca – CIS (Teor de umidade de 12%)

$$f_{v0,k} = 22,7318D_b - 1,1333 \quad (6.6)$$

Onde:

$f_{v0,k}$ = Tensão resistente nominal ao cisalhamento paralelo às fibras, para a madeira seca (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm³)

6.2.4 Modelo de Resistência da Madeira Para Compressão Perpendicular às Fibras – CPE (Madeira Verde e Seca)

Essa propriedade é usada para verificação do efeito de cargas localizadas, que normalmente ocorrem em apoio de vigas, treliças, e dormentes em linhas férreas. A análise do efeito de cargas localizadas em regiões de aplicação de cargas de valor elevado, em áreas reduzidas, é uma análise complexa, porque envolve uma distribuição de tensões não uniforme sob a carga aplicada e as regiões adjacentes. É uma propriedade mecânica também utilizada para a comparação entre espécies.

a) Para a Madeira Verde - CPE

$$f_{c90,k} = 20,7157D_b - 5,9486 \quad (6.7)$$

Onde:

$f_{c90,k}$ = Tensão resistente nominal de compressão perpendicular às fibras para a madeira verde (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm³).

b) Para a Madeira Seca - CPE (Teor de umidade de 12%)

$$f_{c,90,k} = 27,2171D_b - 6,7987 \quad (6.8)$$

Onde:

$f_{c90,k}$ = Tensão resistente nominal de compressão perpendicular às fibras madeira seca (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm3).

➤

6.2.5 Modelo de Regressão Linear Para Módulo de Elasticidade à Flexão - MOE (Madeira Verde e Seca)

O Módulo de Elasticidade à Flexão na fase elástica linear, determinado com ensaio à flexão, com carga concentrada central, é mais adequado porque considera os efeitos de deformação por tensões de cisalhamento e tensões normais de flexão na seção transversal. A Figura 3 exibe a dispersão dos dados e as linhas de tendência de funções ajustadas para modelos lineares, potência e polinomial de grau 2, para o módulo de elasticidade para madeira verde, tendo a densidade básica como variável independente.

a) Módulo de Elasticidade Para a Madeira Verde - MOE

$$E_{m,k} = 15.428,8644D_b + 1.817,4620 \quad (6.9)$$

Onde:

$E_{m,k}$ = Módulo de Elasticidade à Flexão para madeira verde (MPa).

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm3).

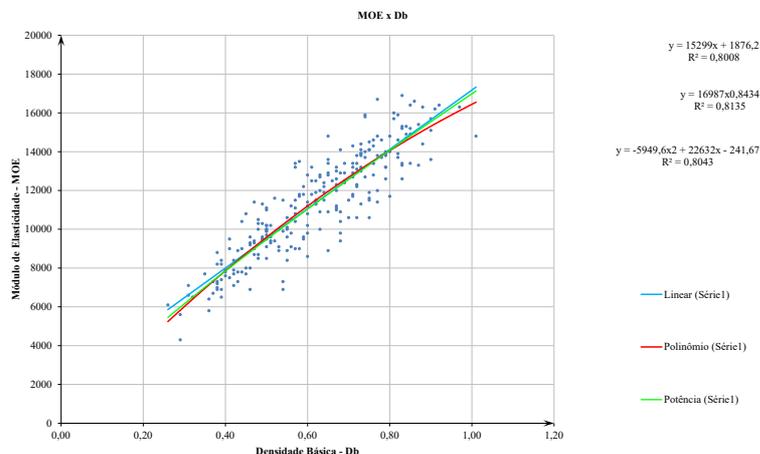


Figure 2: Dispersão dos dados e linhas de tendência de funções ajustadas para o módulo de elasticidade para madeira verde (MOE) em função da densidade básica.

b) Módulo de Elasticidade Para a Madeira Seca – MOE (Teor de umidade de 12%)

$$E_{m,k} = 16.892,6685D_b + 2.807,9183 \quad (6.10)$$

Onde:

$E_{m,k}$ = Módulo de Elasticidade à Flexão para madeira seca (MPa)

D_b = Densidade Básica da madeira (g/cm3).

6.3 Segurança e Desempenho

O modelo de segurança do método probabilista de estados limites consiste em se impor que os estados limites últimos somente possam ser atingidos quando, na seção da peça em que atuam as solicitações de cálculo, as resistências também têm seus valores iguais à resistência de cálculo. As solicitações de cálculo são usualmente valores majorados e as resistências de cálculo valores minorados. A segurança em relação aos estados limites últimos é garantida impondo-se que, nas condições de cálculo, as solicitações atuantes S_d não superem os valores das solicitações resistentes R_d , ou seja, $S_d \leq R_d$.

6.3.1 Coeficiente de Minoração da Resistência – γ_w

Em sua forma básica, criada tendo em vista as estruturas de concreto armado, a resistência de cálculo foi definida pela expressão:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (6.11)$$

Sendo o coeficiente de minoração das resistências do material imaginado como construído pelo produto de três outros coeficientes parciais, tal que:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \quad (6.12)$$

onde γ_{m1} considera a variabilidade da resistência dos materiais envolvidos, γ_{m2} considera a diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura e γ_{m3} leva em conta outras causas de diminuição da resistência, tais como defeitos localizados e imprecisões das hipóteses de cálculo dos métodos de avaliação das resistências estruturais. Quando considerado globalmente, o coeficiente de segurança γ_m leva em conta toda possível aleatoriedade da resistência do material do lote empregado. Esta aleatoriedade leva à diminuição da resistência das porções mais fracas, as quais, em princípio, podem estar sendo empregadas nos pontos mais solicitados das estruturas. Para a madeira, será utilizado o coeficiente de minoração γ_w , análogo ao coeficiente de minoração do concreto γ_m (também encontrado com a representação de γ_c em diversas literaturas).

Tabela 6.6.1: Valores de γ_w para estados limites últimos – NBR 7190/2022

Solicitação	γ_w
Compressão paralela às fibras	1,4
Flexão	1,4
Tração paralela às fibras	1,4
Cisalhamento paralelo às fibras	1,8

6.3.2 Coeficiente de Modificação – k_{mod}

O modelo de segurança ainda não está completo, pois há fenômenos não considerados. Sendo assim, foi atribuído à resistência um coeficiente de modificação, k_{mod} , que leva em consideração as influências não consideradas pelo coeficiente de minoração da resistência da madeira, γ_w . Os coeficientes de modificação, k_{mod} , afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida. Este, por sua vez, resulta do produto de outros dois coeficientes parciais, sendo:

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \quad (6.13)$$

O coeficiente parcial de modificação k_{mod1} leva em conta os efeitos das cargas repetidas ou da duração do carregamento em função do tipo de madeira empregado e é dado pela Tabela 6.2, anterior. A caracterização das classes de carregamento é definida na Tabela 6.3 em função da duração acumulada da ação variável principal admitida na combinação de ações considerada.

Tabela 6.2 Valores k_{mod1} (NBR 7190/2022)

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

Fonte: NBR 7190/2022

O coeficiente parcial de modificação k_{mod2} considera possíveis variações de resistência ao longo do tempo em função da umidade, sendo dado pela Tabela 6.3. O coeficiente de modificação k_{mod} é um coeficiente de correção e não deve ser interpretado como coeficiente de segurança. Ele apenas corrige as consequências de condições existentes nos ensaios dos materiais, mas que não existirão na estrutura em projeto, levando-se em conta as condições de uso, a umidade relativa do ambiente e a temperatura média durante o ano da região onde a estrutura será construída. Caso a madeira serrada seja utilizada submersa, deve-se adotar: $k_{mod2} = 0,65$.

Tabela 6.3 Valores de k_{mod2} (NBR 7190: 2022)

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
	(1)	
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70 ^a	0,90

^a Não é permitido o uso do MLCC para classe de umidade (4)

Tabela 6.4 Classes de umidade (NBR 7190: 2022)

Classes 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	$U_{mb} > 85\%$ Durante longos períodos	$\geq 25\%$

Os ensaios foram realizados com madeira verde (madeira saturada em água), ou seja, com a umidade de saturação da madeira, onde se obtém a resistência mínima, não sendo necessária então sua correção. Portanto, para madeira em condição verde, o coeficiente parcial de modificação k_{mod2} ,

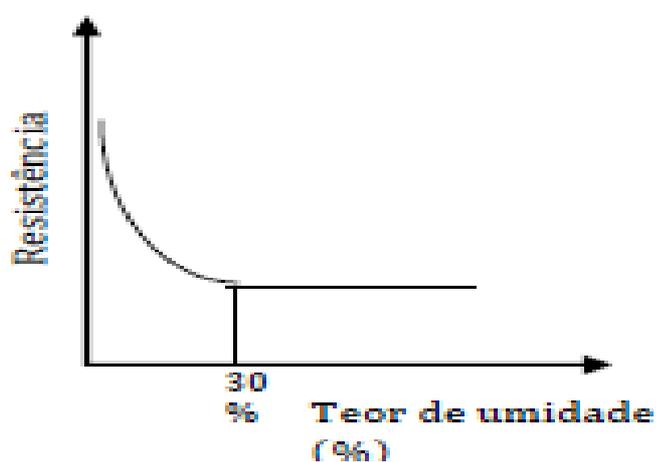


Figura 6.1: Resistência madeira x teor de umidade

que leva em conta a variação da resistência em função da umidade relativa média anual do ambiente, onde a edificação será construída, deve ser igual a unidade. Assim, valores de k_{mod2} para madeira na condição verde:

Madeira na condição verde, considerar:

$$k_{mod2} = 1,0 \quad (6.14)$$

6.4 Modelos de Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica

Modelos de dimensionamento para elementos estruturais de concreto armado, aço e madeira para diferentes formas de seções e estados limites últimos, geralmente, são representados por funções de interação entre esforços, respectivamente, conforme abaixo:

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, f_{ck}) \quad (6.15)$$

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, F_y) \quad (6.16)$$

$$R_n = \phi(P_1; P_2; \beta F_i^b; m) \quad (6.17)$$

$$R_n = \phi(P_1, P_2, \dots, \beta F_i^b, m) = F_{cr}(A_g, \lambda, \beta X_k, m) \quad (6.18)$$

Nos modelos R_n é uma função que expressa a capacidade resistente nominal da peça estrutural, P_1, \dots, P_n são resultantes de tensões, características geométricas da seção, ou do elemento estrutural e o f_{ck} e F_y são propriedades mecânicas do concreto e do aço, respectivamente, obtidas por ensaios, geralmente simples. Para elementos de madeira β é um fator de conformidade do material, ou seus produtos, X_k é a tensão resistente referente ao estado limite último considerado e m é um coeficiente de modificação fator relativo às condições de uso da peça, ou edificação, não contemplados por β . Os ensaios de compressão de corpos de provas cilíndricos de concreto para determinação do f_{ck} é relativamente fácil de ser realizado. O ensaio de tração com corpos de prova de chapas de aço é, também, simples de ser realizado e de ser compreendido. Todas as considerações e critérios de resistência nos modelos de segurança de elementos de estruturas de aço advêm do ensaio de tração simples. Além disso, para o aço praticamente todos os estados limites relacionados à segurança de barras à Tração, Compressão, Flexão, Flexo-Compressão e Flexo-Tração tem seus modelos de resistência relacionados diretamente ao limite de escoamento (F_y), como variável independente de

comparação. Além disso, o problema da determinação da resistência de peças de aço é mais simples que na madeira, pelo comportamento isotrópico do aço como material. O que já não ocorre para a madeira que tem um comportamento ortotrópico – as propriedades mecânicas não variam em um mesmo eixo, mas variam de uma direção para a outra. Além disso, há a influência do teor de umidade e a duração do carregamento nessa resistência. Dessa forma, os modelos de resistência de peças de madeira partem de tensões de comparação para as diferentes direções das tensões em relação à direção das fibras do material. Portanto para verificação de elementos estruturais de madeira é preciso determinar tensões limites de comparação para resistência à compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, compressão perpendicular às fibras, compressão para tensões gradientes na flexão, tensão de cisalhamento na flexão. Além disso, essas resistências são diferentes para madeira em condição verde e seca, o mesmo ocorrendo com o módulo de elasticidade (E_{Mv} e E_{Ms}), que também depende da duração do carregamento na estrutura (deformação lenta da madeira). Isso torna os ensaios de caracterização das espécies de madeira difíceis, complexos e, conseqüentemente, caros e dispendiosos. A discussão nos itens antecedentes deixa isso bastante evidente.

O projeto de estruturas de madeira torna-se, por essa razão, complexo e trabalhoso em virtude do comportamento anisotrópico do material, condições da madeira e seus produtos disponível no mercado brasileiro que só dispõe de madeira verde na grande maioria das situações. O que se propõe é simplificar o processo, mantendo a precisão do modelo tradicional previstos nas normas para projeto de elementos estruturais de madeira. Para os elementos de aço as funções resistência são quase que linearmente dependentes do limite de escoamento (F_y). Neste trabalho a variável que foi utilizada para determinação de funções de resistência é a Densidade Básica (D_b). Essa propriedade apresenta, conforme discutido anteriormente, forte correlação com outras propriedades mecânicas do material, podendo ser utilizada nos modelos de resistência do material e, conseqüentemente, nos modelos de dimensionamento de elementos estruturais com precisão e concordância estatística com os modelos de resistência experimental, mantendo a simplicidade das formulações similares ao dimensionamento de elementos e estruturas de aço. Nesse sentido é utilizada uma formulação similar ao adotado no dimensionamento de elementos aço, para os modelos de resistência da madeira propostos. Em (DePaula et al., 2019) apresenta-se de forma detalhada o desenvolvimento da formulação matemática utilizando a densidade básica para verificação de elementos de madeira submetidos à tração axial, compressão axial, flexão simples, flexão composta oblíqua, cisalhamento, efeito de cargas localizadas e ligações. A formulação independe do modelo de segurança adotado pelo código de referência, podendo ser o método dos estados limites (LRFD), quanto o método das resistências admissíveis (ASD). O desenvolvimento dos modelos matemáticos de dimensionamento para os dois métodos usuais de segurança se deve ao fato de que, no Brasil, escritórios de projeto de engenharia civil ainda

utilizarem o método das tensões admissíveis, além de ser utilizado pelas duas normas americanas atualmente em vigor (NDS, 2019) e (ASCE,1997).

6.5 Dimensionamento de Barras Tracionadas

6.5.1 Hipóteses Básicas

Este item trata do estudo de barras tracionadas axialmente. Normalmente, barras tracionadas ocorrem em elementos de treliça utilizadas em cobertura residências e de galpões de uso geral. Os critérios de verificação obedecem às seguintes hipóteses gerais básicas:

- A força de tração axial passa pelo centroide da seção transversal da peça
- Ausência de momento fletor atuante em todo o comprimento da barra
- Barra retilínea sem imperfeições geométricas iniciais e material sem defeito.
- Barra prismática (seção transversal constante).
- A tensão atuante na seção transversal é uniforme.
- Madeira verde (saturada em água), ou madeira seca (teor de umidade de 12%).

6.5.2 Modelo de Dimensionamento Para Elementos Estruturais Submetidos à Tração Axial

A resistência $f_{t0,k}$ de elementos de madeira à tração paralela às fibras é bem maior que a resistência à compressão paralela as fibras $f_{c0,k}$. Mas, como a falha por tensões de tração ocorre de modo frágil e não dútil, além dos efeitos de inclinação das fibras em relação aos esforços, a presença de nós e outros defeitos, a resistência à tração de elementos estruturais geralmente é considerada menor que a resistência à compressão.

O dimensionamento em relação à tensão é normalmente muito simples e a principal consideração é o valor da resistência da seção transversal a partir de uma tensão de comparação. A condição de segurança adotada pelos principais códigos é dada pela Equação (6.19), abaixo:

$$\sigma_{Nt,d} = \frac{N_{tS,d}}{A_n} \leq \phi_t f_{t0,k} \quad (6.19)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d}$: Valor da tensão de tração axial solicitante de cálculo

$N_{tS,d}$: Valor da força solicitante de tração axial de cálculo

A_n : Área líquida da seção transversal da barra

$f_{t0,k}$: valor tensão característica resistente de tração paralela às fibras (TPA).

Os principais códigos de projeto consideram a tensão resistente de tração $f_{t0,k}$ igual ao MOR ($f_{m,k}$), ao CPA (f_{c0k}), ou a uma parcela do CPA, conforme a abaixo:

Segundo a NBR-7190/82:

$$f_{t0,k} = \text{MOR} \quad (6.20)$$

Segundo a NBR-7190/97:

$$f_{t0,k} = 1,3CPA \quad (6.21)$$

Segundo a NBR-7190/2022 e o Eurocode-5/95:

$$f_{t0,k} = CPA \quad (6.22)$$

Portanto, há uma grande variação entre a tensão adotada pela versão da norma brasileira de 1982 (NBR 7190, 1982) e a versão de 2019 (NBR 7190/97), podendo chegar em até 90% para madeira seca. Em relação à edição de 1997 a diferença é de exatos 30%, com relação ao Eurocode-5/95, que é a base para a atual norma brasileira (NBR-7190, 2022).

A força resistente de cálculo à tração axial paralela as fibras, seguindo a Equação (6.19), segundo a NBR-7190/2022 e o Eurocode-5/95 é dada pela Equação (6.23) e Equação (6.24), abaixo, para madeira verde e seca, respectivamente

Para madeira verde:

$$N_{tR,d}^v = \phi_t A_n (816,548 D_b - 113,263) \quad (6.23)$$

Para madeira seca:

$$N_{tR,d}^s = \phi_t A_n (1087,063 D_b - 44,872) \quad (6.24)$$

Onde:

$N_{tR,d}^v$: Carga resistente de cálculo à tração axial paralela as fibras para madeira verde (daN, ou Kgf)

$N_{tR,d}^s$: Carga resistente de cálculo à tração axial paralela as fibras para madeira seca (Kgf)

A_n : Área líquida da seção transversal quando há furos, ou entalhe (cm²)

D_b : Densidade básica (g/ cm³)

$\phi_t = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à tração

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de ponderação de resistência para estados limites de tensões de tração

6.6 Dimensionamento de Barras Comprimidas

6.6.1 Hipóteses Básicas

Os critérios para dimensionamento de barras comprimidas axialmente previstos na nova norma brasileira, NBR 7190/2022, seguem as recomendações do Eurocode 5/1995. (LRFD). A função resistência a compressão axial proposta na versão de 2022 corrige a inconsistência da versão anterior da norma brasileira (NBR-7190, 1997), que propõe uma função que é descontínua nos limites entre barra curta e barra intermediária ($\lambda = 40$) e entre barra intermediária e barra longa ($\lambda = 80$). Seguindo o código europeu a nova norma brasileira não utiliza a clássica divisão para dimensionamento de barras comprimidas: peças comprimidas curtas, intermediárias e longas. Adota dois intervalos para o modelo de resistência à compressão axial: barras curtas, com ruína prevista por

esmagamento, sem flambagem, e outro intervalo que considera a possibilidade de instabilidade inelástica e elástica, em uma curva única. Para madeira tropical seca (teor de umidade de 12%) a esbelteza média em que ocorre ruína por esmagamento das fibras, sem flambagem, é aproximadamente $\lambda_s = 15$. Para madeira na condição verde este valor é da ordem de $\lambda_v = 19$.

Barras comprimidas axialmente ocorrem em pilares de edificações, postes, colunetas em painéis de paredes, ou barras em treliças de cobertura. São elementos que estão sujeitos à compressão axial paralela à direção das fibras ao longo do eixo da barra. Quando submetido a uma carga axial, à medida que a esbelteza da barra aumenta, há uma tendência para que se desloque lateralmente e eventualmente ocorra falha por instabilidade. As hipóteses básicas consideradas para a compressão centrada são:

- A força de compressão axial passa pelo centroide da seção transversal da peça
- Ausência de momento fletor atuante em todo o comprimento da barra
- Barra retilínea sem imperfeições geométricas inicial e material sem defeito
- Barra prismática (seção transversal constante)
- A tensão atuante na seção transversal é uniforme
- Madeira na condição verde (saturada em água), ou seca (teor de umidade de 12%).

6.6.2 Modelo de Dimensionamento Para Elementos Estruturais Submetidos a Compressão Axial Verificação da Resistência e Estabilidade

O dimensionamento em relação à tensão de compressão paralela às fibras é feito a partir de uma tensão de comparação. A condição de segurança adotada pelos principais códigos é dada pela Equação (6.25) para a condição de resistência sem flambagem (barra curta), conforme abaixo:

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_{cS,d}}{A_g} \leq \phi_c f_{c0,k} \quad (6.25)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d}$: Valor da tensão de compressão solicitante de cálculo

$N_{cS,d}$: Valor da força solicitante de compressão axial de cálculo atuante na barra

A_g : Área da seção transversal da barra

$f_{c0,k}$: Valor característico da tensão resistente de compressão paralela às fibras (CPA)

ϕ_c : Fator de ponderação da resistência a compressão paralela às fibras

➤

Os principais códigos de projeto consideram a tensão resistente de compressão paralela às fibras $f_{c0,k}$, igual ao CPA, conforme a abaixo:

Segundo a NBR-7190/2022 e o Eurocode-5/95:

$$f_{c0,k} = \text{CPA} \quad (6.26)$$

A força resistente de cálculo à compressão axial paralela as fibras, para madeira seca ou verde, é determinada considerando a relação constitutiva do material como elastofrágil por esmagamento das

fibras. Para a tensão de esmagamento dada por $f_{c0,k}$ e condição de segurança dada pela Equação (6.25) (ABNT, 2022) (Eurocode 5, 2004), vem:

Para madeira verde:

$$N_{cR,d}^v = \phi_c K_c A_g (816,548D_b - 113,263) \quad (6.27)$$

Para madeira seca:

$$N_{cR,d}^s = \phi_c K_c A_g (1087,063D_b - 44,872) \quad (6.28)$$

Onde:

$N_{cR,d}^v$: Carga resistente de cálculo a compressão axial paralela as fibras para madeira verde (daN, Kgf)

$N_{cR,d}^s$: Carga resistente de cálculo a compressão axial paralela as fibras para madeira seca (daN, Kgf)

K_c : Função adimensional de instabilidade por compressão axial

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência a compressão axial

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde adotar $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de ponderação de resistência para tensões normais.

a) Para $\lambda_{rel} \leq 0,3$ (Barra Curta)

$$K_c = 1,0 \quad (6.29)$$

b) Para $\lambda_{rel} > 0,3$ (Barra Intermediária e Longa)

$$K_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{(k_x)^2 - (\lambda_{rel,x})^2}} \quad (6.30)$$

$$K_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2}} \quad (6.31)$$

$$k_x = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,x} - 0,3) + (\lambda_{rel,x})^2 \right] \quad (6.32)$$

$$k_y = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2 \right] \quad (6.33)$$

Onde:

$$\lambda_{rel,x}^v = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{(81,6548D_b - 11,3263)}{0,7 \cdot (15,428,8644D_b + 1,817,4620)}}, \text{ esbeltez reduzida para o eixo-x, madeira verde}$$

$$\lambda_{rel,x}^s = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{(108,7063D_b - 4,4872)}{0,7 \cdot (16,892,6685D_b + 2,807,9183)}}, \text{ esbeltez reduzida para o eixo-x, madeira seca}$$

$$\lambda_{rel,y}^v = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{(81,6548D_b - 11,3263)}{0,7 \cdot (15,428,8644D_b + 1,817,4620)}}, \text{ esbeltez reduzida para o eixo-y, madeira verde}$$

$$\lambda_{rel,y}^s = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{(108,7063D_b - 4,4872)}{0,7 \cdot (16,892,6685D_b + 2,807,9183)}}, \text{ esbeltez reduzida para o eixo-y, madeira seca}$$

$\lambda_x = K_x l_x / i_x$, esbeltez real da barra em torno do eixo-x
 $\lambda_y = K_y l_y / i_y$, esbeltez real da barra em torno do eixo-y
 $K_x l_x$ = Comprimento efetivo da barra em relação ao eixo-x
 $K_y l_y$ = Comprimento efetivo da barra em relação ao eixo-y
 i_x e i_y : Raio de giração da seção transversal em relação aos eixos principais de inércia
 $f_{c0,k}$: Resistência característica a compressão paralela as fibras
 $E_{0,05} = 0,7 \cdot E_{m,k}$: Valor característico inferior do módulo de elasticidade da madeira na flexão
 $\beta_c = 0,2$: Para madeira maciça serrada e peças roliças
 $\beta_c = 0,1$: Para madeira lamelada (MLC e MLCC) e madeira laminada (LVL)

A resistência a compressão axial considerando a instabilidade é determinada a partir da função adimensional que considera a instabilidade por compressão axial K_c , em relação aos eixos principais de inércia da seção (K_{cx} e K_{cy}). Segundo as prescrições da NBR 7191/2022 e o Eurocode 5/1995 as barras comprimidas são classificadas em dois grupos: barras curtas, onde a ruína ocorre por esmagamento das fibras e um segundo grupo que reúne as barras intermediárias e longas, a partir de um parâmetro de esbeltez reduzida, denominada de esbeltez relativa (λ_{rel}). Para esse segundo grupo a ruína ocorreria pela associação de instabilidade da barra e esmagamento da madeira. A utilização de um parâmetro de esbeltez reduzida foi adotada pelo autor no Capítulo 4, tendo como referência critérios semelhantes aos adotados pelas normas de projeto de estruturas de aço, conforme destacado no início deste capítulo. Portanto, a esbeltez reduzida nada mais é do que a norma da esbeltez real da barra, ou a mudança do domínio da tensão de dimensionamento a compressão axial F_{cr} . Neste caso a tensão de dimensionamento crítica, F_{cr} , é também normalizada, alterando a imagem da função, obtendo-se então o parâmetro adimensional $K_c = \frac{F_{cr}}{f_{c0,k}}$.

Para a situação de barra curta não há instabilidade. Portanto, basta verificar a resistência ao esmagamento à compressão axial paralela às fibras da madeira, adotando-se na Equação (6.27) e Equação (6.28), para madeira verde e seca, respectivamente. Para a situação de barra intermediária, ou longa, a ruína ocorreria, segundo a NBR 7190/2022 e o Eurocode 5/1995, pelo esmagamento da madeira associado à flambagem da peça comprimida axialmente. Nesta situação, em função da esbeltez reduzida da barra, denominada de λ_{rel} , deve-se verificar a resistência à compressão em relação aos eixos principais de inércia da seção transversal. Como a curva de dimensionamento a compressão é única, segundo os critérios do Eurocode e da norma brasileira, a capacidade de carga a compressão vai ser governada pela maior esbeltez em relação aos eixos principais de inércia, que dependerá do raio de giração, das condições de contorno da barra em cada eixo, que determinarão o comprimento efetivo da barra. Assim, para cada eixo principal de inércia, a função adimensional K_c

é dada pela Equação (6.30) e Equação (6.31), conforme acima. Os valores de k_x e k_y são dados por função polinomial de segundo grau, obtida por um modelo de regressão resultado de um programa experimental conduzido pela norma europeia (Eurocode 5, 2004). Nas Equações (6.32) e (6.33) acima, β_c é um fator que leva em consideração as imperfeições geométricas iniciais da barra (peça não perfeitamente reta), definido a partir de calibração do modelo de dimensionamento à compressão axial, resultado do programa experimental conduzido pelo Eurocode 5 e adotado pela NBR 7190/2022. Segundo as prescrições do Eurocode o desvio no alinhamento axial da peça, medido na metade da distância entre os apoios, deverá ser limitado a $\frac{l}{300}$ para peças de madeira serrada ou roliça e em $\frac{l}{500}$ para peças de madeira laminada colada.

Para a situação de barra com esbeltez intermediária e longa, portanto, os casos de instabilidade inelástica e elástica são abordados em uma curva única. Portanto, a situação mais desfavorável corresponderá, conforme discutido acima, à esbeltez relativa maior ($\lambda_{rel,x}$ ou $\lambda_{rel,y}$), ou esbeltez real maior (λ_x ou λ_y). Isso quer dizer que o valor da curva de dimensionamento é mínimo, quando a esbeltez é máxima, já que a função é decrescente.

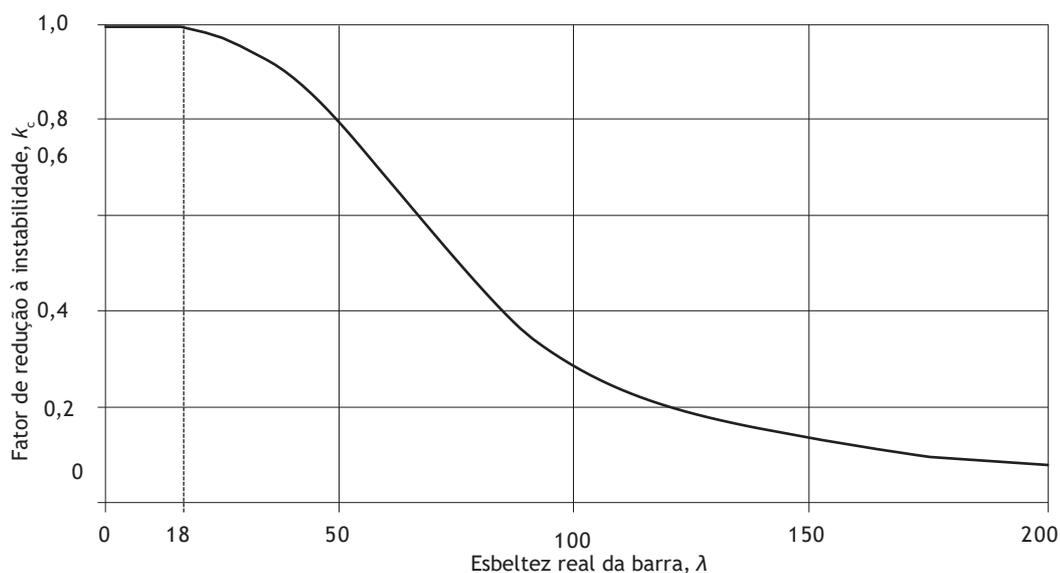


Figura 6.2 Fator de redução resistência à instabilidade para barra comprimida axialmente na direção das fibras em função da esbeltez real da peça.

6.7 Dimensionamento de Barras Fletidas

6.7.1 Hipóteses Básicas

Vigas são elementos muito frequentes em estruturas, geralmente utilizados em pisos, componentes de cobertura, tais como terças e ripas, pontes e passarelas, cimbramentos e formas, além de muitas outras situações. Esta seção trata em detalhes dos procedimentos necessários para o dimensionamento

de barras fletidas maciças e de seção prismática, em que as fibras se dispõem paralela à direção ao eixo da viga. Para vigas é preciso verificar os estados limites últimos relativos à capacidade resistente ao momento fletor, ao cisalhamento e estado limite de utilização relativa aos deslocamentos máximos e à vibração indesejada decorrentes do uso. Em geral, a resistência ao momento fletor governa o dimensionamento para vigas de vão médio, os deslocamentos e a vibração são determinantes para vigas de vãos grandes e o cisalhamento para situações de vão pequenos com cargas elevadas.

A atuação do momento fletor provoca tensões de tração e de compressão normais à seção, na direção paralela às fibras da madeira. Nas barras submetidas ao momento fletor cujo plano de ação contém um eixo principal de inércia da seção transversal resistente (flexão simples reta), a condição de segurança às tensões normais de flexão, deve ser satisfeita a condição estipulada pela Equação (6.34), abaixo:

$$\frac{\sigma_{MS,d}}{f_{b,d}} = \frac{M_{S,d}}{W} \leq 1,0 \quad (6.34)$$

Onde:

$\sigma_{MS,d}$: Valor da tensão de flexão solicitante de cálculo

$M_{S,d}$: Valor do momento fletor solicitante de cálculo

W : Módulo resistente elástico da seção transversal ($W = \frac{bh^2}{6}$ para seções retangulares; para seções circulares $W = \frac{\pi d^3}{32}$)

$f_{b,d}$: Valor da tensão resistente de cálculo para ruptura na flexão (MOR)

6.7.2 Resistência ao Momento Fletor Para Ruptura à Flexão

Para flexão simples reta o momento resistente de cálculo é determinado pelas Equações (6.35) e (6.36), conforme abaixo:

Para madeira verde:

$$M_{R,d}^v = \phi_b W (1660,025 D_b - 217,285) \quad (6.35)$$

Para madeira seca:

$$M_{R,d}^s = \phi_b W (2194,705 D_b - 185,034) \quad (6.36)$$

Onde:

$M_{R,d}^v$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira verde (cm Kgf)

$M_{R,d}^s$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira seca (cm Kgf)

W : Módulo resistente elástico em relação ao eixo de flexão (cm³)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de ponderação da resistência à flexão

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão.

6.7.3 Momento Resistente à Flambagem Lateral Com Torção (FLT)

Neste item são apresentados dois modelos para verificação da capacidade resistente ao momento fletor referente à instabilidade lateral com torção de vigas submetidas à flexão simples. Um critério segue as recomendações do Eurocode 5 e o outro as prescrições da nova norma brasileira NBR 7190/2022. Os modelos se aplicam para vigas de seção retangular, em regime elástico, fletida em relação ao eixo de maior inércia. Para seções retangulares fletidas em relação ao eixo de menor inércia não ocorrerá deslocamento lateral associado à torção e a viga falha por ruptura na região comprimida da seção, portanto antes de ocorrer a instabilidade lateral. Neste caso, o momento resistente é determinado conforme item 6.7.2. Para seções circulares, geralmente em situações convencionais de projeto, a instabilidade lateral não é determinante como critério de dimensionamento e sim a ruptura da seção por flexão. Por outro lado, para os casos do uso de seções circulares em sistemas estruturais de pontes, onde as solicitações à flexão podem ser elevadas, é preciso garantir a instabilidade global da estrutura por modelo matemático e computacional consistente, que inclusive leve em consideração a madeira na condição de umidade verde.

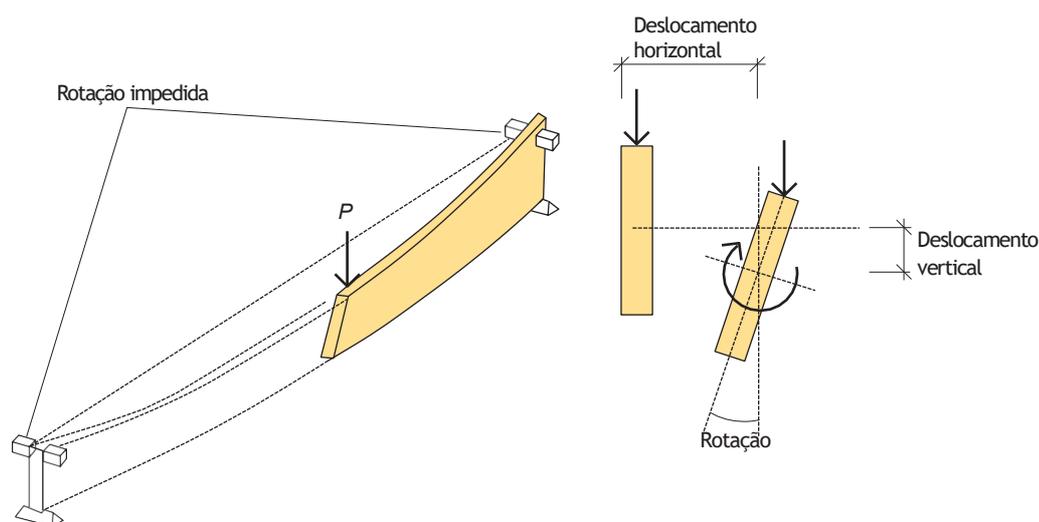


Figura 6.3 Flambagem lateral com torção, em regime elástico, para viga bi apoiada de seção retangular (FLT) (Fonte: adaptada pelo autor de (Borgström, 2016))

Para vigas idealizadas, sem imperfeições geométricas e em regime elástico, quando o momento fletor provocado pela carga P (veja-se Figura 6.3) é menor que o momento M_{crit} de instabilidade elástica, a viga não se desloca lateralmente fora do plano vertical que contém as seções. Quando o momento provocado pela carga P excede o M_{crit} , a viga se desloca lateralmente fora do plano vertical da seção e torce em torno do centro de torção, conforme mostrado na Figura 6.3. Para as situações de vigas com a zona comprimida da seção não travada lateralmente por dispositivos estruturais, portanto livre para se deslocar lateralmente e torcer, poderá haver perda de estabilidade em um nível de tensão por flexão

menor que o valor de tensão definida para ruptura na flexão (item 6.7.2). As vigas em casos reais, semelhante às barras axialmente comprimidas, não são perfeitamente retas, nem perfeitamente homogêneas e carregadas no plano que é assumido para análise estrutural e dimensionamento. Por outro lado, também nos casos práticos, nem sempre as vigas tem a região comprimida da seção inteiramente destravada e, portanto, livres para se mover lateralmente e torcer. Na maioria das situações reais de uso, as vigas são travadas total, ou parcialmente, por sistemas tais como tábuas corridas em pisos ou decks (desde que devidamente fixados), tabiques ou paredes na contenção lateral de pilares submetidos a flexão composta, travamentos constituídos por terças, caibros, ripas e sistemas de contraventamentos em coberturas.

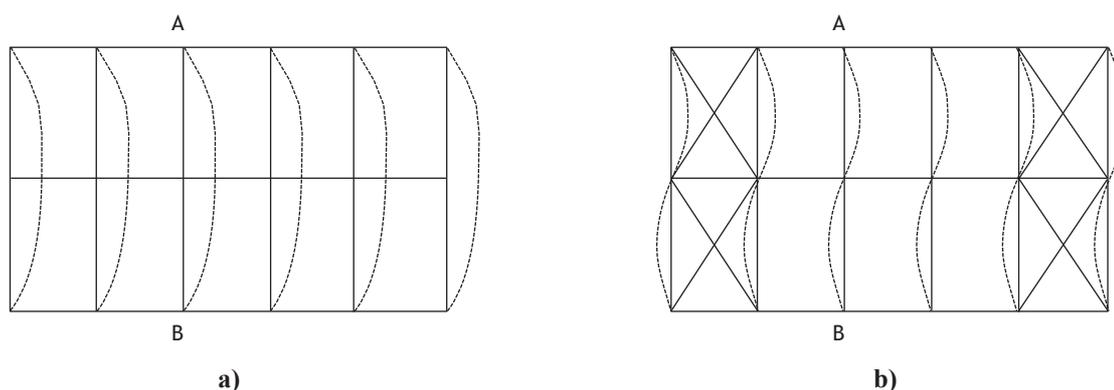


Figura 6.4 Condições para travamento lateral efetivo em vigas de piso e cobertura, ou em outros sistemas estruturais, que possuem vigas simplesmente apoiadas em pontos intermediários (Fonte: (Borgström, 2016))

Para os casos de sistemas estruturais como os da Figura 6.4(a), em que vigas AB recebem vigas secundárias que se apoiam em pontos intermediários da viga principal, o sistema poderá perder estabilidade lateral de forma global. Isto acontece porque as ligações entre as vigas AB e as vigas secundárias são pouco rígidas, fixadas na prática apenas por pregos laterais. Neste caso o comprimento efetivo destravado é, no mínimo, o vão da viga AB , dependendo do tipo e posição da carga. Para o caso da Figura 6.4(b) em que existe um travamento em X , o comprimento efetivo será o maior segmento destravado. Por outro lado, sistemas de travamento em X como acima, executados com peças de madeira, ou elementos de aço, interferem na estética, a não ser que existam na cobertura um sistema de forro que oculte os travamentos em X . O projetista estrutural se depara, com muita frequência, com situações de projeto em que a capacidade de travamento aos deslocamentos laterais e torção é incerto. Exemplos típicos são os já descritos, onde a viga em questão não é travada na zona de compressão da seção, mas na região de tração da seção, como pode ocorrer, por exemplo, nos casos de forros pesados ou em sistemas que suportam pisos atirantados em que a carga é aplicada na região tracionada da peça (Borgström, 2016).

A determinação do comprimento efetivo de travamento lateral, portanto, não deve ser ignorada, ou negligenciada: muitas falhas em estruturas de madeira são resultado de travamentos inadequados à instabilidade lateral. Nesse sentido, é melhor em situações de projeto em que houver dúvidas quanto ao comprimento efetivo travado da viga, assumir valores conservadores a favor da segurança. Alternativamente, é recomendável em alguns casos de vigas importantes, em função do vão e cargas, avaliar com um modelo mais exato a instabilidade elástica global da estrutura. Especialmente no Brasil, para análise de instabilidade é importante utilizar a rigidez dos elementos estruturais de acordo com as condições de umidade das peças: madeira na condição verde (saturada em água), ou madeira seca (teor de umidade de 12%). O projetista estrutural também deve considerar cuidadosamente a fase de construção, quando nem todas as restrições aos deslocamentos laterais e rotações podem ser totalmente garantidas, uma vez que alguns elementos estruturais podem ainda não terem sido instalados (Borgström, 2016).

6.7.3.1 Teoria de instabilidade elástica de vigas

Uma viga de seção retangular quando fletida em torno do eixo de maior inércia pode deslocar-se lateralmente a partir de um certo valor crítico de carga. Assim, a viga estará estável desde que a solicitação esteja abaixo de um determinado valor crítico. À medida que a carga aumenta, no entanto, é possível atingir uma condição na qual uma forma de equilíbrio levemente deslocada lateralmente e torcida se torna possível. A carga mais baixa na qual ocorre essa condição crítica representa a carga crítica de instabilidade lateral para a viga.

Para se determinar a carga crítica correspondente ao caso particular de momento fletor constante ao longo do vão, considere a viga da Figura 6.5, com momentos de binário M aplicados nos apoios, em torno de um eixo de maior inércia da seção, paralelo ao eixo x . As extremidades da viga nos apoios são livres para girar em torno do eixo x de maior inércia, mas são impedidas de torcer e se deslocar lateralmente (isto é, as extremidades da viga, por hipótese, estão impedidas de sofrer rotação em relação ao eixo y). Devido ao momento fletor externo, a viga ao longo do seu vão se desloca tanto na direção vertical, que é paralela ao eixo y , quanto na direção transversal, que é paralela ao eixo x . Esses dois deslocamentos são interdependentes; quando a viga se desvia lateralmente, o momento aplicado tem uma componente que exerce um momento torsor em torno do eixo longitudinal deslocado, que causa a torção da peça.

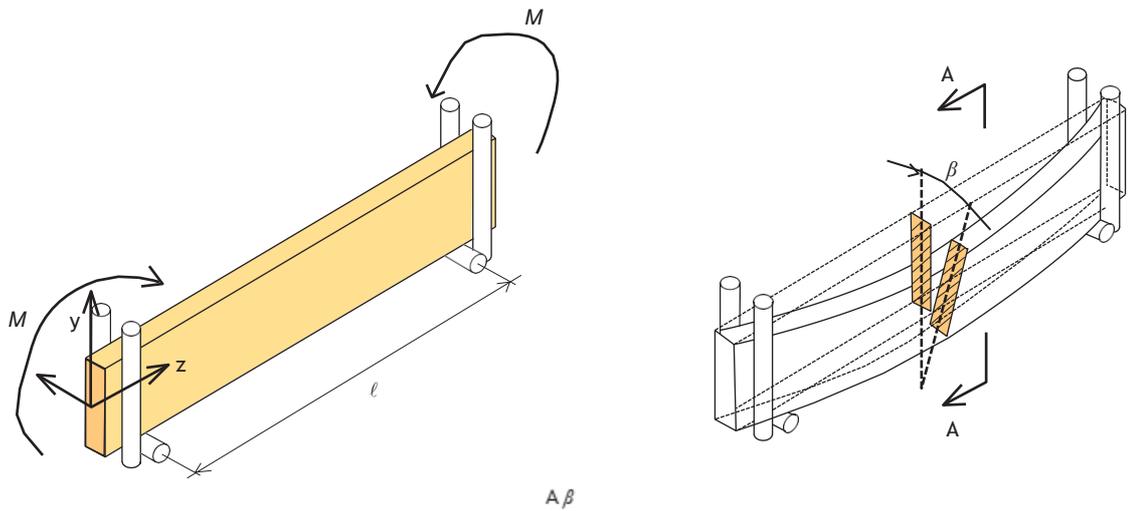


Figura 6.5 Flambagem lateral com torção para viga de seção retangular, não travada lateralmente, submetida a um momento fletor constante em torno do eixo de maior inércia. (Fonte: adaptada pelo autor de (Borgström, 2016))

O deslocamento na direção y é representado por w e $dw/dy = \beta$ é o ângulo de torção. A partir do equilíbrio da viga na condição deformada, os momentos fletores e torsões em qualquer seção transversal estão de acordo com a Figura 6.6 (Borgström, 2016):

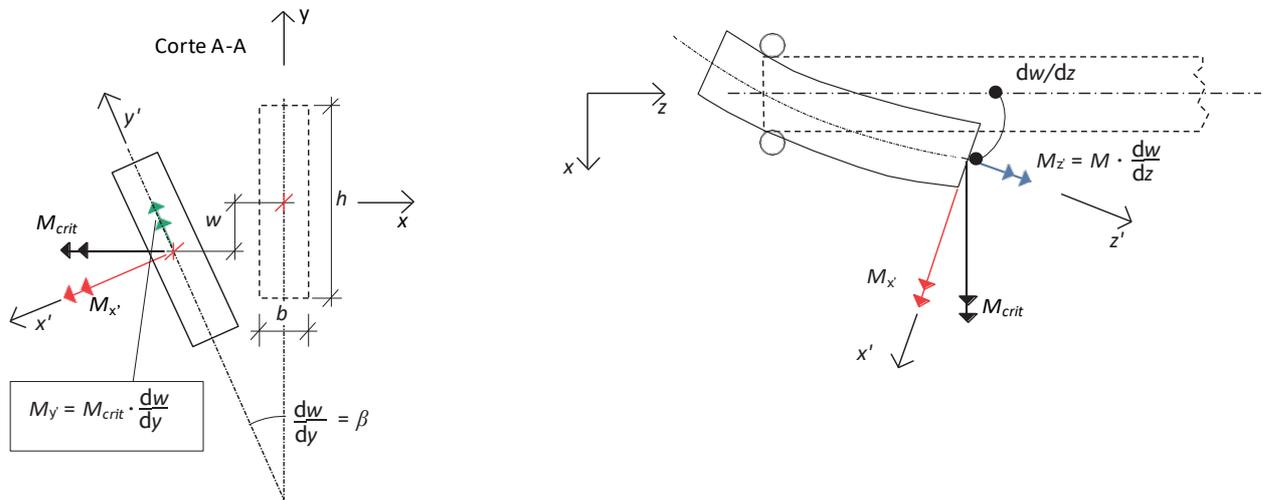


Figura 6.6 Flambagem lateral com torção para viga livre para se deslocar lateralmente. (Fonte: adaptada pelo autor de (Borgström, 2016)).

$$M_z \approx M_{crit} \cdot \frac{dw}{dz} \tag{6.37}$$

$$M_x \approx M_{crit} \tag{6.38}$$

$$M_y \approx M_{crit} \cdot \frac{dw}{dx} = M_{crit} \cdot \beta \tag{6.39}$$

Mas, pela teoria da elasticidade clássica:

$$M_x \approx -E \cdot I_y \cdot \frac{d^2 w}{dz^2} \quad (6.40)$$

e:

$$M_z = G \cdot I_{tor} \cdot \frac{d\beta}{dz} \quad (6.41)$$

Onde:

E : Módulo de elasticidade da madeira na flexão

I_y : Momento de inércia em relação ao eixo de menor inércia da seção

I_{tor} : Momento de inércia à torção da seção

G : Módulo de elasticidade transversal da madeira

Levando a Equação (6.37) na Equação(6.41) e, então diferenciando em relação a z , vem:

$$G \cdot I_{tor} \cdot \frac{d^2 \beta}{dz^2} = M_{crit} \cdot \frac{d^2 w}{dz^2} \quad (6.42)$$

Levando a Equação (6.68) na Equação (6.67) e, então substituindo na Equação (6.70), vem:

$$G \cdot I_{tor} \cdot \frac{d^2 \beta}{dz^2} = M_{crit} \cdot \left(-\frac{M_{crit} \cdot \beta}{E \cdot I_y} \right) \quad (6.43)$$

ou:

$$\frac{d^2 \beta}{dz^2} + \frac{M_{crit}^2 \cdot \beta}{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}} = 0 \Rightarrow \frac{d^2 \beta}{dz^2} + \phi^2 \cdot \beta = 0 \quad (6.44)$$

Onde:

$$\phi^2 = \frac{M_{crit}^2}{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}} \quad (6.45)$$

A Equação diferencial (6.72) é uma equação diferencial homogênea da forma:

$$\beta'' + \phi^2 \beta = 0 \quad (6.46)$$

A solução de uma equação diferencial homogênea com coeficientes constantes, conhecida como equação diferencial de Euler, é sempre da forma $\beta = e^{mz}$. Substituindo esta expressão na Equação (6.46) e fazendo $m = \pm i\phi$, a solução geral da equação diferencial é:

$$\beta = Ae^{i\phi z} + Be^{-i\phi z} \quad (6.47)$$

Como:

$$e^{\pm i\phi z} = \cos(\phi z) \pm i \cdot \sin(\phi z) \quad (6.48)$$

e considerando o fato de que ambas as partes, real e imaginária, da função complexa que satisfaz a Equação (6.46), também deve satisfazer a equação, a solução geral pode ser reescrita na forma:

$$\beta(z) = A \cdot \cos(\phi z) \pm B \cdot \sin(\phi z) \quad (6.49)$$

onde A e B são constantes de integração arbitrárias.

As condições de contorno são tais que a torção da seção é impedida nos dois apoios, de forma que:

$$\beta(z = 0) = 0 \Rightarrow A = 0$$

$$\beta(z = l) = 0 \Rightarrow B \cdot \sin(\phi \cdot l) = 0 \quad (6.50)$$

Consequentemente:

$$B \cdot \sin(\phi \cdot l) = 0 \quad (6.51)$$

Assim:

$$B = 0, \text{ ou} \quad (6.52)$$

$$\sin(\phi \cdot l) = 0$$

Se $B = 0$, ϕ e consequentemente M_{crit} pode assumir qualquer valor. Este resultado é conhecido como uma solução trivial, porque ele confirma o que já era conhecido, que a viga está em equilíbrio sob a ação de um momento de binário M , contanto que a viga permaneça perfeitamente retilínea. A solução não trivial é desta forma dada por:

$$\sin(\phi \cdot l) = 0 \Rightarrow \phi l = n\pi \quad (6.53)$$

onde n é um inteiro positivo qualquer. Para o primeiro modo de flambagem, $n = 1$. Assim:

$$\phi l = \pi \Rightarrow \phi = \frac{\pi}{l} \quad (6.54)$$

Levando a Equação (6.98) na Equação (6.45), vem:

$$\phi^2 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 = \frac{M_{crit}^2}{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}} \Rightarrow M_{crit}^2 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \cdot (E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}) = \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}}$$

assim:

$$M_{x,crit} = \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}} \quad (6.55)$$

A correspondente tensão crítica de flambagem lateral com torção por flexão, para o módulo resistente elástico igual a $W_x = (bh^2)/6$, é dada por:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{x,crit}}{W_x} = \frac{6 \cdot \pi}{b \cdot h^2 \cdot l} \cdot \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_{tor}} \quad (6.56)$$

Onde:

$\sigma_{m,crit}$: Tensão crítica de flambagem elástica para flexotorção lateral

b : Largura da seção retangular da viga

h : Altura da seção retangular da viga

l : Distância entre os pontos adjacentes com deslocamentos laterais impedidos

E : Valor do módulo de elasticidade da madeira na flexão

G : Valor do módulo de elasticidade transversal da madeira

I_y : Momento de inercia da seção em relação ao eixo de menor inércia

I_{tor} : Momento de inércia à torção da seção retangular

6.7.3.2 Flambagem lateral com torção na flexão de acordo com o Eurocode 5/2004

O modelo de resistência ao momento fletor à instabilidade lateral apresentado neste está baseado nas prescrições do Eurocode 5, cuja validade foi comprovada experimentalmente, conforme recomenda a atual norma brasileira de madeira (Eurocode 5, 2004). O modelo se aplica somente para seções retangulares fletidas em relação ao eixo de maior inércia. Para flexão de seções retangulares em relação ao eixo de menor inércia a seção rompe por tensão de ruptura por flexão, antes de ocorrer a instabilidade lateral com torção da barra. Além disso, para que ocorra deslocamento lateral as vigas precisam estar destravadas para se movimentar fora do plano de flexão e livres para torcer, na parte comprimida da seção, além de possuir pequena rigidez à flexão lateral e a torção. A rigidez é pequena, especialmente, em seções retangulares altas e estreitas (h/b grande). O modelo pressupõe, também, que a viga deve estar impedida de fletir e torcer nos pontos de apoio, situação que é frequente nos casos práticos de projeto.

A capacidade resistente ao momento fletor para Flambagem Lateral com Torção (FLT) é dada pelas Equações (6.57) (6.58), abaixo:

Para madeira verde:

$$M_{R,d}^v = \phi_b k_{crit} \cdot W \cdot f_{b,k}^v \quad (6.57)$$

Para madeira seca:

$$M_{R,d}^s = \phi_b k_{crit} \cdot W \cdot f_{b,k}^s \quad (6.58)$$

Onde:

$M_{R,d}^v$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira verde

$M_{R,d}^s$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira seca

W : Módulo resistente elástico em relação ao eixo de à flexão considerado

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão
 $k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde $k_{mod2} = 1,0$)
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão
 k_{crit} : Fator que leva em conta a redução do momento fletor pela instabilidade lateral com torção
 $f_{b,k}^v$: Valor da tensão resistente característica para ruptura na flexão para madeira verde
 $f_{b,k}^s$: Valor da tensão resistente característica para ruptura na flexão para madeira seca

Pelo Eurocode 5, k_{crit} é dado como uma função de $\lambda_{rel,m}$, que é definido como a esbeltez relativa por flexão, conforme abaixo:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{b,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.59)$$

A tensão crítica de flambagem lateral com torção para uma viga bi apoiada de seção retangular, fletida em relação ao eixo de maior inércia, impedida de se deslocar e torcer nos apoios e submetida a momentos fletores constantes (veja-se Figura 6.5), é:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{x,crit}}{W_x} = \frac{6 \cdot \pi}{b \cdot h^2 \cdot l} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_y \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}} \quad (6.60)$$

onde o índice 0,05 indica o 5º percentil do valor do módulo de elasticidade a flexão e o módulo de elasticidade transversal (note que para o Eurocode 5 o valor característico é normalmente considerado para a verificação de instabilidade, seja na compressão axial, ou na flexão).

Para uma seção retangular de largura b e altura h , o momento de inércia da seção em relação ao eixo de menor inércia $I_y = (hb^3/12)$; o momento de inércia a torção para vigas de seção esbelta pode ser dado aproximadamente por $I_{tor} \approx b^3h/3$. Inserindo essas relações na Equação (6.56), a tensão crítica de flambagem lateral com torção na flexão pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} \sigma_{m,crit} &= \frac{6 \cdot \pi}{b \cdot h^2 \cdot l} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_y \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}} = \frac{6 \cdot \pi}{b \cdot h^2 \cdot l} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot \frac{hb^3}{12} \cdot G_{0,05} \cdot \frac{b^3h}{3}} \\ \sigma_{m,crit} &= \frac{6 \cdot \pi \cdot b^3h}{6 \cdot b \cdot h^2 \cdot l} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}} = \frac{\pi \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}} \end{aligned} \quad (6.61)$$

O Eurocode 5/2004, bem como a NBR 7190/2022 estabelece que o módulo de elasticidade transversal pode ser calculado conforme a seguinte equação:

$$G_{0,05} = \frac{E_{0,05}}{16} \quad (6.62)$$

Assim, levando a Equação (6.62) na Equação (6.61), a tensão crítica à flexão para uma seção fletida em relação ao eixo de maior inércia, pode ser escrita como:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot \frac{E_{0,05}}{16}} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{4 \cdot h \cdot l} = \frac{0,785 \cdot b^2}{h \cdot l} E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,785 \cdot b^2}{h \cdot l} E_{0,05} \quad (6.63)$$

A Equação (6.64) só é válida para viga simplesmente apoiada, com momento constante ao longo do vão, com as seções impedidas de se mover lateralmente e restringidas a torção nos apoios. Para situações com diferentes condições de contorno nas extremidades e apoios, para outros tipos de carregamento, bem como nos casos em que a carga é aplicada na região comprimida, ou tracionada da seção, em vez do centro de gravidade da seção, o momento crítico elástico pode ser obtido usando a mesma expressão, mas substituindo o vão de projeto l pelo “comprimento efetivo”, l_{ef} , da viga:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,785 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05} \quad (6.64)$$

Onde:

$\sigma_{m,crit}$: Tensão crítica de flambagem elástica para flexo torção lateral (kgf/cm²)

b : Largura da seção retangular da viga (cm)

h : Altura da seção retangular da viga (cm)

l_{ef} : Distância entre os pontos adjacentes da borda comprimida com deslocamentos laterais impedidos (apoios da viga e pontos travados lateralmente, se existentes) (cm)

$E_{0,05} = 0,7 \cdot E_{m,k}$: Valor característico inferior do módulo de elasticidade da madeira na flexão (kgf/cm²)

$E_{m,k}$: Valor do módulo de elasticidade médio da madeira na flexão (kgf/cm²)

O comprimento efetivo é obtido ajustando o vão de projeto para levar em consideração o efeito da variação do momento ao longo do vão da viga e as condições de contorno das extremidades e apoios. Os valores para casos comumente usados em projetos de madeira são dados na Tabela 6.5.

A capacidade resistente ao momento fletor para Flambagem Lateral com Torção (FLT) utilizando a densidade básica, portanto baseado nas prescrições do Eurocode 5/2004, é dada pelas Equações (6.65) e (6.66), conforme abaixo:

Para madeira verde:

$$M_{R,d}^v = \phi_b k_{crit} \cdot W(1660,025D_b - 217,285) \quad (6.65)$$

Para madeira seca:

$$M_{R,d}^s = \phi_b k_{crit} \cdot W(2194,705D_b - 185,034) \quad (6.66)$$

Pelo Eurocode 5, k_{crit} é dado como uma função de $\lambda_{rel,m}$, que é definido, para madeira verde e seca, como a esbeltez relativa por flexão, segundo as Equações (6.70) e (6.71), abaixo:

$$a) K_{crit} = 1 \quad \text{para} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad (6.67)$$

$$b) K_{crit} = 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} \quad \text{para} \quad 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \quad (6.68)$$

$$c) K_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \lambda_{rel,m} > 1,4 \quad (6.69)$$

Onde, a esbeltez relativa na flexão, $\lambda_{rel,m}$, e a tensão crítica de flambagem elástica por flexotorção, $\sigma_{m,crit}$, são dadas abaixo:

$$\lambda_{rel,m}^v = \sqrt{\frac{f_{b,k}}{\sigma_{m,crit}^v}} = \sqrt{\frac{(166,0025D_b - 21,7285)}{\sigma_{m,crit}^v}}, \quad \text{para madeira verde} \quad (6.70)$$

$$\lambda_{rel,m}^s = \sqrt{\frac{f_{b,k}}{\sigma_{m,crit}^s}} = \sqrt{\frac{(219,4705D_b - 18,5034)}{\sigma_{m,crit}^s}}, \quad \text{para madeira seca} \quad (6.71)$$

$$\sigma_{m,crit}^v = \frac{0,785 \cdot b^2}{hl_{ef}} E_{0,05}^v = \frac{0,785 \cdot b^2}{hl_{ef}} 0,7 \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620) \quad \text{para madeira verde} \quad (6.72)$$

$$\sigma_{m,crit}^s = \frac{0,785 \cdot b^2}{hl_{ef}} E_{0,05}^s = \frac{0,785 \cdot b^2}{hl_{ef}} 0,7 \cdot (16.892,6685D_b + 2.807,9183) \quad \text{para madeira seca} \quad (6.73)$$

Onde:

$M_{R,d}^v$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira verde (cm Kgf)

$M_{R,d}^s$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira seca (cm Kgf)

W : Módulo resistente elástico em relação ao eixo de à flexão considerado (cm³)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão

k_{crit} : Fator que leva em conta a redução do momento fletor pela instabilidade lateral com torção

➤ $\sigma_{m,crit}$: Tensão crítica de flambagem elástica para flexão lateral

$\lambda_{rel,m}$: Esbeltez relativa para a flexão (FLT)

b : Largura da seção retangular da viga

h : Altura da seção retangular da viga

l_{ef} : Distância entre os pontos adjacentes da borda comprimida com deslocamentos laterais impedidos (apoios da viga e pontos travados lateralmente, se existentes)

$f_{b,k}$: Valor da tensão resistente característica para ruptura na flexão (Mpa)

$E_{0,05} = 0,7 \cdot E_{m,k}$: Valor característico inferior do módulo de elasticidade da madeira na flexão (MPa)

$E_{m,k}$: Valor do módulo de elasticidade médio da madeira na flexão (MPa)

➤
Tabela 6.5 Comprimento efetivo da viga (pontos travados lateralmente)

Tipo de viga	Carga	l_{ef} (comprimento efetivo)		
		Carga aplicada no centro de gravidade da seção	Carga aplicada na extremidade comprimida da seção	Carga aplicada na extremidade tracionada da seção
	Momento constante	$1,0l$	$1,0l + 2h$	$1,0l - 0,5h$
Bi apoiada	Carga distribuída uniforme	$0,9l$	$0,9l + 2h$	$0,9l - 0,5h$
	Carga concentrada no centro	$0,8l$	$0,8l + 2h$	$0,8 - 0,5h$
Balanço	Carga distribuída uniforme	$0,5l$	$0,5l + 2h$	$0,5l - 0,5h$
	Carga na extremidade livre	$0,8l$	$0,8l + 2h$	$0,8l - 0,5h$

6.7.3.3 Flambagem lateral com torção na flexão de acordo com o NBR 7190/2022

Este item apresenta o critério de verificação para flambagem lateral com torção presente na atual versão da norma brasileira NBR 7190/2022, adaptado aos modelos de resistência utilizando a densidade básica da madeira. A norma brasileira não apresenta um critério completo para análise da instabilidade lateral com torção, conforme o Eurocode 5 (veja-se o item 6.7.3.2), para peças submetidas à flexão simples reta. O critério da NBR 7190 estabelece um parâmetro de esbeltez limite, que segundo a norma, para valores inferiores, ou iguais, a instabilidade lateral não seria determinante para o dimensionamento e sim a resistência. Além disso, para valores do parâmetro de esbeltez maiores que esse valor limite, a norma apenas controla o nível da tensão real de compressão na flexão atuante na seção. Nesse sentido, para efeitos de análise da instabilidade lateral é possível determinar, a partir de uma reescrita na formulação apresentada pela norma brasileira, um momento atuante admissível a partir dessa tensão máxima. Assim, a seguir, é apresentado o desenvolvimento que sistematiza o critério da NBR 7190/2022 a partir dos modelos de resistência do material utilizando a densidade básica da madeira. Esse critério verificação para flambagem lateral com torção, estabelecido, tanto pela norma brasileira, quanto pelo Eurocode, se aplica para seções retangulares fletidas em relação ao eixo de maior inércia da seção. Ambos os códigos estabelecem as seguintes condições, que devem ser atendidas na execução dos projetos, para que o critério de verificação seja de instabilidade seja aplicável:

- a) As rotações nas seções extremas (apoios de vigas ou extremidades de balanços) estão impedidas
- b) O comprimento L_1 , definido como a distância entre pontos adjacentes da borda comprimida com deslocamentos laterais impedidos (apoios da viga e pontos com travamento lateral, se existentes) não ultrapassa uma determinada esbeltez limite, conforme abaixo:

$$\left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim} = \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M \cdot f_{m,d}} \quad (6.74)$$

$$E_{c0,ef} = K_{mod} \cdot E_{c0,m} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot E_{c0,m} \quad (6.75)$$

$$\left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim} = \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M \cdot f_{m,d}} = \frac{K_{mod} \cdot E_{c0,m}}{\beta_M \cdot \phi_b \cdot f_{m,k}} = \frac{K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot E_{c0,m}}{\beta_M \cdot \phi_b \cdot f_{m,k}}$$

Para madeira verde:

$$\left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^v = \frac{K_{mod} \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620)}{\beta_M \cdot \phi_b (166,0025D_b - 21,7285)} \quad (6.76)$$

e,

Para madeira seca:

$$\left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^s = \frac{K_{mod} \cdot (16.892,6685D_b + 2.807,9183)}{\beta_M \cdot \phi_b (219,4705D_b - 18,5034)} \quad (6.77)$$

Onde,

$$\beta_M = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\beta_E}{\gamma_f} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{h}{b}\right)^3}{\left(\frac{h}{b} - 0,63\right)}} \quad (6.78)$$

$\beta_E = 4$, $\gamma_f = 1,4$, h e b são a altura e base da seção retangular da viga.

Para valores do parâmetro de esbeltez da viga maiores que o limite dados pela Equações (6.76) e (6.77), a norma estabelece que:

$$\begin{aligned} \frac{L_1}{b} &> \left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim} \\ \sigma_{c,d} &\leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \end{aligned} \quad (6.79)$$

Assim,

$$\sigma_{c,d} = \frac{M_{xR,d}}{W_x} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \Rightarrow M_{xR,d} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \cdot W_x$$

ou,

$$M_{xR,d} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \cdot W_x \Rightarrow \frac{K_{mod} \cdot E_{c0,m}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \cdot W_x. \quad \text{Assim,} \quad (6.80)$$

Para madeira verde

$$M_{xR,d} \leq \frac{10 \cdot K_{mod} \cdot W_x \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620)}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \quad (6.81)$$

Para madeira seca:

$$M_{xR,d} \leq \frac{10 \cdot K_{mod} \cdot W_x \cdot (16.892,6685D_b + 2.807,9183)}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \quad (6.82)$$

Assim, a seguir é apresentado o critério para verificação da flambagem lateral com torção para peças submetidas à flexão simples reta, presente na NBR 7190/2022, adaptado para os modelos de resistência do material utilizando a densidade básica da madeira, conforme estudos anteriores deste item:

Para madeira verde:

$$a) \text{ Para } \frac{L_1}{b} \leq \left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^v$$

$$M_{R,d}^v = \phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285) \quad (6.83)$$

Para madeira seca

$$b) \text{ para } \frac{L_1}{b} \leq \left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^s,$$

$$M_{R,d}^s = \phi_b W_x (2194,705D_b - 185,034) \quad (6.84)$$

Para madeira verde:

$$c) \text{ Para } \frac{L_1}{b} > \left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^v,$$

$$M_{xR,d}^v = \frac{10 \cdot K_{mod} \cdot W_x \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620)}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \quad (6.85)$$

$$\sigma_{cR,d}^v = \frac{M_{xR,d}^v}{W_x} = \frac{10 \cdot K_{mod} \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620)}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M}$$

Para madeira seca:

$$d) \text{ Para } \frac{L_1}{b} > \left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^s,$$

$$M_{xR,d}^s = \frac{10 \cdot K_{mod} \cdot W_x \cdot (16.892,6685D_b + 2.807,9183)}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M} \quad (6.86)$$

$$\sigma_{cR,d}^s = \frac{M_{xR,d}^s}{W_x} = \frac{10 \cdot K_{mod} \cdot (16.892,6685D_b + 2.807,9183)}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M}$$

$$\beta_M = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\beta_E}{\gamma_f} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{h}{b}\right)^3}{\left(\frac{h}{b} - 0,63\right)}} \quad (6.87)$$

$$\beta_E = 4 \text{ e } \gamma_f = 1,4,$$

$$\left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^v = \frac{K_{mod} \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620)}{\beta_M \cdot \phi_b \cdot (166,0025D_b - 21,7285)} \quad (6.88)$$

$$\left(\frac{L_1}{b}\right)_{lim}^s = \frac{K_{mod} \cdot (16.892,6685D_b + 2.807,9183)}{\beta_M \cdot \phi_b \cdot (219,4705D_b - 18,5034)} \quad (6.89)$$

Onde:

$M_{xR,d}^v$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira verde (cm Kgf)

$M_{xR,d}^s$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo de flexão para madeira seca (cm Kgf)

$\sigma_{cR,d}^v$: Tensão resistente de cálculo à instabilidade lateral para madeira verde (kgf/cm²)

$\sigma_{cR,d}^s$: Tensão resistente de cálculo à instabilidade lateral para madeira seca (kgf/cm²)

W_x : Módulo resistente elástico em relação ao eixo-x de maior inércia (cm³)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Fator de minoração da resistência à flexão

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão.

L_1 : Distância entre os pontos da borda comprimida com deslocamentos laterais impedidos (cm)

b : Largura da seção retangular da viga (cm)

h : Altura da seção retangular da viga (cm)

➤

6.7.4 Verificação à Flexão Oblíqua

Para seções submetidas a momento fletor cujo plano de ação não coincide com um de seus eixos centrais de inércia (flexão oblíqua) devem ser satisfeitas as Equações (6.90) e (6.92) (ABNT, 2022) e (Eurocode 5, 2004), abaixo:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{b,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.90)$$

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{k_{crit} \cdot f_{b,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.91)$$

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{b,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.92)$$

Para a formulação considerando os momentos solicitantes as Equações (6.90), (6.91) e (6.92) tomam a seguinte forma:

$$\frac{M_{xS,d}}{M_{xR,d}} + k_M \frac{M_{yS,d}}{M_{yR,d}} \leq 1,0 \quad (6.93)$$

$$\frac{M_{xS,d}}{k_{crit} \cdot M_{xR,d}} + k_M \frac{M_{yS,d}}{M_{yR,d}} \leq 1,0 \quad (6.94)$$

$$k_M \frac{M_{xS,d}}{M_{xR,d}} + \frac{M_{yS,d}}{M_{yR,d}} \leq 1,0 \quad (6.95)$$

A partir dos modelos de resistência do material utilizando a densidade básica da madeira a partir das Equações (6.93), (6.94) e (6.95), vem:

Flexão Oblíqua Para Madeira Verde:

$$\frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.96)$$

$$\frac{M_{xS,d}}{\phi_b k_{crit} \cdot W_x (1660,025D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.97)$$

$$k_M \frac{M_{xS,d}}{\phi_c W_x (1660,025D_b - 217,285)} + \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.98)$$

Flexão Oblíqua Para Madeira Seca:

$$\frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (2194,705D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.99)$$

$$\frac{M_{xS,d}}{\phi_b k_{crit} \cdot W_x (2194,705D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.100)$$

$$k_M \frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (2194,705D_b - 185,034)} + \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.101)$$

Onde:

$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{xS,d}}{W_{xt}}$: Tensões máxima solicitante à tração para flexão segundo o eixo-x (Kgf/cm²)

$\sigma_{My,d} = \frac{M_{yS,d}}{W_{yt}}$: Tensões máxima solicitante à tração para flexão segundo o eixo-y (Kgf/cm²)

$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{xS,d}}{W_{xc}}$: Tensões máxima solicitante a compressão para flexão segundo o eixo-x (Kgf/cm²)
 $\sigma_{My,d} = \frac{M_{yS,d}}{W_{yc}}$: Tensões máxima solicitante a compressão tração para flexão segundo o eixo-y (Kgf/cm²)
 $M_{xS,d}$: Valor solicitante de cálculo ao momento fletor relação ao eixo-x (cm. Kgf)
 $M_{yS,d}$: Valor solicitante de cálculo ao momento fletor relação ao eixo -y (cm. Kgf)
 $M_{xR,d}$: Valor resistente de cálculo ao momento fletor relação ao eixo-x (cm. Kgf)
 $M_{yR,d}$: Valor resistente de cálculo ao momento fletor relação ao eixo -y (cm. Kgf)
 k_M : Coeficiente de correção que leva em conta a plastificação da seção (igual a 0,7 para seção retangular; 1,0 para outras seções)
 $W_x = \frac{I_x}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-x (cm³)
 $W_y = \frac{I_y}{y_t}$: Módulo resistente elástico de compressão +da seção segundo o eixo-y (cm³)
 $W_x = \frac{I_x}{y_c}$: Módulo resistente elástico de compressão da seção segundo o eixo-x (cm³)
 $W_y = \frac{I_y}{y_c}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-y (cm³)
 I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴)
 I_y : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-y ($\frac{hb^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴)
 $f_{b,d}$: Valor resistente de cálculo da tensão de ruptura na flexão (MOR)
 $\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão
 $k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão
 D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

6.7.5 Esforço Cortante Admissível na Flexão Simples

As seções utilizadas para madeira são normalmente retangulares, quadradas ou circulares. As vigas de seção composta, geralmente, são formadas por essas seções individuais com seções da mesma forma. Logo, são compactas e frequentemente as tensões de cisalhamento atuantes são significativamente menores que as tensões de ruína ao cisalhamento. Dessa forma, para seções maciças retangulares e circulares maciças não há necessidade de verificação da interação simultânea do momento fletor com a força cortante. Da mecânica clássica, vem:

Para madeira verde, vem:

$$V_{R,d}^v = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (168,585 D_b - 6,970) \quad (6.102)$$

Para madeira seca, vem:

$$V_{R,d}^s = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (227,318 D_b - 11,333) \quad (6.103)$$

Onde:

$V_{R,d}^v$: Esforço cortante resistente de cálculo para madeira verde (Kgf)

$V_{R,d}^s$: Esforço cortante resistente de cálculo para madeira seca (Kgf)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

I : Momento de inércia da seção em relação ao eixo neutro da seção transversal (cm⁴)

- b : Largura da seção no plano de corte considerado (cm).
 S : Momento estático para parte comprimida da seção transversal em relação a linha neutra (cm³).
 $\phi_v = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensão de cisalhamento longitudinal
 $k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)
 $\gamma_w = 1,8$: Coeficiente de minoração da resistência tensões de cisalhamento.

Para o caso particular de seção retangular maciça de área $A = b \cdot h$, $I = \frac{bh^3}{12}$ e o momento estático da parte comprimida da seção transversal igual a $S = \left(\frac{A}{2}\right) \cdot \left(\frac{h}{4}\right)$, as Equações (6.102) e (6.103) tomam a forma abaixo:

Para seção retangular em madeira verde

$$V_{R,d}^v = \phi_v 0,667A_g(168,585D_b - 6,970) \quad (6.104)$$

Para seção retangular em madeira seca

$$V_{R,d}^s = \phi_v 0,667A_g(227,318D_b - 11,333) \quad (6.105)$$

Onde:

$V_{R,d}^v$: Esforço cortante resistente de cálculo para seção retangular, madeira verde (Kgf)

$V_{R,d}^s$: Esforço cortante resistente de cálculo para seção retangular, madeira seca (Kgf)

D_b : Densidade básica (g/cm³)

A_g : Área bruta da seção transversal retangular $A_g = bh$ (cm²)

$\phi_v = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensão de cisalhamento longitudinal

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,8$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões de cisalhamento.

6.8 Dimensionamento de Barras Solicitadas a Flexão Composta

6.8.1 Hipóteses Básicas

Este item trata do estudo das barras submetidas à flexão composta. Solicitações dessa natureza, normalmente, ocorrem em pilares de canto, ou laterais, em edificações como pisos, e estruturas cuja arquitetura exija a aplicação de uma excentricidade inicial. As hipóteses básicas consideradas são:

Para peças submetidas à flexão composta as verificações podem ser feitas de acordo com a teoria da elasticidade clássica

- As barras podem estar solicitadas à flexão composta oblíqua
- O plano de aplicação das cargas passa pelo centro de cisalhamento da seção transversal, estando a viga restringida à rotação nos apoios e pontos de aplicação de cargas concentradas. Portanto, momento torsor é desprezível
- Barra prismática o que significa que a viga tem seção transversal constante ao longo do seu eixo longitudinal
- Os pontos de apoio das vigas são restringidos à rotação em torno do seu eixo longitudinal
- As cargas são aplicadas lentamente de modo que possam ser consideradas estáticas, ou quase estáticas
- A madeira pode estar na condição verde, ou na condição seca (teor umidade a 12%)

6.8.2 Barras Flexotracionadas

Nas peças estruturais submetidas a flexotração os esforços resistentes devem ser estimados com a hipótese de relação constitutiva de comportamento elastofrágil da madeira para tração paralela às fibras. Na flexotração oblíqua, a segurança deve ser verificada por meio da mais rigorosa de duas condições de resistência, aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais tracionada, considerando uma função linear para a influência das tensões decorrentes do esforço normal de tração em interação com o momento fletor, conforme abaixo:

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad (6.106)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad (6.107)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad (6.108)$$

Para a formulação considerando os momentos solicitantes as Equações (6.106) e (6.108) tomam a seguinte forma:

$$\frac{N_{tS,d}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{xS,d}}{M_{x,Rd}} + k_M \frac{M_{yS,d}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.109)$$

$$\frac{N_{tS,d}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{xS,d}}{k_{crit} \cdot M_{x,Rd}} + k_M \frac{M_{yS,d}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.110)$$

$$\frac{N_{tS,d}}{N_{tR,d}} + k_M \frac{M_{xS,d}}{M_{xR,d}} + \frac{M_{yS,d}}{M_{yR,d}} \leq 1,0 \quad (6.111)$$

A partir das funções de correlação entre a densidade básica e a resistência à compressão e à tração na flexão, a partir das Equações (6.1), (6.2), (6.3) e (6.4), Equações (6.109) e (6.111) acima, vem:

Equação de Interação Para Flexotração Para Madeira Verde:

$$\frac{N_{tS,d}}{\phi_t A_n (816,548 D_b - 113,263)} + \frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (1660,025 D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (1660,025 D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.112)$$

$$\frac{N_{tS,d}}{\phi_t A_n (816,548 D_b - 113,263)} + \frac{M_{xS,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (1660,025 D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (1660,025 D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.113)$$

$$\frac{N_{tS,d}}{\phi_t A_n (816,548 D_b - 113,263)} + k_M \frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (1660,025 D_b - 217,285)} + \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (1660,025 D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.114)$$

Equação de Interação Para Flexotração Para Madeira Seca:

$$\frac{N_{tS,d}}{\phi_t A_n (1087,063 D_b - 44,872)} + \frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (2194,705 D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_x (2194,705 D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.115)$$

$$\frac{N_{tS,d}}{\phi_t A_n 1087,063 D_b - 44,8729)} + \frac{M_{xS,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (2194,705 D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_x 2194,705 D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.116)$$

$$\frac{N_{tS,d}}{\phi_t A_n (1087,063 D_b - 44,872)} + \frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (2194,705 D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_x (2194,705 D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.117)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d}$: Valor de cálculo da tensão solicitante de tração

$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{xS,d}}{W_{xt}}$: Tensão solicitante de cálculo à tração na flexão segundo o eixo-x (Kgf/cm²)

$\sigma_{My,d} = \frac{M_{yS,d}}{W_{yt}}$: Tensão solicitante de cálculo à tração na flexão segundo o eixo-y (Kgf/cm²)

$W_x = \frac{I_x}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-x (cm³)

$W_y = \frac{I_y}{y_t}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-y (cm³)

I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ -seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ -seção circular) (cm⁴)

I_y : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-y ($\frac{hb^3}{12}$ -seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ -seção circular) (cm⁴)

$f_{t0,d} = f_{c0,d}$: Valor de cálculo da tensão resistente à tração paralela às fibras (TPA = CPA)

$f_{m,d}$: Valor resistente de cálculo da tensão de tração na flexão (MOR)

$N_{tS,d}$: Valor solicitante de cálculo da força de tração (Kgf)

$M_{xS,d}$: Valor solicitante de cálculo ao momento fletor relação ao eixo-x (cm. Kgf)

$M_{yS,d}$: Valor solicitante de cálculo ao momento fletor relação ao eixo -y (cm. Kgf)

$M_{xR,d}$: Valor resistente de cálculo ao momento fletor relação ao eixo-x (cm. Kgf)

$M_{yR,d}$: Valor resistente de cálculo ao momento fletor relação ao eixo -y (cm. Kgf)

k_M : Coeficiente de correção que leva em conta a plastificação da seção (igual a 0,7 para seção retangular; 1,0 para outras seções)

A_n : Área líquida da seção barra (cm²)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões de flexão

$\phi_t = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões de tração

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de tração

6.8.3 Barras Flexocomprimidas

Nas peças estruturais submetidas a flexocompressão os esforços resistentes podem ser estimados com a hipótese de relação constitutiva de comportamento elastoplástico da madeira para compressão

paralela às fibras. A segurança de barras submetidas à flexocompressão oblíqua é assegurada pelo atendimento da resistência ao esmagamento das fibras da madeira a compressão, no ponto mais solicitado da borda mais comprimida, da seção transversal, sem consideração da instabilidade. As funções de interação normal-fletor para a resistência ao esmagamento das fibras, são quadráticas para a influência das tensões relativas ao esforço normal de compressão. Além da consideração da resistência deve ser verificada a estabilidade.

a) Verificação da Condição de Resistência

A condição de segurança relativa à resistência das seções transversais submetidas à flexocompressão é expressa pela mais rigorosa das equações abaixo, considerando para a interação normal-fletor uma função quadrática para a influência das tensões relativas à força normal de compressão, conforme já destacado acima. Assim:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{b,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.118)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{k_{crit}f_{b,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.119)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{b,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.120)$$

Verificação da Resistência à Flexocompressão Para Madeira Verde:

$$\left(\frac{N_{cs,d}}{\phi_c A_g (816,548D_b - 113,263)}\right)^2 + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.121)$$

$$\left(\frac{N_{cs,d}}{\phi_c A_g (816,548D_b - 113,263)}\right)^2 + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (1660,025D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.122)$$

$$\left(\frac{N_{cs,d}}{\phi_c A_g (816,548D_b - 113,263)}\right)^2 + k_M \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} + \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.123)$$

Verificação da Resistência à Flexocompressão Para Madeira Seca:

$$\left(\frac{N_{cs,d}}{\phi_c A_g (1087,063D_b - 44,872)}\right)^2 + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (2194,705D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.124)$$

$$\left(\frac{N_{cs,d}}{\phi_c A_g (1087,063D_b - 44,872)}\right)^2 + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (2194,705D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.125)$$

$$\left(\frac{N_{cS,d}}{\phi_c A_g (1087,063 D_b - 44,872)} \right)^2 + k_M \frac{M_{xS,d}}{\phi_b W_x (2194,705 D_b - 185,034)} + \frac{M_{yS,d}}{\phi_b W_y (2194,705 D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.126)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d}$: Valor de cálculo da tensão solicitante de compressão

$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{xS,d}}{W_{xc}}$: Tensão solicitante de cálculo a compressão na flexão segundo o eixo-x (Kgf/cm²)

$\sigma_{My,d} = \frac{M_{yS,d}}{W_{yt}}$: Tensão solicitante de cálculo a compressão na flexão segundo o eixo-y (Kgf/cm²)

$W_{xc} = \frac{I_x}{y_c}$: Módulo resistente elástico de compressão da seção segundo o eixo-x (cm³)

$W_{yc} = \frac{I_y}{y_c}$: Módulo resistente elástico de compressão da seção segundo o eixo-y (cm³)

I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴)

I_y : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-y ($\frac{hb^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴)

$f_{c0,d}$: Valor de cálculo da tensão resistente à compressão paralela às fibras (CPA)

$f_{b,d}$: Valor resistente de cálculo da tensão de ruptura por flexão (MOR)

$N_{cS,d}$: Valor da força solicitante de cálculo a compressão axial, de análise não linear exata (Kgf)

$M_{xS,d}$: Valor do momento solicitante de cálculo em relação ao eixo-x, análise não linear exata (cm. Kgf)

$M_{yS,d}$: Valor do momento solicitante de cálculo em relação ao eixo-y, análise não linear exata (cm. Kgf)

$M_{xR,d}$: Valor do momento resistente de cálculo em relação ao eixo-x (cm.Kgf)

$M_{yR,d}$: Valor do momento resistente de cálculo em relação ao eixo-y (cm. Kgf)

k_M : Coeficiente de correção que leva em conta a plastificação da seção (igual a 0,7 para seção retangular; 1,0 para outras seções)

A : Área bruta da seção barra (cm²)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões de flexão

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de compressão

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de compressão

Onde $\sigma_{Nc,d}$ é o valor de cálculo da parcela da tensão normal atuante em virtude apenas dos esforços de compressão; $f_{c0,d}$ é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras; $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ são as tensões máximas devido às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais; k_M é o coeficiente de correção relacionado à forma geométrica da seção transversal da peça caracterizada no item referente à flexão simples oblíqua, onde as tensões máximas ocorrem nos vértices opostos, com a parte central menos solicitada. Assim, o modelo considera a plastificação em relação a um eixo, enquanto em relação ao outro eixo principal ocorreria flambagem, ou esmagamento.

b) Verificação da Condição de Estabilidade

Além das condições de resistências estabelecidas acima, as barras submetidas à flexão composta oblíqua devem atender duas condições de estabilidade, considerando para a interação normal-fletor uma função linear para a influência das tensões relativas à força normal de compressão. Assim:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx}f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{b,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.127)$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx}f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{k_{crit} \cdot f_{b,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.128)$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx}f_{c0,d}} + \left(\frac{\sigma_{Mx,d}}{k_{crit} \cdot f_{b,d}} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.129)$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy}f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{b,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{b,d}} \leq 1,0 \quad (6.130)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_{cS,d}}{A_g}$: Tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão

$N_{cS,d}$: Valor da força solicitante de cálculo, obtida de análise não linear exata (kgf)

A_g : Área bruta da seção transversal (cm²);

k_M : Coeficiente de correção (0,7 para seção retangular; 1,0 para outras seções)

$\sigma_{x,d} = \frac{M_{xS,d}}{W_x}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, de análise não linear exata (kgf/cm²)

$\sigma_{My,d} = \frac{M_{yS,d}}{W_y}$: Tensão máxima devido ao momento atuante, de análise não linear exata (kgf/cm²)

$M_{Mx,d}$: Momento solicitante de cálculo em relação ao eixo-x, de análise não linear exata (kgf.cm)

$M_{My,d}$: Momento solicitante de cálculo em relação ao eixo-y, de análise não linear exata (kgf.cm)

$W_x = \frac{I_x}{y}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³)

$W_y = \frac{I_y}{x}$: Módulo de resistência da seção transversal da peça (cm³)

I_x : Momento de inércia em relação ao eixo-x ($\frac{b \cdot h^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴)

I_y : Momento de inércia em relação ao eixo-y ($\frac{h \cdot b^3}{12}$ para seção retangular; $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$ para seção circular) (cm⁴)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³)

$f_{c0,d}$: Valor de cálculo da tensão resistente à compressão paralela às fibras (CPA)

$f_{b,d}$: Valor resistente de cálculo da tensão de compressão na flexão (MOR)

$\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões de flexão

$\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de compressão

$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão

$\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de compressão

Verificação da Estabilidade à Flexocompressão Para Madeira Verde:

$$\frac{N_{cs,d}}{\phi_c k_{cx} A_g (816,548D_b - 113,263)} + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.131)$$

$$\frac{N_{cs,d}}{(\phi_c k_{cx} A_g (816,548D_b - 113,263))} + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (1660,025D_b - 217,285)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.132)$$

$$\frac{N_{cs,d}}{(\phi_c k_{cx} A_g (816,548D_b - 113,263))} + \left(\frac{M_{xs,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (1660,025D_b - 217,285)} \right)^2 + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.133)$$

$$\frac{N_{cs,d}}{(\phi_c k_{cy} A_g (816,548D_b - 113,263))} + k_M \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (1660,025D_b - 217,285)} + \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (1660,025D_b - 217,285)} \leq 1,0 \quad (6.134)$$

Verificação da Estabilidade à Flexocompressão Para Madeira Seca:

$$\frac{N_{cs,d}}{\phi_c k_{cx} A_g (1087,063D_b - 44,872)} + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (2194,705D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.135)$$

$$\frac{N_{cs,d}}{(\phi_c k_{cx} A_g (1087,063D_b - 44,872))} + \frac{M_{xs,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (2194,705D_b - 185,034)} + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.136)$$

$$\frac{N_{cs,d}}{(\phi_c k_{cx} A_g (1087,063D_b - 44,872))} + \left(\frac{M_{xs,d}}{\phi_b k_{crit} W_x (2194,705D_b - 185,034)} \right)^2 + k_M \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.137)$$

$$\frac{N_{cs,d}}{\phi_c k_{cy} A_g (1087,063D_b - 44,872)} + k_M \frac{M_{xs,d}}{\phi_b W_x (2194,705D_b - 185,034)} + \frac{M_{ys,d}}{\phi_b W_y (2194,705D_b - 185,034)} \leq 1,0 \quad (6.138)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d}$: Valor de cálculo da tensão solicitante de tração

$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{xs,d}}{W_{xt}}$: Tensão solicitante de cálculo da componente à tração na flexão segundo o eixo-x (Kgf/cm²)

$\sigma_{My,d} = \frac{M_{ys,d}}{W_{yt}}$: Tensão solicitante de cálculo da componente à tração na flexão segundo o eixo-y (Kgf/cm²)

$W_x = \frac{I_x}{y_c}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-x (cm³)

$W_y = \frac{I_y}{y_c}$: Módulo resistente elástico de tração da seção segundo o eixo-y (cm³)

I_x : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-x ($\frac{bh^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴)

I_y : Momento de inércia da seção em relação ao eixo-y ($\frac{hb^3}{12}$ seção retangular; $\frac{\pi d^4}{64}$ seção circular) (cm⁴)

$f_{c0,d}$: Valor de cálculo da tensão resistente à compressão paralela às fibras (CPA)

$f_{b,d}$: Valor resistente de cálculo da tensão de tração na flexão (MOR)

$N_{cs,d}$: Valor força normal solicitante de cálculo de análise não linear exata (Kgf)

$M_{xs,d}$: Momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo-x de análise não linear exata (cm.Kgf)

$M_{ys,d}$: Momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo-y de análise não linear exata (cm.Kgf)

$M_{xR,d}$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo-x (cm.Kgf)

$M_{yR,d}$: Momento resistente de cálculo em relação ao eixo-x (cm.Kgf)
 k_M : Coeficiente de correção que leva em conta a plastificação da seção (igual a 0,7 para seção retangular; 1,0 para outras seções)
 A : Área bruta da seção barra (cm²)
 D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).
 $\phi_b = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões de flexão
 $\phi_c = \frac{k_{mod}}{\gamma_w}$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de compressão
 $k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$: Coeficiente de modificação (para madeira verde considerar $k_{mod2} = 1,0$)
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais na flexão
 $\gamma_w = 1,4$: Coeficiente de minoração da resistência para tensões normais de compressão

6.9 Classificação de Espécies de Madeira Tropical Por Uso Específico

Os materiais manufaturados na indústria são fabricados para atender as necessidades de usos específicos. A madeira, por ser de natureza orgânica, se desenvolve com características próprias que são praticamente constantes dentro de uma mesma espécie. A grande quantidade de espécies de madeiras existentes e a variabilidade de comportamento que apresentam quanto à resistência, estabilidade e durabilidade permite que o processo de escolha de uma determinada espécie se dê de forma inversa, isto é, utilizar a espécie que possuir propriedades que atendam às necessidades de um uso específico. Desta forma, a garantia de eficiência, resistência e durabilidade vão depender das condições de exposição que irá definir qual espécie possui as propriedades que atendam a estas condições específicas (Melo, et al., 2016). Quando se pretende utilizar espécies pouco desconhecidas é comum comparar as propriedades de espécies tradicionalmente utilizadas, com as propriedades destas espécies.

6.9.1 Classificação em Usos Finais

A densidade é tomada como parâmetro básico na definição de usos devido a sua correlação relativamente alta com as propriedades de resistência. A definição de usos específicos foi feita para 224 espécies de madeiras, coletadas em diferentes regiões da Amazônia, caracterizadas pelo Laboratório de Produtos Florestais/MMA, cujas propriedades físicas e mecânicas foram determinadas em conformidade com as normas COPANT/72. O sistema de amostragem para seleção corte e retirada das amostras por árvore de cada espécie foi feito de forma aleatória resultando, após identificação botânica, de três a quinze árvores por espécie (Noack, 1970). As espécies foram agrupadas em intervalos de classes, para a densidade básica, contração volumétrica, cores do cerne, tipos de grã e de textura, módulo de elasticidade em ordem decrescente e propriedades físicas e mecânicas.

As espécies listadas a seguir, bem como as propriedades mais importantes para os usos na construção e a metodologia utilizada foram obtidas a partir do livro “A Madeira e seus Usos” (Melo, et al., 2016)

6.9.2 Estrutura de Cobertura Para Galpões e Edifícios (Viga, Caibro e Ripa)

As propriedades da madeira mais importantes para o uso em estruturas de cobertura, são:

Densidade básica média a densidade básica alta

A densidade básica está relacionada com as propriedades de resistência e de durabilidade. Em geral, quanto maior a densidade maior é a resistência e, conseqüentemente, maior é a economia em relação ao volume de madeira na cobertura.

Resistência mecânica

Como os principais tipos de esforços são de flexão e cisalhamento e as cargas não são elevadas, as espécies de madeira com alto módulo de elasticidade são as mais econômicas, em termos de volume por metro quadrado de área de construção.

Durabilidade natural

É importante observar a durabilidade natural da madeira, devido a eventuais acúmulos de umidade e possíveis ataques de organismos xilófagos. Geralmente, a madeira de alta durabilidade natural não requer a sua preservação com produtos químicos.

Grã direita, revessa e ondulada

A madeira de grã direita apresenta menos defeitos no processamento e proporciona maior facilidade no acabamento. Considerando o tipo de acabamento desejado, a madeira de grã revessa ou ondulada também pode ser utilizada. Não é recomendável o emprego de madeiras de grã inclinada e irregular, por apresentarem baixa resistência à flexão.

Odor

Não se deve usar em estrutura de cobertura a madeira que apresenta odor desagradável, principalmente em cobertura sem laje.

As espécies estão colocadas por ordem decrescente de prioridade, em função das propriedades tecnológicas, como Densidade Básica, características de grã mais apropriadas para o uso:

- Tabebuia serratifolia* - Ipê (1)
Chrysophyllum pruri - Abiu-de-casca-fina (2)
Diplotropis purpurea - Sucupira-da-terra-firme (3)
Swartzia recurva - Urucurana (4)
Vantanea parviflora - Uchirana (5)
Bowdichia nitida - Sucupira-preta (6)
Aniba canelilla - Preciosa (7)
Pouteria caimito - Abiurana (8)
Zollernia paraensis - Pau-santo (9)
Dipteryx odorata - Cumaru (10)
- Tabebuia cf. incana* - Ipê-amarelo (11)
Peltogyne paniculata - Roxinho (12)
Hymenaea parvifolia - Jatobá/Jutai-mirim (13)
Manilkara huberi - Maçaranduba (14)
Dinizia excelsa - Angelim-vermelho (15)
Pouteria egregia - Abiu-pitomba (16)
Pouteria guianensis - Abiurana (17)
Sloanea nitida - Urucurana (18)
Enterolobium schomburgkii - Sucupira amarela (19)
Diploon venezuelana - Abiurana (20)
Guatteria procera - Envira-preta (21)
Roupala montana - Louro-faia/Faieira (22)
Terminalia cf. argentea - Cuia (23)
Cassia scleroxylon - Muirapixuna (24)
- Aspidosperma macrocarpon* - Peroba-mico (49)
Trichilia lecointei - Pracuúba-da-terra-firme (50)
Couratari stellata - Tauari (51)
Eschweilera longipes - Matamatá (52)
Vatairea sericea - Angelim-amargoso (53)
Pouteria gongrijpii - Abiurana (54)
Eschweilera grandiflora - Matamatá (55)
Licania oblongifolia - Mucucurana (56)
Dialium guianense - Jutaipeba (57)
Couepia robusta - Castanha-de-cutia (58)
Tabebuia sp. - Ipê (59)
Ormosia paraensis - Tinto (60)
Astronium ulei - Muiracatiara (61)
Eschweilera coriacea - Matamatá-preto (62)
Astronium lecointei - Muiracatiara-rajada (63)
Buchenavia huberi - Cuiarana (64)
Sloanea sp. - Urucurana (65)
Pouteria pachycarpa - Goiabão (66)
Micropholis venulosa - Rosadinho (67)
Sclerolobium poeppigianum - Taxi-pitomba (68)
Aspidosperma desmanthum - Araracanga (69)
Drypetes variabilis - Pau-branco (70)
Hymenolobium modestum - Angelim-pedra (71)
Cassia fastuosa - Canafistula (72)
Tetragastris altissima - Breu (73)
Andira sp. - Angelim-tinto (74)
- Lecythis pisonis* - Castanha-sapucaia (25)
Hymenaea courbaril - Jatobá (26)
Endopleura uchi - Uchi-liso (27)
Inga paraensis - Ingá/Ingarana (28)
Parinari excelsa - Parinari (29)
Mouriri callocarpa - Miraúba (30)
Brosimum rubescens - Amapá-amargoso (31)
Protium sp. - Breu (32)
Laetia procera - Pau-jacaré (33)
Licaria rigida - Louro/Louro-amarelo (34)
Qualea brevipedicellata - Mandioqueira-áspera (35)
Peltogyne cf. subsessilis - Roxinho (36)
Zizyphus itacaiunensis - Maria-preta (37)
Pouteria anomala - Rosadinho/Mangarana (38)
Marmaroxylon racemosum - Angelim-rajado (39)
Licania gracilipes - Caraiperana (40)
Pouteria sp. - Jará (41)
Astronium gracile - Muiracatiara (42)
Licania octandra - Caraipé (43)
Myrocarpus frondosus - Cabreúva-parda (44)
Pouteria oblanceolata - Tuturubá (45)
Brosimum alicastrum - Janitá (46)
Vatairea paraensis - Angelim-amargoso (47)
Acioa edulis - Castanha-de-cutia (48)
Acioa sp. - Castanha-de-cutia (75)
Manilkara bidentata - Maçaranduba (76)
Glycydendron amazonicum - Glícia (77)
Euxylophora paraensis - Pau-amarelo (78)
Micropholis guianensis - Abiurana-branca (79)
Piptadenia suaveolens - Faveira-folha-fina (80)
Buchenavia sp. - Tanibuca (81)
Micrandra rossiana - Seringarana (82)
Tetragastris panamensis - Barrote (83)
Goupia glabra - Cupiúba (84)
Terminalia amazonica - Cuiarana (85)
Apuleia molaris - Garapeira (86)
Buchenavia capitata - Tanibuca (87)
Maclura tinctoria - Amoreira (88)
Buchenavia cf. viridiflora - Tanibuca (89)
Andira retusa - Andirá-uxi (90)
Pouteria oppositifolia - Abiu (91)
Piptadenia communis - Faveira-folha-fina (92)
Mezilaurus itauba - Itaúba-amarela (93)
Buchenavia grandis - Tanibuca (94)
Mezilaurus lindaviana - Itaúba (95)

6.9.3 Estruturas Para Pontes (Pontes Vicinais, Passarelas de Pedestres)

a) Pilar ou Mão-Francesa

As propriedades da madeira mais importantes para o uso em pilares ou colunas de ponte, são:

Densidade básica alta

A densidade básica está relacionada com as propriedades de resistência e de durabilidade da madeira. As condições agressivas de exposição e altas solicitações de esforços na flexão, na compressão e cisalhamento paralelo às fibras requerem o uso de espécies de madeira de densidade básica a mais alta possível.

Durabilidade natural

É importante considerar a durabilidade natural em usos que mantêm a madeira em contato constante com a umidade. Geralmente, a madeira de alta durabilidade natural não requer a sua preservação com produtos químicos. Não foram encontrados dados referentes à sua durabilidade natural.

Impacto

A resistência ao impacto proporciona uma melhor resposta aos possíveis choques e frenagem sobre a ponte.

Grã direita, revessa e ondulada

Não é recomendável o emprego de madeiras de grã inclinada e irregular, por apresentarem baixa resistência à flexão e ao impacto.

As espécies estão colocadas por ordem decrescente de prioridade, em função das propriedades tecnológicas mais apropriadas para o uso:

<i>Cassia scleroxylon</i> - Muirapixuna (1)	<i>Pouteria egregia</i> - Abiu-pitomba (16)
<i>Zollernia paraensis</i> - Pau-santo (2)	<i>Enterolobium schomburgkii</i> - Sucupira-amarela (17)
<i>Tabebuia serratifolia</i> - Ipê (3)	<i>Lecythis pisonis</i> - Castanha-sapucaia (18)
<i>Aniba canelilla</i> - Preciosa (4)	<i>Dinizia excelsa</i> - Angelim-vermelho (19)
<i>Hymenaea parvifolia</i> - Jatobá/Jutaí-mirim (5)	<i>Pouteria guianensis</i> - Abiurana (20)
<i>Sloanea nitida</i> - Urucurana (6)	<i>Licania oblongifolia</i> - Mucucurana (21)
<i>Trichilia lecointei</i> - Pracuúba-da-terra-firme (7)	<i>Couepia robusta</i> - Castanha-de-cutia (22)
<i>Pouteria caimito</i> - Abiurana (8)	<i>Manilkara bidentata</i> - Maçaranduba (23)
<i>Mouriri callocarpa</i> - Miraúba (9)	<i>Tabebuia cf. incana</i> - Ipê-amarelo (24)
<i>Dipteryx odorata</i> - Cumarú (10)	<i>Inga paraensis</i> - Ingá/Ingarana (25)
<i>Manilkara huberi</i> - Maçaranduba (11)	<i>Licania gracilipes</i> - Caraiperana (26)
<i>Tabebuia sp.</i> - Ipê (12)	<i>Acioa edulis</i> - Castanha-de-cutia (27)
<i>Vantanea parviflora</i> - Uchirana (13)	<i>Terminalia cf. argentea</i> - Cuia (28)
<i>Diploon venezuelana</i> - Abiurana (14)	<i>Zizyphus itacaiunensis</i> - Maria-preta (29)
<i>Dialium guianense</i> - Jutaipeba (15)	<i>Terminalia amazonica</i> - Cuiarana (30)

c) Viga e Tabuleiro ou Estrado

As propriedades da madeira mais importantes para o uso em vigas e tabuleiros ou estrado de pontes, são:

Densidade básica alta

A densidade básica está relacionada com as propriedades de resistência e de durabilidade da madeira. As condições agressivas de exposição e altas solicitações de esforços na flexão, na compressão e cisalhamento paralelo às fibras requerem o uso de espécies de madeira de densidade básica a mais alta possível. Madeiras com alto módulo de elasticidade tendem a diminuir os efeitos de vibração.

Durabilidade natural

É importante considerar a durabilidade natural em usos que mantêm a madeira em contato constante com a umidade. Geralmente, a madeira de alta durabilidade natural não requer a sua preservação com produtos químicos. Não foram encontrados dados referentes à sua durabilidade natural.

Impacto

A resistência ao impacto proporciona uma melhor resposta aos possíveis choques e frenagem sobre a ponte.

Grã direita, revessa e ondulada

Não é recomendável o emprego de madeiras de grã inclinada e irregular, por apresentarem baixa resistência à flexão e ao impacto.

As espécies estão colocadas por ordem decrescente de prioridade, em função das propriedades tecnológicas mais apropriadas para o uso:

<i>Tabebuia serratifolia</i> - Ipê (1)	<i>Hymenaea courbaril</i> - Jatobá (26)
<i>Chrysophyllum prieurii</i> - Abiu-de-casca-fina (2)	<i>Inga paraensis</i> - Ingá/Ingarana (27)
<i>Swartzia recurva</i> - Urucurana (3)	<i>Mouriri callocarpa</i> - Miraúba (28)
<i>Vantanea parviflora</i> - Uchirana (4)	<i>Protium sp.</i> - Breu (29)
<i>Bowdichia nitida</i> - Sucupira-preta (5)	<i>Zizyphus itacaiunensis</i> - Maria-preta (30)
<i>Aniba canelilla</i> - Preciosa (6)	<i>Peltogyne cf. subsessilis</i> - Roxinho (31)
<i>Zollernia paraensis</i> - Pau-santo (7)	<i>Licania gracilipes</i> - Caraiperana (32)
<i>Pouteria caimito</i> - Abiurana (8)	<i>Marmaroxylon racemosum</i> - Angelim-rajado (33)
<i>Dipteryx odorata</i> - Cumaru (9)	<i>Pouteria oblanceolata</i> - Tuturubá (34)
<i>Tabebuia cf. incana</i> - Ipê-amarelo (10)	<i>Myrocarpus frondosus</i> - Cabreúva-parda (35)
<i>Peltogyne paniculata</i> - Roxinho (11)	<i>Licania octandra</i> - Caraiapé (36)
<i>Hymenaea parvifolia</i> - Jatobá/Jutaí-mirim (12)	<i>Acioa edulis</i> - Castanha-de-cutia (37)
<i>Manilkara huberi</i> - Maçaranduba (13)	<i>Licania oblongifolia</i> - Mucucurana (38)
<i>Pouteria egregia</i> - Abiu-pitomba (14)	<i>Trichilia lecointei</i> - Pracuúba-da-terra-firme (39)
<i>Dinizia excelsa</i> - Angelim-vermelho (15)	<i>Piptadenia suaveolens</i> - Faveira-folha-fina (40)
<i>Pouteria guianensis</i> - Abiurana (16)	<i>Tabebuia sp.</i> - Ipê (41)
<i>Sloanea nitida</i> - Urucurana (17)	<i>Couepia robusta</i> - Castanha-de-cutia (42)
<i>Diploon venezuelana</i> - Abiurana (18)	<i>Astronium lecointei</i> - Muiracatiara-rajada (43)
<i>Enterolobium schomburgkii</i> - Sucupira-amarela (19)	<i>Buchenavia huberi</i> - Cuiarana (44)

Cassia scleroxylon - Muirapixuna (20)

Terminalia cf. argentea - Cuia (21)

Roupala montana - Louro-faia/Faeira (22)

Dialium guianense - Jutaípeba (23)

Lecythis pisonis - Castanha-sapucaia (24)

Endopleura uchi - Uchi-liso (25)

Buchenavia sp. - Cuiarana (45)

Manilkara bidentata - Maçaranduba (46)

Acioa sp. - Castanha-de-cutia (47)

Tetragastris panamensis - Breu-preto (48)

Terminalia amazonica - Cuiarana (49)

7 VIBRAÇÃO EM PISOS DE MADEIRA UTILIZANDO A DENSIDADE BÁSICA DEVIDO USO EM ATIVIDADES HUMANAS

7.1 Considerações Gerais

Novas tendências arquitetônicas, juntamente com as demandas atuais do mercado, estão levando o projeto de engenharia para o uso de sistemas de pisos com maiores vãos e um número mínimo de pilares, permitindo, assim, maior flexibilidade arquitetônica. Esta filosofia de projeto aliado a materiais cada vez mais resistente, vem conduzindo a elementos estruturais cada vez mais esbeltos. Nas estruturas de madeira com a crescente caracterização de novas espécies a tendência de uso de madeiras de alta densidade básica deverá ser uma tendência para os próximos anos. Sob o ponto de vista estrutural há uma necessidade de um maior cuidado quanto a verificação da instabilidade global, os deslocamentos e o controle da vibração, uma vez que o aumento da densidade, geralmente, reduz a frequência natural da estrutura, consequência do aumento da massa. O que se verifica é que o aumento da densidade básica, mesmo aumentando o módulo de elasticidade, o acréscimo na massa é preponderante na redução na frequência natural. Dessa forma, é importante controlar a vibração de estruturas de madeira, especialmente para uso em atividades de esportes, academias, teatros, mas também em escolas, escritórios e residências. Nessas situações o critério de projeto é geralmente afastar a frequência natural da estrutura das faixas de frequência de excitações dinâmicas associadas às atividades humanas, como a caminhada, salto, dança.

Este trabalho apresenta uma proposta para análise da vibração em pisos de madeira utilizando a Densidade Básica. O estudo se baseia pesquisas coordenadas pelo Eurocode, especialmente para estruturas de aço e estruturas mistas. A partir de uma base teórica e experimental consistente vários pesquisadores, conduziram estudos e pesquisas tanto na Europa, quanto nos Estados Unidos e Canadá. Os estudos de pisos com estruturas mistas de aço e concreto podem ser adaptados para estruturas de madeira com a consideração do amortecimento, especialmente devido ao material. É sabido que a madeira possui um maior amortecimento que as estruturas de aço e também de concreto.

7.2 Método de Cálculo Simplificado Para a Frequência Natural de Pisos de Madeira.

O *Steel Design Guide* apresenta um método analítico simplificado (de Murray et al, 2003) para determinar a frequência e a aceleração de um sistema de piso. O método apresentado a seguir foi descrito e apresentado por (Murray, 2003) aperfeiçoando estudos de Tilden (1966). O método descrito é aplicado a painéis de piso sujeitos à atividade humana de caminhar, feito de lajes de concreto ou lajes mistas. A adaptação para estruturas de madeira será feita pela consideração do amortecimento, tanto da estrutura interna nua, quanto dos elementos não estruturais.

O parâmetro mais importante para a verificação do estado limite de serviço de vibração excessiva em sistemas de painéis de piso é a frequência natural. O conjunto das vigas formadas pelos barotes de madeira, simplesmente apoiadas em vigas principais, com carga distribuída uniforme, tem sua frequência natural dada pela Equação 59, abaixo:

$$f_n = 0,18378 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (7.1)$$

Onde:

f_n : Frequência natural da viga bi apoiada (Hz)

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$: É a aceleração da gravidade

Δ : É o deslocamento da viga com carga uniformemente distribuída

O deslocamento em uma viga bi apoiada com carregamento uniformemente distribuído, é dado por:

$$\Delta = \frac{5ql^4}{384EI} \quad (7.2)$$

Onde:

Δ : É o deslocamento da viga com carga uniformemente distribuída (cm)

q : é a carga distribuída assumida como massa modal ($\frac{Kgf}{cm}$)

l : é a carga distribuída (cm)

E : é o módulo de elasticidade da espécie de madeira considerada ($\frac{Kgf}{cm^2}$)

I : é o momento de inércia (cm⁴)

Levando a Equação 60 → Equação 59, e inserindo ao amortecimento como um fator β , vem:

$$\begin{aligned} f_n &= 0,18\beta \cdot \sqrt{\frac{g}{\frac{5ql^4}{384EI}}} = 0,18\beta \cdot \sqrt{\frac{384EIg}{5ql^4}} = 0,18\beta \cdot \sqrt{\frac{384 EI \cdot (981)}{5ql^4}} \\ &= 0,18\beta \cdot \sqrt{\frac{(384) \cdot (981)}{5}} \cdot \sqrt{\frac{EI}{ql^4}} \\ f_n &= 49,4069 \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{EI}{ql^4}} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Para o módulo de elasticidade para a madeira verde $E_{m,k} = 15.428,8644D_b + 1.817,4620$, e admitindo $q = P_p + 0,5.SC$, onde P_p é o peso próprio do piso e SC é a sobrecarga de utilização, ambos dados em $[\frac{kgf}{cm}]$.

$$f_{nv} = 49,4069\beta \cdot \sqrt{\frac{E_{m,k}I}{ql^4}} = 49,4069\beta \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot (15.428,8644D_b + 1.817,4620) \cdot I}{q \cdot l^4}} \quad (7.4)$$

Para uma seção retangular, $I = \frac{bh^3}{12}$, vem:

$$f_{nv} = 156,2383 \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{(15.428,8644D_b + 1.817,4620) \cdot b \cdot h^3}{12 \cdot q \cdot l^4}}$$

Para madeira verde e seção retangular:

$$f_{nv} = \frac{45,1021 \cdot \beta \cdot h}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{(15.428,8644D_b + 1.817,4620)b \cdot h}{q}} \quad (7.5)$$

Para madeira seca, por analogia, vem:

Para madeira seca e seção retangular:

$$f_{ns} = \frac{45,1021 \cdot \beta \cdot h}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{(16.892,6685D_b + 2.807,9183)}{q}} \quad (7.6)$$

Onde:

f_{nv} : Frequência natural da viga bi apoiada de madeira verde (Hz)

f_{ns} : Frequência natural da viga bi apoiada de madeira seca (Hz)

β : amortecimento em percentagem (%) $\beta \in [0,5\%, 4\%]$ (adotar valor conservador igual a: $\beta = 1\%$, multiplicar por 1,01)

$q = P_p + 0,5SC$: é a carga distribuída na viga ($\frac{Kgf}{cm}$)

P_p : é o peso próprio do piso (vigas principais e secundárias) ($\frac{Kgf}{cm}$)

SC : é a sobrecarga de utilização ($\frac{Kgf}{cm}$)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³)

b : é a largura da seção (cm)

h : é a altura da seção (cm)

l : é o vão da viga (cm)

Para uma seção circular de diâmetro "d", $I = \frac{\pi d^4}{64}$, vem:

$$f_{nv} = 49,4069 \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{(15.428,8644D_b + 1.817,4620) \cdot \pi d^4}{64 \cdot q \cdot l^4}}$$

Para madeira verde e seção circular (Equação DePaula):

$$f_{nv} = \frac{10,9464 \cdot \beta \cdot d^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{(15.428,8644D_b + 1.817,4620)}{q}} \quad (7.7)$$

Para madeira seca, por analogia, vem:

Para madeira seca e seção circular (Equação DePaula):

$$f_{nv} = \frac{10,9464 \cdot \beta \cdot d^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{(16.892,6685D_b + 2.807,918)b \cdot h}{q}} \quad (7.8)$$

Onde:

f_{nv} : Frequência natural da viga bi apoiada de madeira verde (Hz)

f_{ns} : Frequência natural da viga bi apoiada de madeira seca (Hz)

β : amortecimento em percentagem (%); $\beta \in [0,5\% - 4\%]$ (adotar valor em decimal: $\beta = 1\%$, multiplicar por 1,01)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³)

$q = P_p + 0,5SC$: é a carga distribuída na viga ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}}$)

P_p : é o peso próprio do piso (vigas principais e secundárias) ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}}$)

SC : é a sobrecarga de utilização ($\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}}$)

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³)

d : é o diâmetro da seção (cm)

l : é o vão da viga (cm)

8 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

8.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo apresentam-se comentários e considerações sobre os objetivos gerais e específicos esperados e conseguidos com o desenvolvimento desta Tese. Além disso, as principais conclusões e “achados” da pesquisa científica contida na Tese. Comenta-se também sobre alguns estudos já desenvolvidos, mas que não foram incluídos na Tese em virtude da amplitude do escopo, por decisão do autor juntamente com o orientador e que serão apresentados como sugestão de trabalhos futuros, não a serem realizados, mas para serem divulgados.

8.2 Objetivos Gerais Atingidos

Os objetivos gerais do trabalho previstos inicialmente, foram atingidos e obtidos da seguinte forma:

1. Desenvolvimento de um modelo matemático de resistência de madeira tropical utilizando a densidade básica como variável dependente.
2. Desenvolvimento de modelos de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, que utilizam o modelo matemático de resistência para caracterizar o material.
3. Elaboração de um estudo robusto de significância estatística paramétrica, dentro do método científico, que demonstra que o modelo matemático de resistência proposto é generalizável para toda a população e não está restrito apenas à amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão linear.
4. Desenvolvimento de modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, que utiliza o modelo matemático de resistência para caracterizar o material, tendo como referência norma brasileira de NBR 7190/1982.
5. Desenvolvimento de modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, que utiliza o modelo matemático de resistência para caracterizar o material, tendo como referência norma brasileira de NBR 7190/1997.
6. Desenvolvimento de modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, que utiliza o modelo matemático de resistência para caracterizar o material, tendo como referência norma brasileira de NBR 7190/2022.
7. Desenvolvimento de modelo de dimensionamento de elementos estruturais de madeira tropical, que utiliza o modelo matemático de resistência para caracterizar o material, tendo como referência o código europeu Eurocode 5/2004.

8.3 Sugestões Para Trabalhos Posteriores

Nesta seção são apresentadas sugestões para trabalhos posteriores que abordam aspectos que não foram abordados neste trabalho. Apresenta também, estudos já desenvolvidos, mas que não foram

incluídos na Tese em virtude da amplitude do escopo, por decisão do autor juntamente com o orientador e que serão citados nesta seção.

1. Avaliação sobre a viabilidade de desenvolvimento de um modelo de resistência do material a partir dos dados brutos da amostra experimental LPF/IBAMA utilizando modelos de regressão linear generalizado, que possa considerar a variância da variável dependente e independente.
2. Desenvolver modelos de dimensionamento a partir dos códigos de projeto americano NDS-*National Design Specification for Wood Construction* (NDS AWC/NDS2018) e canadense CSA 086.1 *Engineering Design in Wood*.
3. Elaboração de material bibliográfico a partir do modelo de resistência e modelos de dimensionamento utilizando a densidade básica, como artigos, comunicados e livros técnicos voltados para a comunidade científica.
4. Desenvolver plataforma digital na internet criando um Instituto Para o Estudo, Desenvolvimento e Divulgação do Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica
5. Aprimorar os softwares já desenvolvidos para dimensionamentos de elementos estruturais de madeira tropical utilizando a densidade básica
6. Apresentar o modelo matemáticos de resistência, já desenvolvido, que consideram a influência da grã da madeira.
7. Apresentar os modelos matemáticos de resistência, já desenvolvido, que utiliza a resistência a compressão paralela as fibras ($f_{c0,k}$) como variável independente.

8.4 Conclusões

Em análise o item 3.5 desta Tese e a Tabela 3.77 onde se encontra a síntese da análise de concordância e generalização do modelo matemático proposto, é possível afirmar que:

1. *“O Modelo Matemático de Resistência proposto é generalizável para toda a população onde a amostra utilizada na construção do próprio modelo de regressão foi obtida”.*
2. De outro modo é possível afirmar que: *“O Modelo Matemático de Resistência Proposto é capaz de simular as resistências mecânicas de qualquer espécie de madeira tropical, já caracterizada ou não, de qualquer floresta tropical e de qualquer Continente (América, África, Ásia e Oceania)”.*

Um requisito fundamental do método científico utilizado é que a pesquisa contida no corpo desta Tese fornece todos os elementos para a sua verificação, contestação, ou refutação das hipóteses e, também, das conclusões apresentadas e, portanto, permite uma continuidade pública.

9 BIBLIOGRAFIA

- ABNT. 1982.** ABNT: NBR-7190/1982. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, RJ : ABNT, 1982.
- **1997.** *ABNT: NBR-7190/1997. Projeto de Estruturas de Madeira.* Rio de Janeiro : ABNT, 1997.
- **2022.** *NBR-7190/2022. Projeto de Estruturas de Madeira.* Rio de Janeiro : ABNT, 2022.
- Alves, A. 2021a.** *Estatística Aplicada: Análise de Dados - Volume I: Análise.* [ed.] Aprenda Estatística Fácil. 2ª Edição. São Paulo : s.n., 2021a. p. 181. Vol. I.
- **2021b.** *Estatística Aplicada: Análise de Dados - Volume II: Gráficos.* [ed.] Aprenda Estatística Fácil. 2ª Edição. São Paulo : s.n., 2021b. p. 72. Vol. Volume II.
- **2021c.** *Estatística Aplicada: Análise de Dados - Volume III: Avançado.* [ed.] Aprenda Estatística Fácil. 2ª Edição. São Paulo : s.n., 2021c. p. 104. Vol. Volume III.
- Anscombe, F.J & Turkey, J. M. 1963.** *The Examination and Analysis of Residuals.* ed. 5ª. s.l. : Technometrics, 1963.
- Araújo, H. J. B. 2007.** Curitiba : s.n., Set./Dez. de 2007, Relações funcionais entre propriedades físicas e Mecânicas de madeiras tropicais brasileiras - Revista Floresta, Vol. v. 37. . 3.
- ArcelorMittal. 2021.** *MANUAL DE PERFIS SOLDADOS DA ARCELORMITTAL BRASIL.* Commercial Department, ArcelorMittal Latin America. Vitória : ArcelorMittal Flat Carbon Latin America – FCLATAM, 2021. p. 12.
- Barreto, A.S. 2011.** *Modelos de Regressão: Teoria e Aplicação com o Programa Estatístico R.* Ed. 1ª. Brasília : LGE Editora Ltda, 2011. p. 175.
- Bessa, Marco Aurélio Souza. 2018.** *Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Madeira Seca. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo.* [ed.] Faculdade de Arquitetura Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília : Universidade de Brasília, 2018.
- **2018.** *Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Madeira Seca. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo.* [ed.] Faculdade de Arquitetura Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília : Universidade de Brasília, 2018.
- Bonvino, H., Charnet, R. e Freire, C.A.L. 2008.** *Análise de Modelos de Regressão Linear com Aplicações.* Ed. 2ª. Campinas : Editora Unicamp, 2008.

Borgström, Eric. 2016. *Design of Timber Structures - Structural aspects of timber construction.* 2ª. Stockholm : Swedish Forest Industries Federation, 2016. Vol. 1.

Braghieri, N. 2005. *Casas de Madeira.* Madri : Editorial Gustavo Gili, 2005.

Calil Jr, C., Dias, A.A. 1997. Utilização de madeiras em construções rurais. [ed.] Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. set/nov de 1997, Vol. v1, pp. 71-77.

Camargos, J.A., et al. 2001. *Catálogo de Árvores do Brasil.* Brasília : IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2001. p. 896.

Carvalho, A.X.Y., Cajueiro, D.O. e Camargo, R.S. 2015. *Introdução Aos Métodos Estatísticos Para Economia e Finanças.* Brasília : Editora Universidade de Brasília, 2015. p. 360.

Charnet, R., et al. 2008. *Análise de Modelos de Regressão Linear: com Aplicações.* Ed. 2ª. Campinas : Unicamp, 2008. p. 356.

Chudnoff, M. 1981, 1984. *TropicalTimbers of The World.* Madison : U.S. Forest Products Laboratory, 1981, 1984. p. 831.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 463: 1973.
. 1973. 1973.

COPANT 235. 1971. *Recomendación. COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.* [ed.] COPAN. Buenos Aires : s.n., 1971. p. 10.

COPANT 458. 1973. *Sección y colección de muestras. COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.* Buenos Aires : s.n., 1973. p. 12.

COPANT 460. 1972. *Método de determinación de la humedad. COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.* Buenos Aires : s.n., 1972. p. 5.

COPANT 461. 1972. *Método de Determinación del Peso Específico Aparente. COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.* Buenos Aires : s.n., 1972. p. 7.

COPANT 462. 1972. *Método de Determinación de la Contracción. COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.* Buenos Aires : s.n., 1972. p. 5.

COPANT 463. 1973. *Método de Determinación del Cizallamiento Paralelo al Grano. COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.* Buenos Aires : s.n., 1973. p. 7.

COPANT 464. 1972. *Método de Determinación de la Compresión Axil o Paralelo al Grano.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1972. p. 6.

COPANT 465. 1973. *Método de determinación de la dureza.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires. Buenos Aires : s.n., 1973. p. 4.

COPANT 466. 1972. *Método de determinación de la compresión perpendicular al grano.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1972. p. 5.

COPANT 555. 1973. *Método de Ensayo de Flexión Estática.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1973. p. 10.

COPANT 556. 1973. *Método de ensayo de tenacidad.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1973. p. 10.

—. **1973.** *Método de ensayo de tenacidad.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1973. p. 10.

COPANT 741. 1975. *Método de ensayo de resistencia al clivaje.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1975. p. 10.

COPANT 742. 1975. *Método de ensayo de tracción paralela al grano.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1975. p. 10.

—. **1973.** *Método de ensayo de tracción paralela al grano.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1973. p. 10.

COPANT 743. 1973. *Método de ensayo de tracción perpendicular al grano.* COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Buenos Aires : s.n., 1973. p. 10.

Crowley, R. 2016. *Conquistadores - Como Portugal Forjou o Primeiro Império Global.* [trad.] Helena Londres. 1ª. São Paulo : Editora Planeta do Brasil, 2016. p. 419. Título Original: Conquerors.

De Paula, José Humberto Matias de Paula. 2022. *Modelos de Resistência Para Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo.* Brasília : Universidade De Brasília, 2022.

De Paula, José Humberto Matias. 2019. *Modelos de Resistência Para Elementos Estruturais de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica. Qualificação de Tese de Doutorado.* Brasília : Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2019.

—. 2019. *Sobre o Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica. Qualificação de Tese de Doutorado*. Brasília : Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2019.

De PaulaFilho, J.H.M, D’Antimo, M., Charlier,M. 2022. BUILDING LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF AN OFFICE BUILDING CONSIDERING DIFFERENT STRUCTURAL MATERIALS. *XXVIII CONGRESSO C.T.A. FRANCAVILLA AL MARE (CH)*, 2022.

Dias, Antonio Alves, et al. 2019. *Estruturas de Madeira - Projetos, Dimensionamento e Exemplos de Cálculo*. 1ª. Rio de Janeiro : Elsevier, 2019. p. 186.

Eco, Umberto. 2008. *Como Se Faz uma Tese Em Ciências Sociais*. [trad.] Ana Falcão Bastos e Luís Leitão. Ed. 21ª. São Paulo : Perspectiva, 2008.

Esau, K. 1976. *Anatomia das Plantas com Sementes*. [trad.] B. L. Morretes. São Paulo : Edgard Blucher, 1976.

Eurocode 5. 2004. *Eurocode 5: Design of timber structures*. Brussels : European standards, 2004.

Gesualdo, F.A.R. 2003. *Estruturas de Madeira - Notas de Aula*. [ed.] Univesidade Federal de Uberlândia. Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, 2003. p. 105.

Guenther, W.C. 1964. *Analysis of Variance, Englewood Cliffs, N.J.* s.l. : Prentice-Hall, 1964.

Hauke, B., Kuhnhenne, M., Lawson, M., Veljkovic, M. 2016. *Sustainable Steel Buildings: A Practical Guide for Structures and Envelopes*. 1ª Edition. Chichester : Wiley-Blackwell, 2016.

Hiziroglu, Salim. 1990. Dimensional Changes in Wood: F-5009. [ed.] Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. 1990, p. 4.

Honório, H. M. 2022. Canal Pesquisa - Metodologia de Pesquisa e Estatística. *Canal Pesquisa - Metodologia de Pesquisa e Estatística*. [Online] Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo - USP, 2022. [Citado em: 21/08/2022 de Agosto de 2022.] <http://www.canalpesquisa.com.br> e <http://www.youtube.com/canalpesquisa>.

Hoyle, R. J. 1971. *Wood Technology in the Design of Structures*. [ed.] Washington State University. Washington : Pullman, 1971.

IBAMA. 1997. *IBAMA, Madeiras da Amazônia: Caracterização e Utilização - Amazônia Oriental o - Volume 3*. Brasília : Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1997. p. 141. Vol. V.3.

- . 1997. *Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - Amazônia Oriental - o - Volume 3*. [ed.] INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS IBAMA. Brasília : IBAMA, 1997. p. 141. Vol. 3.
- . 1997. *Madeiras da Amazônia: Caracterização e Utilização - Amazônia Oriental*. Brasília : Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Dos Recursos Naturais Renováveis, 1997. p. 141. Vol. V.3.
- IBDF. 1981.** *IBAMA, Madeiras da Amazônia: Caracterização e Utilização - Volume 1*. Brasília : Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal e CNPq, 1981. p. 114. Vol. V.1.
- . 1988. *IBAMA, Madeiras da Amazônia: Caracterização e Utilização - Volume 2*. Brasília : Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1988. p. 236. Vol. V.2.
- . 1988. *Madeiras da Amazônia: Caracterização e Utilização*. Brasília : Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1988. p. 236. Vol. V.2.
- . 1981. *Madeiras da Amazônia: Caracterização e Utilização o - Volume 1*. Brasília : Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal e CNPq, 1981. p. 114. Vol. V.1.
- jamovi. 2022.** *jamovi*. [ed.] jamovi project. Version 2.3.16, Sydney, Australia : jamovi, jamovi project, setembro 2022. The jamovi project statistical platform. jamovi. (Version 2.3.16) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Karlsen, G. G. 1976.** *Wooden Structures*. Moscou : Mir Publishers, 1976. p. 682.
- Laranjeira, J.F.S. 2009.** *Considerações Sobre Análise e Dimensionamento de Estruturas De Madeira Para Habitações Uni E Plurifamiliares. Dissertação de Mestrado*. [ed.] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Departamento de Engenharia Civil. Porto : Universidade do Porto, 2009.
- LPF/IBAMA. 2016.** <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/foreword.htm>. *Laboratório de Produtos Florestais - Serviço Florestal Brasileiro*. [Online] 9 de Novembro de 2016. [Citado em: 26 de Agosto de 2019.] <http://www.florestal.gov.br/laboratorio-de-produtos-florestais>.
- Machado, N.C.C.M. 2006.** *Variação Dimensional da Madeira Devido ao Seu Comportamento Higoscópico. Dissertação de Mestrado*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- Melo, J. E. e Coradin H, V. 1990.** Classes de Densidade Básica para Madeiras da Amazônia Brasileira. *Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro*. 1990, p. 10.

Melo, J. E. e Siqueira, M. J. 1992. Correlação entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras da Amazônia. *Anais do V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira*. 1992, V, pp. p.67-76.

Melo, J.E. 2019. Custo Para Coleta e Caracterização de 50 Espécies de Madeiras do Projeto Curua Una - Santarém e Belterra. [ed.] Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. FAU/UnB. Brasília, DF, Brasil : s.n., 2019. p. 10.

Melo, J.E. 2016. *A Influência da Caracterização Tecnológica Na Resistência e Usos Específicos de Madeiras Tropicais*. [ed.] Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo PPG-FAU/UnB. Ed. 5ª. Brasília : Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-FAU/UnB, 2016. p. 178.

Melo, J.E. e Camargos, J.A.A. 2016. *A Madeira e Seus Usos*. [ed.] Laboratório de Produtos Florestais LPF. Brasília : Serviço Florestal Brasileiro-SFM - Ministério do Meio Ambiente-IBAMA, 2016. p. 204.

Melo, J.E. 2016. *Estruturas em Madeira - Comportamento e Projeto*. [ed.] Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo PPG-FAU/UnB. Brasília : Faculdade de Arquitetura, Universidade de Brasília-UnB, 2016.

—. **2019.** *Estruturas em Madeira - Comportamento e Projeto*. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo PPG-FAU/UnB, Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade. [ed.] PPG-FAU/UnB. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Ed. 5ª. Brasília : Universidade de Brasília-UnB., 2019. p. 312.

Melo, Julio Eustáquio. 2018. *Projeto de Estruturas de Madeira*. [ed.] Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-FAU/UnB. Brasília : Universidade de Brasília, 2018.

Melo, Julio Eustáquio. 2018. *Estruturas em Madeira, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Brasília. Publicação Interna, Brasília*. Brasília : Universidade de Brasília - Publicação Interna, 2018.

Mendenhall, W. 1993. *Beginning Statistic – A to Z*. Belmont : Duxbury Press, 1993.

Montgomery, D.C. e Peck, E. A. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*. Nova York : John Wiley & Sons, 1992.

Morais, C.M. 2005. *Descrição, análise e interpretação de informação quantitativa - Escalas de medida, estatística descritiva e inferência estatística*. [ed.] Escola Superior de Educação. Bragança : Instituto Politécnico de Bragança, 2005.

- Moreira, S. 2008.** *Ponte Pedonal Espiada com tabuleiro de Madeira Modular Pré-esforçado, Relatório de projecto para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas.* Lisboa : Universidade de Lisboa, 2008. Orientador científico: Prof. R. Carneiro de Barros.
- Nascimento, C. C. 1993.** *Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia - Dissertação de Mestrado.* Piracicaba : Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1993. p. 129.
- Noack, D. 1970.** Evaluation Of Properties Of Tropical Timbers. [ed.] IUFRO. 1970, p. 6.
- . **1970.** Evaluation Of Properties Of Tropical Timbers. [ed.] IUFRO. 1970.
- Olorunnisola, Abel O. 2018.** *Design of Structural Elements with Tropical Hardwoods.* Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2018.
- Paula, E. V. C. M., et al. 1986.** *Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Anais.* São Paulo : s.n., 1986. Vol. V. 1.
- Pereira, H. S. 2001.** Cambio en el uso de la tierra Brasil. [ed.] FAO. 2001, p. 18.
- Raposo, Leticia. 2020.** R, Estatística e Aprendizado de Máquina. *Estatística e Aprendizado de Máquina.* [Online] Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro-UNIRIO, 2020. <https://www.youtube.com/c/Let%C3%ADciaRaposo> e <https://leticiaraposo.netlify.app/>.
- Rezende, J.L. e Neves, A.R. 1988.** *Evolução e Contribuição do Setor Florestal Para a Economia Brasileira.* Curitiba : UFPR, 1988. pp. 215-265.
- Rocco Lahr, F.A. 2020.** *Potencial da Madeira no Brasil para Aplicação Estrutural - Workshop sobre Madeira e Estruturas de Madeiras.* [ed.] Universidade Federal de Rondônia. [prod.] Departamento de Engenharia Civil. Porto Velho, Mato Grosso do Sul, Brasil : s.n., 25 de maio de 2020.
- Shimakura, S. 2006.** *Associação, correlação e regressão.* [ed.] UFPR. Curitiba, PR, Brasil : s.n., 2006. Associação, correlação e regressão.
- . **2005.** Associação, Correlação e Regressão. [Online] 2005. <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/>.
- SS-EN 1995-1-1. 2004.** *Design of timber structures – Eurocode 5 Part 1–1 : General – Common rules and rules for buildings.* s.l. : Eurocode, 2004.

Wangarrd, F. F. 1981. *Wood: Its Structure and Properties*, 1981. 465p. [ed.] Forest Products Laboratory. Pennsylvania State University United State Department of Agriculture. State College : s.n., 1981. p. 465.

Wood Handbook. 2002. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison : Forest Products Laboratory: United States Department of Agriculture, 2002.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ANSCOMBE, F.J & TURKEY, J. M. The Examination and Analysis of Residuals, Technometrics, 5.Ed, 1963

BESSA, Marco Aurélio Souza (2018). Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Madeira Seca. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 163p.

Borgström, E. Design of Timber Structures, Structural Aspects of Timber Construction, Volume 1. Swedish Forest Industries Federation and Swedish Wood, Edition 2, Stockholm, 2016.

BURGER, L. M. & RICHTER, H. G. Anatomia da Madeira. Nobel, São Paulo, 1991.

CHARNET, REINALDO; FREIRE, C.A.L; CHARNET, E. M. R & BONVINO, HELOÍSA. Análise de Modelos de Regressão Linear com Aplicações. Editora Unicamp, 2Ed, 2008

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 458: 1972. Sección y colección de muestras. Buenos Aires. 1973. 12p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 460: 1972. Método de determinación de la humedad. Buenos Aires. 1973. 5p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 461: 1972. Método de Determinación del Peso Específico Aparente. Buenos Aires. 1972. 7p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 462: 1972. Método de Determinación de la Contracción. Buenos Aires. 1972. 5p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 463: 1973. Método de Determinación del Cizallamiento Paralelo al Grano. Buenos Aires. 1973. 7p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 464: 1972. Método de Determinación de la Compresión Axil o Paralelo al Grano. Buenos Aires. 1972. 6p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 465: 1972. Método de determinación de la dureza. Buenos Aires. 1973. 4p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 466: 1972. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. Buenos Aires. 1973. 5p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 555: 1973. Método de Ensayo de Flexión Estática. Buenos Aires. 1973. 10p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 556: 1973. Método de ensayo de tenacidad. Buenos Aires. 1973. 10p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 741: 1975. Método de ensayo de resistencia al clivaje. Buenos Aires. 1973. 10p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 742: 1975. Método de ensayo de tracción paralela al grano. Buenos Aires. 1973. 10p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 743: 1975. Método de ensayo de tracción perpendicular al grano. Buenos Aires. 1973. 10p.

CORADIN, V. T. R. Noções sobre identificação de madeiras. Brasília-DF, 1990. Laboratório de Produtos Florestais- IBAMA (Apostila).

DE PAULA, J. H. M. Projeto e Construção de Edifícios de Aço – Método dos Estados Limites (LRFD). 5ª Edição. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Publicação Interna, Brasília, 2017

DIAS, A. A. [et al.]. Estruturas de Madeira: Projetos, Dimensionamento e Exemplos de Cálculos, 1ª Edição. Elsevier, Rio de Janeiro, 2019.

ESAU, K. Anatomia das Plantas com Sementes; Trad. Morretes, B. L. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 1976

GALVÃO, A. P. M. Estimativa de Umidade de Equilíbrio da Madeira em diferentes Cidades do Brasil. ESALQ / USP. Piracicaba, SP. s.d.

HOYLE, R. J. Wood Technology in the Design of Structures. College of Engineering. Washington State University. Pullman, Washington, 1971

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – Catálogo de Árvores do Brasil, Brasília – DF, 1996. 887 p.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - V.3 – Amazônia oriental, Brasília – DF, 1997. 141 p. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>

IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - V.1, CNPq, Brasília – DF, 1981. 114p. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>

IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - V.2, Brasília – DF, 1988. 236 p. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>

JARA, E. P. Determinação do ponto de saturação das fibras de madeiras utilizadas no Brasil. Boletim ABPM 58. São Paulo. 1987. 6p.

BRAGHIERI, N., Casas de Madeira, Editorial Gustavo Gili. SA, 2005

MOREIRA, S., Ponte Pedonal Espiada com tabuleiro de Madeira Modular Pré-esforçado, Relatório de projecto para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, orientador científico: Prof. R. Carneiro de Barros, FEUP, 2008

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Peru. Lima, 1982

LAHR, Francisco Antônio Rocco; Martins, Gisele Cristina Antunes; Jr, Carlito Calil; Dias, Antonio Alves. Estruturas de madeira (Locais do Kindle 99-100). Elsevier Editora Ltda. Edição do Kindle.

Lahr, Francisco Antônio Rocco; Martins, Gisele Cristina Antunes; Jr, Carlito Calil; Dias, Antonio Alves. Estruturas de madeira (Locais do Kindle 5337-5339). Elsevier Editora Ltda. Edição do Kindle.

LARANJEIRA, J.F.S., Considerações Sobre Análise E Dimensionamento De Estruturas De Madeira Para Habitações Uni E Plurifamiliares. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

LISBOA, C. D. J; MATOS, J. L. M; MELO, J. E. Amostragem e Propriedades Físico-mecânicas de Madeiras da Amazônia. Coleção Meio Ambiente – Floresta, nº 1. Brasília: IBAMA, 1993.

MADSEN, B. Structural Behaviour of Timber. Publicado por Timber engineering Ltd. Canada, 1992.

MELO, J. E. Estruturas de Madeira. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Publicação Interna, Brasília, 2014

MELO, J. E.; CAMARGOS. J. A. A. A Madeira e seus Usos. ISBN 978-85-912590-0-7, 2016.

MELO, J. E.; CORADIN; V. H. Classes de Densidade Básica para Madeiras da Amazônia Brasileira. Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro, 1990. 10 p

MELO, J. E.; SIQUEIRA, M. J. Correlação entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras da Amazônia. In: V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, São Carlos, SP, 1992. Anais. São Carlos, USP, p.67-76.

MENDENHALL, W. Beginning Statistic – A to Z, Belmont, CA: Duxbury Press, 1993.

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E. A. Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons, Nova York, 1992

NOACK, D. Evaluation of properties of tropical timbers. Hamburgo. IUFRO, 1970

OLORUNNISOLA, A. O. Design of Structural Elements with Tropical Hardwoods. Springer International Publishing, New York, 2018.

PADT-REFORT. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Peru: Junta Del Acuerdo de Cartagena. 1982. 470p.

PEREIRA, H. dos S. Cambio en el uso de la tierra Brasil. FAO. Santiago, Chile, 2001, 18p.

PRANCE, G. T. The taxonomy and phytogeography of the Chrysobalanaceae of the Atlantic coastal forest of Brazil. Revista Brasileira de Botânica v.2, 2000

Rezende, J.L.; Neves, A.R. Evolução e contribuição do setor florestal para a economia brasileira. In: Simpósio Bilateral Brasil – Finlândia sobre Atualidades Florestais, 1. Anais. Curitiba: UFPR, p. 215-265. 1988.

SHIMAKURA, S. Associação, correlação e regressão Departamento de Estatística da UFPR. <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/>

WANGAARD, F. F. WOOD: Its Structure and Properties. U. S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. Pennsylvania State University, 1981. 465p.

WOOD HANDBOOK: Wood as an Engineering Material. Forest products Laboratory. United States Department of Agriculture. Madison, USA, 2002

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

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

ASTM - AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION - AITC. Volume Factor for Structural Glue Laminated Timber. AITC Technical Note 21. USA. 2005. 4p.

ASTM - AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. ASTM D-143:1972. Standard Methods Testing: Small Clear Specimens of Timber. USA. 1972. 57p.

ASTM - AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. ASTM D-198:1973. Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. USA. 1984. 52p.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e Mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

Bastos. N.R.O.,

<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/malva/MetodosElectro/Regress%C3%A3o.pdf>.

BODIG, J. & JAYNE, B. A. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company. New York, 1982.

BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BS 5820/79 - Methods of Test for Determination of Certain Physical and Mechanical Properties of Timber in Structural Size. UK, London, 1979. 20p.

BUSSAB, W. O. Estatística Básica, 5ª ed., Saraiva, São Paulo, 2003.

CASTRO NETO, J. L.; GOMES, R. S. - Análise de Risco e Crédito – Curitiba: IESDE Brasil S.A.,2009.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 235: 1971. Recomendación. Buenos Aires. 1973. 10p.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 459: 1972. Acondicionamiento de las Maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos. Buenos Aires. 1972. 5p.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 744: 1975. Método de extracción de clavos. Buenos Aires. 1973. 10p.

DIAS, F. M; LAHR, F. A. R. Estimativa das propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. IPEF, Revista Scientia Forestalis, N. 65, p. 102-113, jun, 2004.

Fusco, P. B., Junior, C. C., Almeida, P.A. Norma de Projeto de Estruturas de Madeira. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP-BT/PEF/9602. São Paulo, 1996.

GESUALDO, F. R. Estruturas de Madeira – Notas de Aula. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Publicação Interna, 2003.

<https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>

LOGSDON, N. B. & Junior, C. C. Influência da Umidade nas Propriedades de Resistência e Rigidez da madeira. Caderno de engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 18, p. 77-107 2002. 30p.

Melo, J. E. Estruturas em Madeira, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Brasília. Publicação Interna, Brasília, 2016.

NASCIMENTO, C. C. Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia. 129 f. (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1993.

Neves, O.R.; Camisasca, M.M. Aço Brasil: Uma Viagem Pela Indústria do Aço. Editora Belo Horizonte-Escritório de Histórias. Belo Horizonte, 2013.

OLORUNNISOLA, A. O. Design of Structural Elements with Tropical Hardwoods. Springer International Publishing, New York, 2018.

OLIVEIRA, V. M.; Del Menezzi, C.H.S.; Camargos, J.A.A.; Vale, A.T. Adequação às Normas e Qualidade da Madeira Serrada Para Fins Estruturais Comercializadas no Distrito Federal. Floresta, v. 38, nº 3, Curitiba, PR, jul./set. 2008.

PAULA, E. V. C. M.; CABRAL, M. T. F. D.; NASCIMENTO, C. C.; ROCHA, J. S. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. In: ENCONTRO

BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1986, São Paulo. Anais. São Paulo, 1986. 1 v.

Pfeil, W. & Pfeil, M.S. Estruturas de Madeira. Livros Técnicos e Científicos. 6ª Edição. Rio de Janeiro, 2003.

10 ANEXOS E APÊNDICES

10.1 ANEXO A1: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pelo Nome Científico- Madeira Verde

Legenda do cabeçalho da tabela:

Textura: (f-Fina, m-média, g-grossa, mg-média a grossa, mf-média a fina)

Grã: (d-direita, r-reversa, i-irregular, in-inclinada, o-ondulada)

CT - Contração tangencial

CR - Contração radial

CV - Contração volumétrica

Db - Densidade básica

Dap. - Densidade aparente a 12% de teor de umidade

Dv - Densidade verde (saturado em água)

MOE - Módulo de elasticidade na flexão

MOR - Tensão de ruptura na flexão

CPA - Tensão de ruptura na compressão paralela às fibras

CPE - Tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras

CIS - Tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras

DE- Dureza Janka paralela às fibras

DF - Dureza Janka perpendicular às fibras

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Acacia polyphylla</i>	Espinheiro-preto	m	d	am	10.1	4.9	14.0	0.60	0.74	1.20	11400	77.0	30.9	4.6	10.1	3230	3250	4.9	540
<i>Acioa edulis</i>	Castanha-de-cutia	m	r	ma	10.3	8.0	17.5	0.82	1.04	1.23	13700	102.9	48.7	11.9	10.2	8970	9180	4.3	620
<i>Acioa sp.</i>	Castanha-de-cutia	m	o	ma	9.7	5.3	15.1	0.79	0.97	1.20	12600	116.1	52.6	12.5	13.2	9510	9350	5.7	520
<i>Alexa grandiflora</i>	Melancieira	mg	o	br	9.9	4.7	14.5	0.60	0.79	1.17	9800	69.6	34.8	8.6	8.5	5230	5290	4.6	
<i>Allantoma lineata</i>	Seru	f	i	ci	7.5	5.5	11.6	0.60	0.75	1.21	10200	66.1	28.9	5.4	8.1	4230	4430	3.4	490
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira	g	r	am	5.4	2.9	8.2	0.47	0.57	1.13	8700	54.4	25.7	4.2	7.8	3310	3400	2.8	390
<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.7	8.5	0.38	0.49	1.04	8200	34.3	17.8	2.2	6.1	2450	1960	2.4	320
<i>Anacardium microcarpum</i>	Cajuaçu	f	d	ci	6.1	3.5	9.7	0.42	0.46	1.10	7100	36.9	19.8	2.5	6.7	2880	2460	2.3	360
<i>Anacardium parvifolium</i>	Cajuaçu	m	r	ci	5.4	3.3	8.6	0.44	0.54	1.13	9000	44.2	22.6	3.0	6.8	2850	2330	3.1	330
<i>Anacardium spruceanum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.9	9.4	0.42	0.52	1.04	8400	44.6	21.1	3.0	6.2	2770	2240	2.9	
<i>Anacardium tenuifolium</i>	Cajuí	m	d	ci	4.9	3.1	8.7	0.43	0.52	1.13	7800	34.7	19.8	2.7	6.4	3090	2560	2.2	330
<i>Andira retusa</i>	Andirá-uxi	g	r	ma	7.9	5.6	12.5	0.67	0.70	1.18	11000	86.1	44.3	7.3	10.8	7300	7530	4.7	630
<i>Andira sp.</i>	Angelim-tinto	g	r	ma	9.5		14.3	0.67	0.90	1.22	12600	89.2	45.5	7.2	9.1	5340	5620	4.6	600
<i>Aniba canelilla</i>	Preciosa	m	in	pr	8.2	6.4	13.6	0.92	1.19	1.30	16400	139.4	74.9	14.7	14.9	12250	12750	5.9	900
<i>Apeiba echinata</i>	Pente-de-macaco	mg	d	ci	6.5	2.3	9.3	0.36	0.44	0.78	5800	42.3	20.4	3.0	4.8	2860	2140	2.7	
<i>Apuleia molaris</i>	Garapeira	m	r	ma	10.1	6.5	15.9	0.75	0.88	1.25	11600	92.2	43.2	13.5	11.2	6380	7200	4.8	620
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	Aracanga	m	r	la	9.0	5.8	14.5	0.69	0.82	1.22	12900	93.7	48.0	7.6	11.2	7080	6960	5.2	710
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Peroba-mico	f	r	ma	6.2	4.4	11.5	0.65	0.78	1.11	13600	98.6	52.2	9.2	12.2	7290	6110	3.7	
<i>Astronium gracile</i>	Muiracatiara	m	r	ma	8.0	5.3	11.9	0.73	0.93	1.14	13800	90.6	49.0	7.7	11.3	5830	6850		700
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.6	4.6	11.9	0.79	1.00	1.19	13200	104.2	52.3	9.9	13.7	8010	9060	5.3	750
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.2	4.1	11.0	0.75	0.94		11500	102.6	53.1	11.3	10.0	6720	6840	6.9	
<i>Astronium ulei</i>	Muiracatiara	m	in	ma	8.1	4.3	12.2	0.71	0.91	1.06	13200	89.2	45.9	6.1	14.7	6490	7060	4.4	610
<i>Beilschmiedia brasiliensis</i>	Louro	m	i	ma	9.4	6.2	14.3	0.59	0.73	1.14	11800	60.8	27.2	4.8	7.8	3490	3380	3.4	410
<i>Bixa arborea</i>	Urucu-da-mata	m	d	ma	6.0	2.6	9.1	0.32	0.39	0.88	6500	45.3	22.1	2.4	5.2	2840	1540	2.1	
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r		8.5	5.8	14.2	0.74	0.96	1.20	15900	114.5	62.2	9.6	13.7	9920	9860	3.6	670
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	9.0	6.0	14.7	0.85	0.96	1.22	16400	136.9	74.6	10.1	14.9	12030	12660	6.4	780
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	7.4	4.5	12.3	0.77	0.98		11400	115.9	56.6	13.5	11.9	9710	9700	5.9	
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r	ma	7.8	4.8	12.6	0.55	0.70	1.06	10000	67.2	31.1	4.5	7.2	4460	4150	3.9	600
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r		9.1	5.0	14.1	0.67	0.91	1.18	11100	93.7	43.8	7.2	10.8	4460	4150	3.3	
<i>Brosimum alicastrum</i>	Janitá	m	d	ma	9.4	5.6	16.0	0.74	0.99	1.23	13700	97.1	44.5	6.5	11.1	6870	6930	3.8	570
<i>Brosimum parinarioides</i>	Amapá-doce	m	r	ma	7.7	4.5	12.6	0.57	0.73	1.13	9000	68.8	34.3	5.5	8.0	4940	4500	3.9	
<i>Brosimum potabile</i>	Amapá-doce	m	r	ma	6.8	4.1	11.9	0.53	0.67	1.13	8900	67.9	32.5	4.1	7.6	4640	4320	3.6	
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Condu	m	r	ve	8.1	5.3	12.0	0.71	0.81	1.24	14300	104.8	46.9	6.3	12.6	7180	6940	4.0	630
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Condu	m	r	ve	7.8	5.3	13.2	0.73	0.94		13000	106.3	52.8	11.9	11.4	7790	7160	4.1	
<i>Brosimum utile</i>	Garrote	m	r	ma	7.7	4.8	12.0	0.47	0.58	1.12	9300	51.1	24.4	2.8	6.8	3090	2750	2.5	340
<i>Buchenavia capitata</i>	Tanibuca	m	r	ol	11.6	5.9	16.7	0.70	0.84	1.26	11500	82.7	40.8	10.0	10.3	5010	4650	4.0	630
<i>Buchenavia cf. viridiflora</i>	Tanibuca	m	o	ol	9.3	5.7	11.2	0.67	0.88	1.19	11200	97.4	44.6	11.0	13.2	8240	7240		530
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Buchenavia grandis</i>	Tanibuca	m	r	ol	7.4	4.7	12.2	0.72	0.89	1.22	10600	90.1	43.7	8.7	11.0	7760	7550	5.1	590
<i>Buchenavia huberi</i>	Cuiarana	mf	d	ol	9.1	6.0	14.7	0.79	1.04	1.24	13200	103.5	53.8	10.5	10.6	9560	9830	5.9	
<i>Buchenavia sp.</i>	Tanibuca	m	o	ol	7.4	3.9	12.7	0.72	0.86	1.19	12200	99.9	47.8	9.6	11.6	7850	7540	4.1	600
<i>Callophyllum brasiliense</i>	Jacareúba	m	r	ma	8.4	5.4	13	0.54	0.69		6900	55.9	28.5	5.5	7.3	4550	3640	4.4	
<i>Caraipa densiflora</i>	Tamaquaré	m	i		9.9	6.5	15.6	0.63	0.77	1.21	12700	80.6	36.7	4.7	9.6	5060	4680	3.8	560
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	7.0	4.5	11.8	0.56	0.71		9100	72.9	37.0	6.7	8.8	5360	4650	5.2	
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	8.1	4.4	12.6	0.59	0.76	1.03	9500	75.2	37.0	5.6	9.6	5830	5260	5.0	
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitibá-rosa	m	d	ma	8.1	5.1	14.0	0.58	0.68	1.06	10749	74.7	36.1	6.2	9.2				
<i>Caryocar glabrum</i>	Pequiarana	m	r	am	8.7	4.0	11.9	0.61	0.78	1.16	13200	80.4	33.6	6.7	10.3	5530	5970	4.0	680
<i>Caryocar sp.</i>	Pequiá	m	r		8.1	5.0	13.2	0.60	0.77		8600	74.1	38.9	9.3	10.2	5600	5910	6.4	
<i>Caryocar villosum</i>	Pequiá	m	r	ci	8.5	4.3	12.6	0.63	0.78	1.17	10000	74.3	32.2	9.1	10.3	3720	3920	5.5	640
<i>Cassia fastuosa</i>	Canafistula	mg	r	ma	9.1	6.2	15.3	0.71	0.87	1.22	12700	102.5	49.2	10.8	13.6	8840	8810	5.1	590
<i>Cassia scleroxylon</i>	Muirapixuna	m	i	pr	8.2	3.6	11.5	1.01	1.28	1.34	14800	130.5	77.1	23.5	16.9	10790	12430	3.8	880
<i>Castilla ulei</i>	Caucho	m	r	br	10.5	5.2	16.1	0.39	0.47	1.07	7400	35.3	18.5	1.8	4.8	1460	1050	2.1	260
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	g	d	ro	12.1	9.1	20.8	0.39	0.47	1.06	8400	44.8	22.9	2.3	6.3	2870	2680	3.0	400
<i>Cedrela sp.</i>	Cedro	g	d	ro	6.2	4.4	9.6	0.43	0.53		7300	50.2	26.0	3.8	6.0	3550	2550	3.6	
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedrorana	g	d	ci	8.0	4.1	11.6	0.45	0.56	1.10	10800	55.5	27.2	2.7	7.7	3850	3640	3.3	440
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumaúma	m	d	ci	5.5	2.7	9.3	0.29	0.36	1.01	4300	26.9	12.8	1.6	3.0	1490	1330	1.8	
<i>Chysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.4	6.3	15.2	0.75	0.90	1.22	14100	112.5	54.1	8.5	11.9	9030	9140	4.5	640
<i>Chysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.1	5.7	14.4	0.73	0.96	1.25	13900	100.8	49.7	11.4	12.0	8210	8400	5.3	760
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba/Oiticica	m	r	am	7.1	3.7	9.6	0.56	0.66	1.17	11200	79.3	38.8	7.5	8.8	5770	5460	4.2	570
<i>Copaifera duckei</i>	Copaíba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.62	0.79	1.11	11300	75.3	35.0	6.5	9.1	5380	5430	4.4	
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaíba	m	d	ma	6.7	3.6	11.4	0.50	0.63	1.10	11100	67.8	30.7	3.6	8.7	4190	3470	3.6	460
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaíba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.62	0.79	1.11	11300	75.3	35.0	6.5	9.1	5380	5430	4.4	
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.5	4.9	12.7	0.56	0.72	1.16	9800	69.3	28.8	4.0	9.3	4620	4570	3.1	410
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	6.8	3.9	10.3	0.47	0.62		11400	58.3	25.2	3.3	7.6	3010	2890	3.8	520
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.7	3.9	10.3	0.46	0.58		6900	50.7	26.0	4.8	6.3	2930	2930	3.7	
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	m	d	br	11.7	6.3	18.0	0.49	0.67	1.10	9600	56.1	27.7	3.0	5.9	3690	3430	2.8	
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	m	i	ci	6.6	4.1	10.6	0.48	0.60	0.92	8500	65.0	32.8	3.4	6.8	4180	3600	3.5	
<i>Cordia sagotii</i>	Freijó	m	d	ci	7.7	3.8	11.3	0.50	0.63	0.92	9700	66.8	33.0	4.2	6.2	3920	3660	2.6	
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8.1	4.5	11.4	0.50	0.63		8500	63.3	31.5	3.4	6.9	4220	3650	2.9	
<i>Couepia robusta</i>	Castanha-de-cutia	m	i	ma	11.0	5.8	15.7	0.83	1.03	1.21	13300	104.1	47.9	12.3	10.9	9840	10800	2.6	530
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	m	d	ci	6.1	3.6	10.4	0.52	0.65	1.11	9400	68.5	32.4	5.8	8.3	4810	4290	5.2	
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.6	4.2	11	0.50	0.63	1.13	10200	64.9	29.8	4.0	8.9	3990	3720	4.6	550
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.1	3.6	10.4	0.49	0.61	1.09	9500	58.9	27.7	4.6	6.9	3800	3560	3.3	
<i>Couratari stellata</i>	Tauari	m	d	am	7.8	5.8	13.4	0.65	0.84	1.13	13400	99.0	45.4	8.3	9.8	6950	6790	5.4	
<i>Dacryodes spp.</i>	Breu-branco	m	r	ma	6.5	4.5	11.6	0.51	0.59	1.04	9300	60.1	29.0	5.0	8.4	4460	3680	4.0	490
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Dialium guianense</i>	Jutaípeba	f	r	ma	9.2	5.0	13.7	0.85	1.02	1.28	13400	107.2	55.9	17.9	15.0	12210	12240	6.2	890
<i>Dichlanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10.1	3.2	13.6	0.47	0.61	1.07	9000	64.9	27.5	3.8	6.1	3270	3250	3.1	
<i>Dicorynia paraensis</i>	Angélica-do-pará	g	r	ci	7.2	3.6	11.5	0.45	0.58	1.09	7700	54.6	25.2	4.4	7.3	4280	3860	3.3	410
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim-vermelho	m	r	ma	9.5	5.7	14.5	0.83	1.09	1.26	15300	122.0	61.5	10.5	13.4	10190	11080	5.3	750
<i>Diploon venezuelana</i>	Abiurana	f	d	ma	10.1	7.1	15.7	0.85	1.13	1.20	14900	118.8	57.1	16.3	12.8	9120	9490	5.4	860
<i>Diplostropis purpurea</i>	Sucupira-da-terra-firme	m	r	ma	8.8	6.7	15.6	0.74	0.90	1.19	16800	113.5	56.8	10.2	13.2	7940	7820	3.5	760
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú	m	r	am	8.4	5.4	13.5	0.91	1.07	1.28	16200	136.4	69.3	16.0	16.9	12920	13930	6.4	930
<i>Drypetes variabilis</i>	Pau-branco	f	r	ol	11.3	5.8	15.9	0.71	0.95	1.24	12900	94.2	41.8	7.7	11.0	8010	7620	4.7	700
<i>Endopleura uchi</i>	Uchi-liso	m	d	ma	9.6	6.4	15.6	0.78	1.04	1.18	14600	116.3	55.6	8.0	13.9	9540	9120	5.5	580
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.6	2.3	6.8	0.42	0.50	1.05	7900	56.9	29.0	5.9	6.1	3390	2970	2.7	340
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.5	2.4	6.7	0.37	0.44	1.05	7300	44.2	20.2	2.6	7.2	3110	2750	3.0	
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Sucupira amarela	mg	r	am	9.3	4.2	12.7	0.84	1.08	1.21	14900	117.9	58.1	14.2	15.4	8840	9860	6.4	780
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Munguba-grande-da-terr	m	i	ma	9.8	4.5	14.9	0.45	0.59	1.08	8000	48.8	22.8	3.4	5.3	2950	2720	2.2	
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	10.0	4.3	13.4	0.46	0.59	1.11	9200	59.3	27.5	3.1	7.3	3580	2820	2.7	370
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	8.7	3.6	12.9	0.48	0.62	1.10	8700	59.0	30.0	3.3	6.1	3840	3240	2.7	370
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	11	4.3	14.9	0.69	0.91	1.21	12500	88.5	38.3	12.0	10.3	7140	7440		470
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	9.7	5.6	16.4	0.73	0.98	1.24	13200	102.9	43.3	10.3	9.5	7570	8540	4.0	540
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamatá	m	d	ol	8.0	4.6	14.9	0.76	0.85	1.24	13400	95.6	44.6	8.3	8.8	7460	8040	2.8	510
<i>Eschweilera longipes</i>	Matamatá	m	d	ol	9.6	5.6	14.5	0.69	0.98	1.20	13400	104.7	47.6	8.2	9.5	6420	6830	3.6	530
<i>Eschweilera sp.</i>	Matamatá	m	d	ol	10.7	6.0	16.1	0.81	1.08	1.26	16000	120.4	58.1	10.7	12.1	10540	11870	7.0	680
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	7.8	6.5	13.1	0.69	0.89	1.20	12400	99.8	47.2	9.8	12.6	7800	8000	4.6	590
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	6.1	4.5	11.1	0.68	0.81	1.20	9400	94.9	41.8	9.6	11.8	7420	6650	6.2	
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	m	r	br	9.7	5.0	14.1	0.36	0.45	1.09	6400	37.5	19.4	2.3	4.8	1240	860	2.3	280
<i>Glycydendron amazonicum</i>	Glícia	m	o	ro	7.6	4.9	12.0	0.66	0.84	1.11	12500	80.3	39.9	5.1	9.5	5690	5390	4.4	470
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r	ma	8.9	5.0	13.1	0.71	0.88	1.17	11800	92.1	47.1	9.3	12.1	7510	7050	5.2	690
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r		8.4	4.5	13.2	0.71	0.92	1.13	11700	91.6	48.5	9.4	12.5	7780	7470	6.6	730
<i>Guatteria olivacea</i>	Envira-preta	m	d	ol	9.3	4.4	13.0	0.51	0.85	1.11	10200	57.5	26.4	4.7	8.3	4030	3230	3.5	430
<i>Guatteria procera</i>	Envira-preta	mg	d	ol	11.4	7.2	18.5	0.65	0.89	1.17	14800	80.4	37.1	4.4	8.8	4990	4880		460
<i>Hura creptans</i>	Açacu	m	r	br	5.2	3.7	7.5	0.39	0.48	1.08	6500	34.8	16.1	2.6	5.6	2120	1760	2.4	300
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	m	in	ma	7.7	3.4	11.4	0.76	0.96	1.24	14600	109.3	55.9	10.1	14.8	9020	9650	6.9	880
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jatobá/Jutai-mirim	m	in	ve	9.7	3.7	13.4	0.90	1.16	1.30	15700	122.5	61.3	16.0	17.2	10570	12220	7.7	980
<i>Hymenolobium cf. pulcherr</i>	Angelim-pedra	g	r	ro	9.0	5.4	13.6	0.60	0.71	1.17	11200	89.5	43.6	5.6	8.9	4980	4870	3.1	510
<i>Hymenolobium modestum</i>	Angelim-pedra	g	r	ve	7.7	4.6	13.5	0.65	0.84	1.19	12800	93.1	44.1	6.8	11.2	6200	6380	4.1	570
<i>Hymenolobium nitidum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	7.2	4.3	11.8	0.55	0.69	1.16	10100	65.8	34.1	5.4	8.9	4680	4380	3.7	490
<i>Hymenolobium petraeun</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	6.3	4.1	10.1	0.59	0.71	1.19	9600	72.0	38.8	6.5	10.2	5430	5150	4.3	
<i>Hymenolobium sp.</i>	Angelim-da-mata	g	r	ma	7.2	3.7	9.9	0.60	0.72	1.20	10800	82.2	38.8	5.5	10.1	5270	4940	4.4	650
<i>Inga alba</i>	Ingá	mg	o	ma	9.6	4.0	13.3	0.62	0.80	1.17	11500	81.1	38.3	5.7	11.6	5920	5620	4.3	630
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Inga paraensis</i>	Ingá/Ingarana	mg	in	ma	10.7	5.3	15.9	0.82	1.09	1.26	14600	121.4	52.0	9.6	15.3	10990	11480		1010
<i>Inga sp.</i>	Ingarana	mg	in	ma	9.6	4.1	12.0	0.58	0.74	1.17	13500	117.0	46.6	10.6	13.9	9790	9100	6.7	830
<i>Iryanthera grandis</i>	Ucuubarana	mf	d	ma	8.7	5.4	13.5	0.63	0.82	1.12	10900	73.9	36.0	5.4	8.1	4140	4400	4.2	
<i>Jacaranda copaia</i>	Paraparã	m	d	br	8.2	5.4	13.9	0.31	0.40	0.84	7100	34.6	15.7	1.5	4.0	2030	1400	1.7	
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha-de-arara	mg	d	ci	6.1	2.8	9.8	0.39	0.48	1.03	6900	40.3	20.5	2.3	5.3	2490	2020	2.7	
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	11.3	5.4	17.2	0.68	0.84	1.16	14100	79.9	37.4	6.3	8.8	6410	5730	7.0	700
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	12.0	5.1	17.1	0.68	0.92	1.20	12900	75.5	36.9	5.9	12.4	6520	5830	5.9	
<i>Lecythis idatinon</i>	Matamatá-vermelho	m	in	ma	10.3	4.9	15.3	0.76	1.00	1.26	12800	99.8	50.3	9.7	12.1	8000	8800	4.1	680
<i>Lecythis pisonis</i>	Castanha-sapucaia	m	r	ve	8.0	5.6	13.9	0.84	1.09	1.25	14700	114.1	54.6	11.9	14.9	9160	10960	5.3	670
<i>Licania gracilipes</i>	Caraiperana	m	i	ci	12.5	5.5	18.1	0.82	1.02	1.23	13900	102.7	45.6	10.8	10.8	9540	10110	3.8	630
<i>Licania oblongifolia</i>	Mucucurana	m	r	ci	11.7	5.9	19.6	0.83	0.94	1.24	13400	96.3	46.8	10.4	11.3	9910	9670	4.1	500
<i>Licania octandra</i>	Caraipé	m	d	ci	11.9	6.1	17.4	0.77	1.04	1.25	13800	94.6	46.0	6.7	10.3	8310	8370	3.1	500
<i>Licaria rigida</i>	Louro/Louro-amarelo	m	in	am	9.1	5.3	13.5	0.73	0.95	1.11	14100	99.4	53.4	6.3	12.3	7550	7030	3.7	630
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.5	4.6	13.3	0.62	0.80	1.14	12500	82.3	35.3	5.9	9.3	5770	5500	3.9	600
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.3	4.7	13.7	0.64	0.83	1.12	12200	81.4	38.2	6.2	8.4	6080	6000	3.8	
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	m	r	la	5.9	3.2	9.4	0.73	0.91	1.22	11300	89.9	53.1	15.1	11.0	7160	7790	5.2	630
<i>Macarobium acacifolium</i>	Arapari	m	i	ma	6.4	2.9	10.0	0.54	0.63	1.16	7300	58.7	28.1	5.8	8.5	5050	4950	3.4	430
<i>Macarobium sp.</i>	Araparirana	m	in	ma	8.8	3.7	11.9	0.53	0.64	1.15	9100	63.4	25.7	5.5	8.8	4580	4760	4.0	420
<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	Ingá-de-porco	m	r	ma	7.6	4.3	11.0	0.49	0.61	1.15	10300	63.9	29.6	4.3	8.6	3920	4310	3.6	450
<i>Malouetia duckei</i>	Sorva	f	i	ci	9.2	3.7	12.7	0.57	0.73	1.15	10800	70.0	32.4	4.2	8.6	4670	4060	4.5	670
<i>Manilkara bidentata</i>	Maparajuba/Maçarandubá	f	d	ma	8.3	5.9	13.8	0.83	1.08	1.26	12600	108.1	53.9	12.7	12.9	6690	7810	6.0	670
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.3	7.1	16.4	0.87	1.07	1.27	15400	127.2	68.3	16.8	12.5	10880	11180	3.5	870
<i>Manilkara sp.</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.4	6.7	15.0	0.89	1.17		12000	125.3	59.1	14.9	12.0	10460	10320	5.3	
<i>Maquira sclerophylla</i>	Muiratinga	m	i	br	9.4	4.2	13.7	0.57	0.74	1.09	10400	76.8	37.0	5.6	8.9	5600	5180	5.0	
<i>Marmaroxylon racemosum</i>	Angelim-rajado	m	d	am	9.3	5.9	15.2	0.79	0.99	1.26	13900	104.3	52.2	11.5	12.5	9560	10270	4.3	
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	6.8	3.0	10.1	0.68	0.85		9800	85.0	39.8	9.0	9.3	4740	5600	5.8	
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	7.9	2.6	10.5	0.70	0.88	1.14	10600	87.3	42.1	9.5	10.0	5450	5880	5.5	
<i>Mezilaurus lindaviana</i>	Itaúba	mg	i	ol	8.3	3.3	11.6	0.68	0.86	1.09	10400	75.5	36.5	8.9	8.5	4300	4380	4.6	
<i>Micrandra minor</i>	Cauchorana	m	d	ma	7.4	2.5	9.8	0.41	0.48	0.99	9500	51.7	22.2	2.7	6.0	2950	2260	3.5	470
<i>Micrandra rossiana</i>	Seringarana	f	d	ma	9.0	5.2	13.8	0.67	0.81	1.19	12000	77.1	34.7	5.0	10.3	5790	5720	4.6	500
<i>Micropholis guianensis</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	11.2	6.6	16.6	0.67	0.90	1.19	12300	87.7	36.6	5.9	9.3	6770	6140	2.5	550
<i>Micropholis mensalis</i>	Abiurana-branca	f	i	ma	9.6	5.2	14.7	0.60	0.74	1.11	12800	80.5	34.9	4.7	9.7	5270	4780	4.9	560
<i>Micropholis venulosa</i>	Rosadinho	f	i	ma	9.7	4.7	14.0	0.67	0.87	1.21	13000	80.4	41.3	6.6	10.8	6450	5820	4.0	650
<i>Mouriri callocarpa</i>	Miraúba	f	i	ol	11.1	7.1	17.4	0.88	1.09	1.28	14400	117.7	59.4	12.2	12.7	11320	11580	3.7	660
<i>Myrcarpus frondosus</i>	Cabreúva-parda	m	i	ma	7.0	4.4	11.3	0.78	0.92	1.18	13800	125.7	63.9	12.2	14.8	11390	10770	5.1	750
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro-tamanco	m	r	am	6.0	4.0	9.1	0.40	0.46	0.82	7600	44.2	26.7	3.6	7.9	3310	3080	2.8	320
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Nectandra rubra</i>	Louro-vermelho	m	r	ro	7.9	3.2	11.2	0.55	0.69	1.05	8900	62.0	30.9	4.7	6.9	3110	3260	3.5	
<i>Ocotea braccellensis</i>	Louro-inhamuí	m	r		6.8	3.6	10	0.55	0.68		8400	66.9	32.7	7.9	6.1	4810	4450	6.1	
<i>Ocotea costulata</i>	Abacatirana	m	r	am	6.6	3.9	11.6	0.50	0.62	0.94	9500	65.5	32.6	5.4	8.6	4830	4250	3.4	470
<i>Ocotea fragrantissima</i>	Louro-preto	m	r	ma	5.7	3.0	10.1	0.48	0.58	0.94	10000	69.2	32.9	4.5	9.2	4250	3470	4.0	580
<i>Ocotea neesiana</i>	Louro-canela	m	r	ol	7.7	4.2	10.2	0.55	0.69	0.93	10600	71.6	36.8	4.6	10.3	4000	3510	5.9	520
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r		6.9	4.3	9.9	0.59	0.73	1.06	12200	77.9	43.3	6.4	9.3				420
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r	ma	7.8	3.6	11.1	0.63	0.71	1.04	12800	84.9	44.0	6.8	10.4	4820	5140	5.0	610
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.7	3.9	12.7	0.64	0.82	1.09	12400	87.2	43.5	4.7	7.6	6060	5770	3.3	410
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.1	4.9	14.0	0.57	0.74	1.12	13400	73.7	38.8	3.4	8.9	5080	4350	2.7	
<i>Ormosia coccinea</i>	Tento	g	r	ro	6.7	3.9	10.9	0.58	0.72	1.18	9000	63.1	33.8	7.2	8.8	5680	5520	3.7	510
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r	ro	10.3	4.7	14.7	0.67	0.73	1.17	13200	86.2	45.8	8.1	9.6	6660	6490	3.7	510
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r		8.6	4.8	13.8	0.65	0.73	1.19	8900	44.8	36.5	8.7	8.2	6190	6270	0.9	360
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Ucuubarana	m	d	ma	9.4	5.3	14.5	0.46	0.59	1.01	9600	43.1	21.1	1.9	5.8	2640	2330	2.6	350
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Ucuubarana	m	d		7.4	3.6	10.8	0.50	0.59	1.12	11000	57.7	27.2	3.7	7.5	3210	3020	3.8	470
<i>Parahancornia amapa</i>	Amapá-amargoso	f	r	br	6.8	3.7	10.7	0.46	0.56	1.13	9300	55.3	25.2	3.3	7.0	3100	2510	3.4	470
<i>Parinari excelsa</i>	Parinari	m	d	ma	10.2	5.3	14.8	0.75	0.92	1.25	14500	107.4	51.1	8.6	10.5	8750	7880	3.7	610
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava-bolota/Visqueiro	m	r	br	5.8	2.2	8.8	0.26	0.31	0.95	6100	29.4	13.0	1.6	4.4	2070	1690	1.9	210
<i>Parkia multijuga</i>	Paricá grande da terra fir	m	i	ci	7.0	2.9	9.8	0.38	0.47	1.09	7200	49.9	23.0	3.7	6.6	3290	2890	3.7	
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	i	br	5.3	2.7	8.7	0.31	0.38	0.90	6600	29.4	16.0	2.1	6.3	2670	2060	3.6	450
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	d-r		5.4	2.7	7.9	0.42	0.50	1.08	7700	46.0	22.0	4.2	7.7	3310	2790	3.6	450
<i>Parkia paraensis</i>	Fava-arara-tucupi	m	i	ci	7.6	3.5	11.9	0.44	0.56	1.01	10400	52.0	23.6	3.0	7.8	3120	2560	3.2	450
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.8	3.8	11	0.50	0.63	1.13	10000	65.7	30.7	4.3	9.5	4260	3970	4.0	560
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.2	2.5	10.0	0.51	0.63	1.10	9600	66.0	32.3	4.9	8.3	4680	4250	4.0	
<i>Parkia sp.</i>	Faveira	m	d	br	5.4	2.4	8.1	0.29	0.32	1.06	5600	31.3	15.2	2.1	5.1	2450	1850	1.5	250
<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	d	rx	8.7	5.0	13.4	0.79	0.97	1.26	14000	109.8	53.6	16.2	13.7	9790	10630	4.2	740
<i>Peltogyne paniculata</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	r	rx	8.1	5.1	12.7	0.81	1.03	1.27	15700	131.7	69.4	20.7	14.5	11990	13310	4.4	780
<i>Piptadenia communis</i>	Faveira-folha-fina	m	in	ma	7.4	4.5	13.3	0.68	0.88	1.12	10900	100.5	51.9	10.4	11.2	7120	7380	4.9	
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	7.1	4.9	11.3	0.72	0.91	1.10	12300	108.3	51.9	10.4	11	7120	7380	4.6	670
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	8.3	5.1	13.1	0.76	0.98	1.17	13400	107.9	54.1	8.9	13.9	7390	8350	5.6	670
<i>Platymiscium sp.</i>	Macacauba				4.6	2.8	6.6	0.75	0.90		10600	109.3	54.3	11.1	9.8	9140	9110	6.0	
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.1	5.7	14.4	0.73	0.90	1.25	13900	100.8	49.7	11.4	12.0	8210	8400	4.5	640
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.4	6.3	15.2	0.75	0.99	1.22	14100	112.5	54.1	8.5	11.9	9030	9140	5.3	760
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.5	5.5	14.9	0.85	0.91	1.24	15200	119.1	50.4	21.2	11.6	8350	8530	4.5	530
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.4	5.3	14.5	0.88	1.15	1.28	16300	133.3	66.4	14.0	14.6	10340	11530	5.4	700
<i>Pouteria egregia</i>	Abiu-pitomba	mf	i	ma	11.2	6.8	15.7	0.84	1.12	1.23	15300	120.7	61.8	10.1	12.9	10970	11670	4.5	770
<i>Pouteria gongrijpii</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	10.1	4.5	15.0	0.72	0.95	1.24	13400	101.0	43.1	9.5	11.9	7540	7680	4.5	710
<i>Pouteria guianensis</i>	Abiurana	m	o	ve	9.0	5.1	13.3	0.83	0.94	1.28	15200	119.1	50.4	21.2	11.6	8350	8530	5.6	
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Pouteria oblanceolata</i>	Tuturubá	f	d	ma	8.9	5.2	13.8	0.79	0.96	1.27	13800	115.4	54.8	11.1	11.4	10140	10100	4.4	540
<i>Pouteria obscura</i>	Maragonçalo	f	i	ma	7.4	4.4	11.8	0.64	0.81	1.21	11500	86.5	40.9	7.5	10.5	6540	6080	4.4	740
<i>Pouteria oppositifolia</i>	Abiu-branco	f	in	ma	7.8	4.6	12.5	0.65	0.83	1.20	10900	88.1	44.3	7.4	10.3	6770	6430	4.5	
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	12.6	6.5	18.1	0.74	1.01	1.17	15800	116.0	55.3	6.7	11.3	7680	7530	4.6	460
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	11.2	6.2	16.5	0.73	0.93	1.19	13100	100.9	46.0	7.2	10.2	8280	7440	5.4	650
<i>Pouteria sp.</i>	Jará	f	d	ma	9.7	5.9	15.2	0.72	0.92	1.24	13800	97.1	48.8	8.1	10.8	7590	7100	4.8	670
<i>Priurella priurii</i>	Abiu-de-casca-fina	m	d	ma	13.0	7.7	20.3	0.83	0.99		16900	126.8	59.1	12.4	13.8	10310	10530	4.8	650
<i>Protium heptaphyllum</i>	Breu-sucuruba	mf	d	ma	8.4	4.1	12.6	0.55	0.70		9600	65.6	30.2	4.1	8.1	3990	3640	3.4	
<i>Protium sp.</i>	Breu	m	in	ma	9.8	5.1	15.0	0.76	1.00	1.12	14300	111.1	51.7	9.3	12.4	8210	7780	3.8	690
<i>Protium tenuifolium</i>	Breu-preto	mf	o	ma	8.4	4.2	12.0	0.63	0.80	1.03	12000	87.4	40.1	7.5	10.3	6650	5630	4.2	640
<i>Pterocarpus sp.</i>	Envira-de-preguiça	f	d	br	5.4	3.3	9.8	0.43	0.55	1.02	8900	55.6	25.6	4.5	8.9	3030	2070	3.3	400
<i>Qualea albiflora</i>	Mandioqueira-lisa	m	r	ci	9.5	5.3	14.7	0.57	0.75	1.14	11100	67.4	40.4	4.5	9.6	5390	4470	3.8	490
<i>Qualea brevipedicellata</i>	Mandioqueira-áspera	mg	r	ma	8.6	4.4	13.6	0.74	0.96	1.17	14000	105.5	62.6	8.4	12.4	9150	8640	5.4	710
<i>Qualea cf. lancifolia</i>	Mandioqueira	m	r	ci	8.1	3.1	11.5	0.58	0.73	1.15	11800	69.5	32.6	5.4	7.9	5070	4700	4.4	
<i>Qualea dinizii</i>	Mandioqueira-escamosa	m	i	ci	9.1	4.6	13.5	0.54	0.69	1.14	9900	67.4	29.9	5.9	9.0		2700	4.7	650
<i>Rauvolfia paraensis</i>	Peroba-d'água	f	d	am	9.0	4.7	13.3	0.55	0.71	1.11	10290	69.8	33.6	5.6	8.7				
<i>Rollinia exsucca</i>	Envira	m	d	ci	8.8	3.2	12.3	0.52	0.66	1.02	11600	75.4	36.6	3.9	7.9	4480	3810		530
<i>Roupala montana</i>	Louro/Faeira	g	d	ma	12.3	6.3	18.0	0.77	1.05	1.24	14800	99.4	49.7	8.7	10.9	8050	8390	6.1	790
<i>Sapium aereum</i>	Leiteiro	m	d	br	7.8	4.2	12.1	0.40	0.52	1.08	7800	40.7	21.3	2.2	5.2	1240	1010	2.1	330
<i>Sapium marmieri</i>	Burra-leiteira	m	d	br	7.5	5.6	10.8	0.39	0.48	1.09	8200	43.3	21.4	2.2	5.4	1320	930	2.1	340
<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	m	d	br	9.1	6.7	15.7	0.41	0.54	1.03	9000	40.1	17.5	2.0	6.4	2620	1970	2.9	340
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	5.1	4.3	11.1	0.49	0.62	1.13	9400	54.3	23.6	4.4	7.4	3880	3310	3.4	360
<i>Sclerobium aff. Chrysophyll</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	7.4	3.7	11.0	0.62	0.78	1.12	11400	86.1	42.5	7.8	11.2	6760	5990	5.2	
<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>	Taxi-vermelho	m	i	ol	8.0	4.2	12.1	0.61	0.78	1.07	11800	79.7	44.4	5.4	12.2	7320	7270	4.9	590
<i>Sclerolobium paraense</i>	Taxi-branco	m	r	ol	8.3	4.0	12.3	0.61	0.78	1.17	12500	89.4	43.3	7.1	12.8	7370	7200	5.1	670
<i>Sclerolobium poeppigianum</i>	Taxi-preto/Taxi-pitomba	m	i	ci	8.1	4.2	12.6	0.65	0.83	1.17	12900	94.5	47.4	6.0	10.8	6770	6450	4.3	540
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	6.8	4.8	8.3	0.37	0.45	1.12	6700	44.5	19.9	2.9	6.1	1670	1230	3.7	420
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	5.9	2.6	8.8	0.38	0.44	0.98	7300	46.3	21.6	2.7	6.0	2710	2210	2.8	
<i>Sloanea nitida</i>	Urucurana	m	d	ma	11.2	5.3	18.6	0.90	1.08	1.30	15100	118.4	58.6	12.9	15.9	11920	12420	4.7	800
<i>Sloanea sp.</i>	Urucurana	m	d	ma	8.7	5.6	15.5	0.72	0.96	1.21	13100	127.2	44.5	9.5	10.8	8720	8830	4.1	900
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	6.0	2.5	9.5	0.38	0.45		7000	40.0	17.9	2.2	4.6	2480	2020	2.4	400
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	7.4	4.2	10.4	0.38	0.48	1.05	6900	41.8	18.5	2.0	5.2	1280	950	3.1	
<i>Sterculia apeibophylla</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.4	15.4	0.47	0.61	1.10	9400	57.2	26.2	2.8	6.5	2010	1870	2.8	400
<i>Sterculia pilosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	mg	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.53	0.71	1.10	10000	61.9	28.3	3.6	6.3	3860	3950	3.1	
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.53	0.71		10000	61.9	28.3	3.6	6.3	3860	3950	2.8	350
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.2	16.2	0.49	0.65	1.09	11300	60.7	25.6	2.7	7.1	3590	3230	3.1	
<i>Stryphnodendron pulcherrim</i>	Fava-branca	m	i	ma	7.5	5.1	11.1	0.48	0.61	1.00	10300	64.2	30.0	3.7	9.2	4420	3650	3.2	400
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Swartzia recurva</i>	Urucurana	m	d	am	8.5	6.2	15.0	0.77	0.92	1.22	16700	108.1	49.4	7.9	10.7	8230	8320	5.7	750
<i>Symphonia globulifera</i>	Anani	m	d	ma	7.9	4.5	13.2	0.58	0.75	1.12	11700	78.0	38.8	5.9	8.9	5300	5270	4.1	450
<i>Tabebuia cf. incana</i>	Ipê-amarelo	m	r	ma	8.4	5.9	13.3	0.82	1.05	1.21	15900	125.7	73.7	15.1	11.9	13620	13590	3.6	680
<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê	m	r	ol	8.0	6.6	13.2	0.92	1.19	1.2	20400	157.9	72.5	16.1	14.8	11940	13890	6.4	
<i>Tabebuia sp.</i>	Ipê	m	r	ol	6.8	6.1	12.4	0.87	1.02	1.24	13300	157.0	83.9	17.0	13.4	12910	14050	3.3	770
<i>Tachigali cavipes</i>	Tachi-branco	m	r	ol	6.3	4.6	9.7	0.40	0.55	1.02	7900	33.3	20.9	3.2	7.6	4060	3230	2.4	360
<i>Tachigali cf. myrmecophila</i>		m	r	ol	7.5	5.2	11.9	0.57	0.72	1.12	11500	82.2	40.2	5.3	11.4	5980	5880	4.8	620
<i>Tachigali multijuga</i>	Tachi-preto	m	r	ol	7.4	4.2	12.8	0.57	0.64	1.13	13200	78.6	33.3	5.1	8.4	5250	4890	2.7	530
<i>Tachigali myrmecophila</i>	Taxizeiro preto	m	r	ol	7.3	4.1	11.1	0.56	0.71	1.07	10500	78.7	37.7	7.1	10.5	5810	5030	2.3	330
<i>Tachigali sp.</i>	Taxi	m	r	ol	7.0	4.1	11.9	0.48	0.58	1.03	10500	68.2	28.0	3.6	9.8	4010	3380	3.1	540
<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	mf	d	ma	8.3	3.6	11.5	0.50	0.63	0.96	9100	57.1	28.6	4.1	8.2	4400	3710	3.9	
<i>Terminalia amazonica</i>	Cuiarana	m	o	ol	7.8	5.2	12.8	0.80	1.03	1.24	11700	106.8	51.8	12.6	11.9	9020	9280	5.2	
<i>Terminalia cf. argentea</i>	Cuia	m	i	ol	9.8	5.8	15.2	0.80	0.97	1.25	14800	115.2	57.8	10.8	14.0	10120	10600	4.9	730
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-manga	m	r	ma	9.0	4.6	13.0	0.74	0.95	1.04	12700	101.7	53.2	10.0	13.0	9780	9000	6.9	710
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.8	5.0	14.9	0.75	0.99	1.23	11900	87.0	42.8	8.0	13.2	8300	8220	4.1	630
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.9	5.1	15.0	0.77	0.92	1.20	12000	96.8	48.7	10.9	14.7	9050	8710	6.0	740
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	7.2	5.1	11.8	0.44	0.56	0.96	7800	50.7	25.3	3.6	6.7	3570	2570	3.1	
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	6.8	4.1	11.7	0.50	0.63		9900	51.7	28.1	4.5	9.4	4540		3.2	
<i>Trichilia lecointei</i>	Pracuúba-da-terra-firme	mf	in	ma	8.2	4.4	13.2	0.90	1.16	1.27	13600	107.6	55.5	14.0	14.8	8670	10380	5.7	710
<i>Vantanea parviflora</i>	Uxirana	m	i	ma	10.3	8.2	17.6	0.86	1.17	1.20	16600	125.9	66.3	9.9	13.6	10750	10430	5.9	720
<i>Vatairea guianensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.7	4.8	14.8	0.64	0.83	1.21	11900	78.6	37.7	6.4	9.3	6120	6520	3.3	500
<i>Vatairea paraensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.8	4.8	14.0	0.78	1.02	1.24	13700	121.9	55.9	8.1	14.5	6950	7450	4.0	700
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	mg	in	ma	8.4	4.5	13.9	0.71	0.90	1.22	13400	100.3	50.7	8.4	11.6	7410	7620	4.3	550
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	m-g	i		9.0	6.0	15.0	0.73	0.90	1.22	14400	102.1	59.7	10.1	11.6	7740	7870	3.1	640
<i>Vataireopsis speciosa</i>	Angelim-amargoso	g	r	ma	6.4	3.0	9.9	0.62	0.74	1.17	11900	103.2	39.4	7.1	9.8				
<i>Virola carinata</i>	Envirola	mf	d	ma	9.6	4.5	13.9	0.38	0.48	1.07	8800	37.3	17.8	1.9	5.5	2430	2210	2.6	260
<i>Virola michellii</i>	Ucuúba-da-terra-firme	m	d		9.9	4.7	14.8	0.50	0.66	1.04	10000	57.7	26.9	3.2	6.8	3820	3380	4.3	
<i>Virola surinamensis</i>	Virola	mf	d	ma	8.6	3.2	12.0	0.35	0.44	1.09	7700	35.1	15.4	1.4	4.3	1990	1600	2.0	200
<i>Vochysia ferruginea</i>	Quaruba	m	d	ro	10.7	5.0	14.1	0.41	0.53	1.13	7500	50.5	21.8	3.5	6.3	2070	1820	3.4	510
<i>Vochysia guianensis</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	11.5	5.0	17.5	0.54	0.73	1.14	11500	71.4	29.6	3.9	7.1	4080	3850	3.5	480
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	8.8	4.0	12.1	0.49	0.62	1.11	9500	61.7	30.0	4.9	8.6	4420	4340	3.8	430
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	9.1	3.3	13.0	0.46	0.59		8000	52.0	26.3	5.3	5.6	3750	3380	2.7	
<i>Vochysia melinonii</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	10.8	4.7	14.1	0.51	0.66	1.15	9400	56.8	29.3	3.7	8.6	4410	4190	3.4	410
<i>Vochysia obdensis</i>	Quaruba-rosa	m	r	ro	10.0	3.2	12.7	0.50	0.64	1.08	9900	61.3	30.4	4.4	7.9	4550	4280	3.8	460
<i>Xylopia nitida</i>	Envira	m	d	ol	11.4	6.7	16.6	0.56	0.75	1.09	14100	69.4	35.5	3.5	7.9	4150	3450	3.1	370
<i>Zanthoxylon regnelianum</i>	Maminha-de-porca	m	d	ol	8.6	5.8	11.4	0.50	0.60	1.12	10200	74.7	32.6	4.7	8.9	3380	3050	3.4	630
<i>Zizyphus itacaiunensis</i>	Maria-preta	f	r	ma	9.9	6.9	15.7	0.80	0.97	1.26	14000	103.6	50.5	12.7	14.0	9570	9730	5.5	690
<i>Zollernia paraensis</i>	Pau-santo	f	r	pr	9.6	5.0	16.8	0.97	1.26	1.32	16300	148.7	68.8	14.2	14.6	11930	13360	4.7	670
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

10.2 ANEXO A2: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pelo Nome Científico- Madeira Seca

Legenda do cabeçalho da tabela:

Textura: (f-Fina, m-média, g-grossa, mg-média a grossa, mf-média a fina)

Grã: (d-direita, r-reversa, i-irregular, in-inclinada, o-ondulada)

CT - Contração tangencial

CR - Contração radial

CV - Contração volumétrica

D_b - Densidade básica

D_{ap} - Densidade aparente a 12% de teor de umidade

D_v - Densidade verde (saturado em água)

MOE - Módulo de elasticidade na flexão

MOR - Tensão de ruptura na flexão

CPA - Tensão de ruptura na compressão paralela às fibras

CPE - Tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras

CIS - Tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras

DE- Dureza Janka paralela às fibras

DT - Dureza Janka perpendicular às fibras

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Acacia polyphylla</i>	Espinheiro-preto	m	d	am	10.1	4.9	14.0	0.74	1.20	13200	106.6	59.0	8.7	11.7	6910	4960	3.5	650	2.1
<i>Acioa edulis</i>	Castanha-de-cutia	m	r	ma	10.3	8.0	17.5	1.04	1.23	16600	153.6	82.6	16.0	15.8	10740	12230	4.4	620	1.3
<i>Acioa sp.</i>	Castanha-de-cutia	m	o	ma	9.7	5.3	15.1	0.97	1.20	14900	142.9	75.7	13.4	17.0	14170	12170	5.0	900	1.8
<i>Alexa grandiflora</i>	Melanciaira	mg	o	br	9.9	4.7	14.5	0.79	1.17	13300	111.4	59.4	9.6	12.2	7680	6460	4.8		2.1
<i>Allantoma lineata</i>	Seru	f	i	ci	7.5	5.5	11.6	0.75	1.21	13000	117.1	59.1	11.5	12.3	5040	5230	3.1	510	1.4
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira	g	r	am	5.4	2.9	8.2	0.57	1.13	8800	78.5	69.5	10.7	10.6	5200	3990	3.1	450	1.9
<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.7	8.5	0.49	1.04	10200	65.4	39.1	4.6	7.9	3740	2290	2.6	330	2.2
<i>Anacardium microcarpum</i>	Cajuaçu	f	d	ci	6.1	3.5	9.7	0.46	1.10	9600	56.8	38.3	4.0	8.3	3870	2600	2.4	360	1.7
<i>Anacardium parvifolium</i>	Cajuaçu	m	r	ci	5.4	3.3	8.6	0.54	1.13	10800	73.5	35.3	4.2	9.2	4480	3320	2.3	330	1.6
<i>Anacardium spruceanum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.9	9.4	0.52	1.04	10000	65.4	37.2	4.5	6.9	3900	2540	2.9		2.1
<i>Anacardium tenuifolium</i>	Cajuí	m	d	ci	4.9	3.1	8.7	0.52	1.13	9700	50.6	33.5	4.1	9.2	3890	2640	2.5	360	1.6
<i>Andira retusa</i>	Andirá-uxi	g	r	ma	7.9	5.6	12.5	0.70	1.18	13600	124.3	62.6	11.3	14.1	9850	8110	4.7		1.4
<i>Andira sp.</i>	Angelim-tinto	g	r	ma	9.5		14.3	0.90	1.22	16400	124.5	67.3	11.8	15.1	9840	9020	4.1	640	
<i>Aniba canelilla</i>	Preciosa	m	in	pr	8.2	6.4	13.6	1.19	1.30	17900	187.5	99.7	20.6	18.8	15000	15280	2.9	550	1.3
<i>Apeiba echinata</i>	Pente-de-macaco	mg	d	ci	6.5	2.3	9.3	0.44	0.78	6800	53.9	32.4	4.5	6.3	3900	2530	3.0		2.8
<i>Apuleia molaris</i>	Garapeira	m	r	ma	10.1	6.5	15.9	0.88	1.25	12900	127.2	64.4	15.8	13.1	7450	8450	5.6	680	1.6
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	Aracanga	m	r	la	9.0	5.8	14.5	0.82	1.22	14900	135.6	69.2	12.1	12.9	9430	7970	3.0	560	1.6
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Peroba-mico	f	r	ma	6.2	4.4	11.5	0.78	1.11	14100	139.0	66.4	12.3	15.1	10780	8400	3.3	500	1.4
<i>Astronium gracile</i>	Muiracatiara	m	r	ma	8.0	5.3	11.9	0.93	1.14	16300	133.3	71.5	10.0	17.1	8410	7900	4.7	710	1.5
<i>Astronium lecoitei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.2	4.1	11.0	0.94		13200	148.5	85.8	14.9	12.0	7840	8830			1.8
<i>Astronium lecoitei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.6	4.6	11.9	1.00	1.19	15300	139.1	84.0	14.1	17.1	8910	9780	5.5	630	1.7
<i>Astronium ulei</i>	Muiracatiara	m	in	ma	8.1	4.3	12.2	0.91	1.06	13700	117.5	70.5	13.9	17.1	8300	7640	5.5	800	1.9
<i>Beilschmiedia brasiliensis</i>	Louro	m	i	ma	9.4	6.2	14.3	0.73	1.14	13800	114.1	48.5	5.9	12.0	5740	5700	3.5	540	1.5
<i>Bixa arborea</i>	Urucu-da-mata	m	d	ma	6.0	2.6	9.1	0.39	0.88	7700	55.5	36.5	4.0	6.4	3960	1980	2.4		2.3
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r		8.5	5.8	14.2	0.96	1.20	17000	156.4	102.9	16.4	15.8			5.3	700	1.5
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	9.0	6.0	14.7	0.96	1.22	17000	156.4	102.9	16.4	19.4	15140	12470	4.2	670	1.5
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	7.4	4.5	12.3	0.98		13800	157.0	88.5	16.3	12.8	13010	11530	4.3		1.6
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r	ma	7.8	4.8	12.6	0.70	1.06	11900	102.0	55.7	7.9	9.9	6940	5080	4.2	550	1.6
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r		9.1	5.0	14.1	0.91	1.18	14500	140.2	78.5	15.0	16.3			4.0		1.8
<i>Brosimum alicastrum</i>	Janitá	m	d	ma	9.4	5.6	16.0	0.99	1.23	16300	155.7	87.9	11.4	15.1	11510	9340	4.5	700	1.7
<i>Brosimum parinarioides</i>	Amapá-doce	m	r	ma	7.7	4.5	12.6	0.73	1.13	11500	104.3	58.1	8.2	10.2	7340	5670	3.0		1.7
<i>Brosimum potabile</i>	Amapá-doce	m	r	ma	6.8	4.1	11.9	0.67	1.13	11000	99.1	56.1	8.4	10.4	7390	5370	3.2		1.7
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Conduru	m	r	ve	8.1	5.3	12.0	0.81	1.24	16700	150.4	78.1	12.6	12.8	10860	9530	4.0	580	1.5
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Conduru	m	r	ve	7.8	5.3	13.2	0.94		14900	139.4	72.7	12.5	13.7	10700	9180	4.2		1.5
<i>Brosimum utile</i>	Garrote	m	r	ma	7.7	4.8	12.0	0.58	1.12	11600	77.4	47.0	4.8	10.1	5870	4290	2.9	380	1.6
<i>Buchenavia capitata</i>	Tanibuca	m	r	ol	11.6	5.9	16.7	0.84	1.26	12700	109.8	60.5	13.2	11.6	11330	7440	3.5	540	2.0
<i>Buchenavia cf. viridiflora</i>	Tanibuca	m	o	ol	9.3	5.7	11.2	0.88	1.19	13300	120.3	67.4	12.5	17.5	14020	9940	5.7	480	1.6
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Buchenavia grandis</i>	Tanibuca	m	r	ol	7.4	4.7	12.2	0.89	1.22	11100	97.6	69.7	13.7	16.6	13520	10940	4.0		1.6
<i>Buchenavia huberi</i>	Cuiarana	mf	d	ol	9.1	6.0	14.7	1.04	1.24	15600	158.0	85.3	17.7	16.7	13580	11860	4.6		1.5
<i>Buchenavia sp.</i>	Tanibuca	m	o	ol	7.4	3.9	12.7	0.86	1.19	14300	138.9	74.4	14.5	16.1	15740	12830	4.5	580	1.9
<i>Callophyllum brasiliense</i>	Jacareúba	m	r	ma	8.4	5.4	13	0.69		8700	89.4	54.3	9.7	10.8	8020	5780	4.6		1.6
<i>Caraipa densiflora</i>	Tamaquaré	m	i		9.9	6.5	15.6	0.77	1.21	15100	131.8	66.1	9.3	13.0	8870	6900	3.7	590	1.5
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	7.0	4.5	11.8	0.71		10500	96.7	54.5	9.7	9.8	8240	6400			1.5
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	8.1	4.4	12.6	0.76	1.03	12000	109.3	60.9	9.0	11.1	8410	6420	4.1		1.8
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitibá-rosa	m	d	ma	8.1	5.1	14.0	0.68	1.06	12800	110.4	51.2	7.4	11.2	4670	4400	5.2	710	1.6
<i>Caryocar glabrum</i>	Pequiarana	m	r	am	8.7	4.0	11.9	0.78	1.16	14100	80.6	59.8	8.6	14.7	8170	7450	5.8	730	2.2
<i>Caryocar sp.</i>	Pequiá	m	r		8.1	5.0	13.2	0.77		10200	103.5	60.5	12.6	10.7	7120	7500	5.6		1.6
<i>Caryocar villosum</i>	Pequiá	m	r	ci	8.5	4.3	12.6	0.78	1.17	11400	101.8	47.4	9.5	12.4	4960	5140	5.6	580	2.0
<i>Cassia fastuosa</i>	Canafistula	mg	r	ma	9.1	6.2	15.3	0.87	1.22	13400	116.2	73.6	13.0	14.7	12500	11340	3.3	470	1.5
<i>Cassia scleroxylon</i>	Muirapixuna	m	i	pr	8.2	3.6	11.5	1.28	1.34	16700	184.4	98.2	23.2	20.3	14830	15580	3.3	740	2.3
<i>Castilla uliei</i>	Caucho	m	r	br	10.5	5.2	16.1	0.47	1.07	9100	56.9	37.5	3.7	6.0	2770	1420	1.9	300	2.0
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	g	d	ro	12.1	9.1	20.8	0.47	1.06	9900	76.8	53.5	4.6	7.0	6140	3240	2.9	410	1.3
<i>Cedrela sp.</i>	Cedro	g	d	ro	6.2	4.4	9.6	0.53		8100	71.4	44.6	5.8	7.5	3240	4450	3.8		1.4
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedorana	g	d	ci	8.0	4.1	11.6	0.56	1.10	11400	90.5	63.5	6.2	9.9	5710	4700	4.7	590	2.0
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumaúma	m	d	ci	5.5	2.7	9.3	0.36	1.01	4500	39.9	24.2	1.9	3.8	2360	1540	1.9		2.0
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.4	6.3	15.2	0.90	1.22	16200	164.9	85.4	15.7	19.3	14630	11670	4.3	690	1.5
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.1	5.7	14.4	0.96	1.25	16200	165.9	86.8	14.3	14.5	12800	10760	4.6	710	1.6
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba/Oiticica	m	r	am	7.1	3.7	9.6	0.66	1.17	12400	111.0	65.8	9.5	11.9	7910	6280	2.9	510	1.9
<i>Copaifera duckei</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.79	1.11	12300	117.9	60.0	9.9	12.2	8670	6440	4.4		2.0
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaiba	m	d	ma	6.7	3.6	11.4	0.63	1.10	12100	86.8	50.8	6.6	11.7	6840	4840	3.3	470	1.9
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.79	1.11	12300	117.9	60.0	9.9	12.2	8670	6440	4.4		2.0
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.7	3.9	10.3	0.58		9900	66.7	44.0	7.9	8.1	4140	4140	3.1		2.0
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	6.8	3.9	10.3	0.62		12300	87.6	54.9	5.9	9.3	4630	3790	4.3	560	1.7
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.5	4.9	12.7	0.72	1.16	11800	93.4	61.4	7.0	11.5	7320	5770	3.0	460	1.5
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	m	d	br	11.7	6.3	18.0	0.67	1.10	12100	82.9	50.9	3.8	7.8	5730	4370	3.4		1.9
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	m	i	ci	6.6	4.1	10.6	0.60	0.92	10400	93.2	51.7	6.2	8.5	6080	4520	3.1		1.6
<i>Cordia sagotii</i>	Freijó	m	d	ci	7.7	3.8	11.3	0.63	0.92	10000	88.1	48.8	8.4	7.7	5250	4000	3.5		2.0
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8.1	4.5	11.4	0.63		11273	92.2	50.4	8.4	10.4					1.8
<i>Couepia robusta</i>	Castanha-de-cutia	m	i	ma	11.0	5.8	15.7	1.03	1.21	15900	157.6	80.4	19.4	13.3	13610	14540	4.0	590	1.9
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	m	d	ci	6.1	3.6	10.4	0.65	1.11	11700	106.1	55.0	7.9	10.4	6650	5160	4.2		1.7
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.1	3.6	10.4	0.61	1.09	10800	90.5	47.7	6.2	8.7	5420	3800	3.7		1.7
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.6	4.2	11	0.63	1.13	11100	84.7	45.5	6.4	10.6	5890	4690	3.8	490	1.6
<i>Couratari stellata</i>	Tauari	m	d	am	7.8	5.8	13.4	0.84	1.13	14600	136.7	70.5	11.8	13.1	8950	7100	4.6		1.3
<i>Dacryodes spp.</i>	Breu-branco	m	r	ma	6.5	4.5	11.6	0.59	1.04	14300	101.6	47.0	7.0	13.6	6320	4300	4.4	510	1.4
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Dialium guianense</i>	Jutaipeba	f	r	ma	9.2	5.0	13.7	1.02	1.28	17500	192.3	92.2	22.3	22.8	17220	16670	4.5	730	1.8
<i>Diclinanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10.1	3.2	13.6	0.61	1.07	11300	95.4	49.8	7.8	7.6	5160	4030	3.1		3.2
<i>Dicorynia paraensis</i>	Angélica-do-pará	g	r	ci	7.2	3.6	11.5	0.58	1.09	9100	74.8	45.3	5.8	10.7	6080	4290	3.7	500	2.0
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim-vermelho	m	r	ma	9.5	5.7	14.5	1.09	1.26	17300	160.0	87.3	15.1	18.0	14600	13810	3.9	670	1.7
<i>Diploon venezuelana</i>	Abiurana	f	d	ma	10.1	7.1	15.7	1.13	1.20	18100	190.6	98.3	19.8	20.0	12060	13360	3.2	550	1.4
<i>Diploptropis purpurea</i>	Sucupira-da-terra-firme	m	r	ma	8.8	6.7	15.6	0.90	1.19	16700	146.3	96.1	12.7	16.6	10060	8460	6.0	740	1.3
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú	m	r	am	8.4	5.4	13.5	1.07	1.28	18300	176.4	98.7	21.0	22.4	13390	16010	4.9	870	1.6
<i>Drypetes variabilis</i>	Pau-branco	f	r	ol	11.3	5.8	15.9	0.95	1.24	16200	146.7	73.9	12.6	16.5	13150	11420	4.3	690	1.9
<i>Endopleura uchi</i>	Uchi-liso	m	d	ma	9.6	6.4	15.6	1.04	1.18	15600	156.7	16.3	13.3	19.1	13370	10590	6.3	480	1.5
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.5	2.4	6.7	0.44	1.05	9400	83.6	43.4	6.0	9.0	3930	2880	3.1		1.9
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.6	2.3	6.8	0.50	1.05	7800	49.8	38.4	4.2	7.8	5040	3390	2.3	320	2.0
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Sucupira amarela	mg	r	am	9.3	4.2	12.7	1.08	1.21	17100	164.8	80.2	15.1	17.7	9460	10640	5.6	810	2.2
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Munguba-grande-da-terra-firme	m	i	ma	9.8	4.5	14.9	0.59	1.08	10600	89.5	48.6	6.0	8.3	6300	4690	3.6		2.2
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	10.0	4.3	13.4	0.59	1.11	10600	87.8	52.5	6.1	8.9	5900	3940	2.9		2.3
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	8.7	3.6	12.9	0.62	1.10	11000	89.2	50.7	5.7	8.0	5730	3990	3.1	380	2.4
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	11	4.3	14.9	0.91	1.21	14100	127.1	59.8	9.8	12.6	12400	11360	3.8		2.5
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	9.7	5.6	16.4	0.98	1.24	15600	140.1	69.3	13.0	11.4	9630	11020	3.9	740	1.7
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamatá	m	d	ol	8.0	4.6	14.9	0.85	1.24	14800	138.7	68.6	11.3	12.9	8830	9050	5.6	540	1.7
<i>Eschweilera longipes</i>	Matamatá	m	d	ol	9.6	5.6	14.5	0.98	1.20	16100	136.7	68.0	10.1	18.1	11810	10930	4.4	550	1.7
<i>Eschweilera sp.</i>	Matamatá	m	d	ol	10.7	6.0	16.1	1.08	1.26	19300	175.1	88.1	18.3	20.9	14920	13900		890	1.8
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	6.1	4.5	11.1	0.81	1.20	13000	117.6	71.1	13.6	10.8	12680	11210	4.5		1.4
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	7.8	6.5	13.1	0.89	1.20	14000	129.4	70.8	12.2	18.1	10920	8460	4.2	580	1.2
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	m	r	br	9.7	5.0	14.1	0.45	1.09	8100	62.8	38.4	4.0	6.6	2120	1220	2.0	310	1.9
<i>Glycydendron amazonicum</i>	Glicia	m	o	ro	7.6	4.9	12.0	0.84	1.11	15200	128.4	66.3	10.4	13.7	8730	7580	3.4	460	1.6
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r	ma	8.9	5.0	13.1	0.88	1.17	13000	118.4	66.2	12.9	15.5	11510	9740		700	1.8
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r		8.4	4.5	13.2	0.92	1.13	14900	134.0	68.9	14.8	14.8	10190	8300	4.2	560	1.9
<i>Guatteria olivacea</i>	Envira-preta	m	d	ol	9.3	4.4	13.0	0.85	1.11	11400	92.0	43.1	3.1	8.9	5920	4850	3.9		2.1
<i>Guatteria procera</i>	Envira-preta	mg	d	ol	11.4	7.2	18.5	0.89	1.17	15600	123.9	70.5	5.5	10.7	7590	6660	2.7	500	1.6
<i>Hura creptans</i>	Açacu	m	r	br	5.2	3.7	7.5	0.48	1.08	8600	69.0	33.6	4.8	7.1	3920	2830	2.6	340	1.4
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	m	in	ma	7.7	3.4	11.4	0.96	1.24	15900	139.9	77.3	14.1	19.4	12530	11160	6.8	760	2.3
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jatobá/Jutai-mirim	m	in	ve	9.7	3.7	13.4	1.16	1.30	17300	173.2	96.6	19.2	23.6	16710	17200	6.6	730	2.6
<i>Hymenolobium cf. pulcherrii</i>	Angelim-pedra	g	r	ro	9.0	5.4	13.6	0.71	1.17	12700	114.8	63.9	9.9	12.6	6400	5470	3.6	540	1.7
<i>Hymenolobium modestum</i>	Angelim-pedra	g	r	ve	7.7	4.6	13.5	0.84	1.19	13500	120.8	61.1	10.7	14.0	8060	7470	3.9	550	1.7
<i>Hymenolobium nitidum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	7.2	4.3	11.8	0.69	1.16	11800	96.2	53.5	8.6	12.7	7400	5700	3.8	510	1.7
<i>Hymenolobium petraeum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	6.3	4.1	10.1	0.71	1.19	11800	111.5	53.3	11.5	12.5	7810	5900	3.9		1.5
<i>Hymenolobium sp.</i>	Angelim-da-mata	g	r	ma	7.2	3.7	9.9	0.72	1.20	12100	114.1	57.4	11.4	13.3	8300	6450	4.8	560	1.9
<i>Inga alba</i>	Ingá	mg	o	ma	9.6	4.0	13.3	0.80	1.17	13600	123.1	61.4	8.3	14.6	8630	6430	4.6	720	2.4
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Inga paraensis</i>	Ingá/Ingarana	mg	in	ma	10.7	5.3	15.9	1.09	1.26	18300	186.6	85.0	14.7	21.8	15180	13900			2.0
<i>Inga sp.</i>	Ingarana	mg	in	ma	9.6	4.1	12.0	0.74	1.17	15800	161.1	83.7	13.7	20.6	15160	12910	7.8	710	2.3
<i>Iryanthera grandis</i>	Ucuubarana	mf	d	ma	8.7	5.4	13.5	0.82	1.12	12700	108.5	60.9	8.3	9.8	5280	5420	4.7		1.6
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	m	d	br	8.2	5.4	13.9	0.40	0.84	8900	56.2	31.3	3.1	6.1	3360	1920	2.9		1.5
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha-de-arara	mg	d	ci	6.1	2.8	9.8	0.48	1.03	8400	64.9	35.1	4.9	6.0	3920	2640	3.3		2.2
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	11.3	5.4	17.2	0.84	1.16	15700	122.7	68.2	9.9	13.4	10920	8720	6.4	750	2.1
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	12.0	5.1	17.1	0.92	1.20	15600	129.6	66.0	10.0	16.5	11450	9900	5.0		2.4
<i>Lecythis idatinon</i>	Matamatá-vermelho	m	in	ma	10.3	4.9	15.3	1.00	1.26	15000	143.8	70.7	11.6	14.7	11110	10620	4.1	770	2.1
<i>Lecythis pisonis</i>	Castanha-sapucaia	m	r	ve	8.0	5.6	13.9	1.09	1.25	15100	152.9	71.6	15.2	17.5	13250	12840	4.3	590	1.4
<i>Licania gracilipes</i>	Caraiperana	m	i	ci	12.5	5.5	18.1	1.02	1.23	16500	161.6	86.1	15.4	16.1	15100	14940	4.2	640	2.3
<i>Licania oblongifolia</i>	Mucucurana	m	r	ci	11.7	5.9	19.6	0.94	1.24	15400	136.6	76.6	14.8	19.0	15690	14300	4.4	580	2.0
<i>Licania octandra</i>	Caraipé	m	d	ci	11.9	6.1	17.4	1.04	1.25	17400	164.2	85.0	11.7	15.5	12440	12490	4.1	490	2.0
<i>Licaria rigida</i>	Louro/Louro-amarelo	m	in	am	9.1	5.3	13.5	0.95	1.11	17900	168.8	87.2	13.0	17.1	10770	9160	5.4	570	1.7
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.5	4.6	13.3	0.80	1.14	14500	125.6	63.7	9.4	12.8	9730	8170	4.4	470	2.1
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.3	4.7	13.7	0.83	1.12	13800	127.1	61.0	10.9	12.0	9040	7860	4.7		2.0
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	m	r	la	5.9	3.2	9.4	0.91	1.22	12900	156.5	87.8	22.8	15.9	11640	10820	5.4	700	1.8
<i>Macrobium acacifolium</i>	Arapari	m	i	ma	6.4	2.9	10.0	0.63	1.16	9100	81.0	43.6	6.8	10.5	6700	5230	3.4	500	2.2
<i>Macrobium sp.</i>	Araparirana	m	in	ma	8.8	3.7	11.9	0.64	1.15	10100	84.1	45.4	7.3	13.2	7510	5480	3.8	510	2.4
<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	Ingá-de-porco	m	r	ma	7.6	4.3	11.0	0.61	1.15	11900	99.2	51.0	8.0	12.2	8320	6030	4.2	500	1.8
<i>Malouetia duckei</i>	Sorva	f	i	ci	9.2	3.7	12.7	0.73	1.15	12900	114.4	60.4	9.9	14.9	8320	6030	6.5	610	2.5
<i>Manilkara bidentata</i>	Maparajuba/Maçaranduba	f	d	ma	8.3	5.9	13.8	1.08	1.26	13800	130.7	64.8	15.5	16.3	8870	9280	5.7	440	1.4
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.3	7.1	16.4	1.07	1.27	17400	179.7	110.9	17.3	17.1	15150	13820	5.1	880	1.3
<i>Manilkara sp.</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.4	6.7	15.0	1.17		14200	172.9	84.1	19.8	15.8	15320	14640	6.9		1.4
<i>Maquira sclerophylla</i>	Muiratinga	m	i	br	9.4	4.2	13.7	0.74	1.09	11500	112.9	61.8	8.6	12.2	8420	6300	4.0		2.2
<i>Marmaroxylon racemosum</i>	Angelim-rajado	m	d	am	9.3	5.9	15.2	0.99	1.26	16700	166.8	80.7	19.3	17.6	15180	14410	2.9		1.6
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	6.8	3.0	10.1	0.85		10800	111.3	56.5	9.7	8.6	5540	5540	5.6		2.3
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	7.9	2.6	10.5	0.88	1.14	12300	114.4	58.3	11.0	10.3	5500	5910	4.7		3.0
<i>Mezilaurus lindaviana</i>	Itaúba	mg	i	ol	8.3	3.3	11.6	0.86	1.09	12800	117.0	57.3	9.7	8.6	4520	4500	4.1		2.5
<i>Micrandra minor</i>	Cauchorana	m	d	ma	7.4	2.5	9.8	0.48	0.99	10000	74.9	38.6	4.5	10.5	4640	3190	3.3	370	3.0
<i>Micrandra rossiana</i>	Seringarana	f	d	ma	9.0	5.2	13.8	0.81	1.19	14700	130.7	68.6	9.9	15.3	11350	8730	4.7	640	1.7
<i>Micropholis guianensis</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	11.2	6.6	16.6	0.90	1.19	15200	132.9	76.1	11.0	8.1	9780	7280	2.5	760	1.7
<i>Micropholis mensalis</i>	Abiurana-branca	f	i	ma	9.6	5.2	14.7	0.74	1.11	13700	122.5	58.9	9.6	13.7	9780	7280	4.2	640	1.8
<i>Micropholis venulosa</i>	Rosadinho	f	i	ma	9.7	4.7	14.0	0.87	1.21	14200	132.3	66.2	10.2	14.7	10180	7800	4.0	600	2.1
<i>Mouriri callocarpa</i>	Miraúba	f	i	ol	11.1	7.1	17.4	1.09	1.28	17500	192.0	96.3	22.4	19.0	17950	18290	5.9	650	1.6
<i>Myrcarpus frondosus</i>	Cabreúva-parda	m	i	ma	7.0	4.4	11.3	0.92	1.18	15400	157.2	87.6	13.8	18.2	15590	13950	4.1	580	1.6
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro-tamanco	m	r	am	6.0	4.0	9.1	0.46	0.82	8700	67.4	38.4	3.9	8.7	3420	3430	3.5	440	1.5
<i>Nectandra rubra</i>	Louro-vermelho	m	r	ro	7.9	3.2	11.2	0.69	1.05	10900	79.4	50.9	4.9	7.5	3420	3430	3.0		2.5
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Ocotea braccellensis</i>	Louro-inhamuí	m	r		6.8	3.6	10	0.68		10300	101.3	57.3	9.5	9.5	5510	5150	6.2		1.9
<i>Ocotea costulata</i>	Abacatirana	m	r	am	6.6	3.9	11.6	0.62	0.94	10100	92.6	52.7	7.3	11.2	5650	4650	3.4	470	1.7
<i>Ocotea fragrantissima</i>	Louro-preto	m	r	ma	5.7	3.0	10.1	0.58	0.94	10500	93.4	48.1	6.2	12.4	4890	4820	4.0	460	1.9
<i>Ocotea neesiana</i>	Louro-canela	m	r	ol	7.7	4.2	10.2	0.69	0.93	12100	110.1	61.2	7.3	12.7	5030	4580	5.6		1.8
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r	ma	7.8	3.6	11.1	0.71	1.04	14300	122.1	64.7	9.9	12.6	5340	5360	4.9	710	2.2
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r		6.9	4.3	9.9	0.73	1.06	14000	129.2	63.2	12.3	9.0	5670	5510	3.0	470	1.6
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.1	4.9	14.0	0.74	1.12	14000	126.5	71.0	6.4	10.4	6800	5710	2.9		1.7
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.7	3.9	12.7	0.82	1.09	15300	125.2	66.5	6.6	10.4	8220	6950	2.4	510	2.2
<i>Ormosia coccinea</i>	Tento	g	r	ro	6.7	3.9	10.9	0.72	1.18	10100	96.5	51.0	11.0	12.5	7640	6250	3.7	500	1.7
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r	ro	10.3	4.7	14.7	0.73	1.17	14900	125.2	72.0	10.8	12.7	8830	8370	3.7	500	2.2
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r		8.6	4.8	13.8	0.73	1.19	10400	82.9	45.3	9.6	12.7	8320	6940	2.3	390	1.8
<i>Osteophloeum platyspermu</i>	Ucuubarana	m	d	ma	9.4	5.3	14.5	0.59	1.01	12100	80.3	44.6	3.6	10.4	4950	3910	2.7	420	1.8
<i>Osteophloeum platyspermu</i>	Ucuubarana	m	d		7.4	3.6	10.8	0.59	1.12	12600	89.8	46.9	5.1	9.2	4440	3500	3.6	430	2.1
<i>Parahancornia amapa</i>	Amapá-amargoso	f	r	br	6.8	3.7	10.7	0.56	1.13	11300	90.8	46.8	6.1	9.8	5400	3580	4.0	520	1.8
<i>Parinari excelsa</i>	Parinari	m	d	ma	10.2	5.3	14.8	0.92	1.25	16500	148.8	83.1	15.7	15.0	13340	11440	5.7	540	1.9
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava-bolota/Visqueiro	m	r	br	5.8	2.2	8.8	0.31	0.95	9000	31.2	22.6	2.0	6.4	2350	1710	1.7	230	2.6
<i>Parkia multijuga</i>	Paricá grande da terra firme	m	i	ci	7.0	2.9	9.8	0.47	1.09	8800	61.8	37.7	5.7	8.2	4090	3030	3.9		2.4
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	i	br	5.3	2.7	8.7	0.38	0.90	9700	83.6	35.5	5.6	9.7	3050	2740	3.2	390	2.0
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	d-r		5.4	2.7	7.9	0.50	1.08	9700	83.6	35.5	5.6	9.6	4130	2910	3.2	390	2.0
<i>Parkia paraensis</i>	Fava-arara-tucupi	m	i	ci	7.6	3.5	11.9	0.56	1.01	11700	75.0	39.4	4.7	9.8	3990	3370	3.5	570	2.2
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.8	3.8	11	0.63	1.13	11800	86.4	49.2	7.2	11.5	5450	4290	4.0	510	2.1
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.2	2.5	10.0	0.63	1.10	11000	93.9	48.9	7.8	9.9	5340	4350	3.8		2.9
<i>Parkia sp.</i>	Faveira	m	d	br	5.4	2.4	8.1	0.32	1.06	6300	39.9	24.0	2.3	5.5			1.4	240	2.3
<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	d	rx	8.7	5.0	13.4	0.97	1.26	16000	161.5	120.7	17.8	15.8	13020	13340	6.0	890	1.7
<i>Peltogyne paniculata</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	r	rx	8.1	5.1	12.7	1.03	1.27	18100	190.8	92.3	20.3	18.5	16500	15360	2.9	490	1.6
<i>Piptadenia communis</i>	Faveira-fólha-fina	m	in	ma	7.4	4.5	13.3	0.88	1.12	13700	118.3	70.0	11.7	13.4	7360	7570	3.8		1.6
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	7.1	4.9	11.3	0.91	1.10	15700	149.8	79.8	14.2	16.2	8980	9790	5.4	680	1.4
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	8.3	5.1	13.1	0.98	1.17	13400	128.5	69.7	11.5	12.6	7330	7850	5.1		1.6
<i>Platymiscium sp.</i>	Macacauba				4.6	2.8	6.6	0.90		14675	136.8	73.0	14.6	14.8					1.6
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.1	5.7	14.4	0.90	1.25	16300	164.9	85.4	15.7	14.8			4.3	690	1.6
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.4	6.3	15.2	0.99	1.22	16200	165.9	86.8	14.3	16.3			4.6	710	1.5
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.5	5.5	14.9	0.91	1.24	14900	152.2	78.2	12.9	11.2	13130	11180	9.0	1030	1.7
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.4	5.3	14.5	1.15	1.28	17900	171.8	89.4	16.6	16.7	13500	10300	5.0	580	1.8
<i>Pouteria egregia</i>	Abiu-pitomba	mf	i	ma	11.2	6.8	15.7	1.12	1.23	17900	175.2	90.7	15.0	19.4	14810	13380	5.8	900	1.6
<i>Pouteria gongrijpii</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	10.1	4.5	15.0	0.95	1.24	15600	147.3	77.0	12.8	18.0	11900	10870	4.9	800	2.2
<i>Pouteria guianensis</i>	Abiurana	m	o	ve	9.0	5.1	13.3	0.94	1.28	15192	143.3	69.4	15.5	12.9	12030	13250	6.1		1.8
<i>Pouteria oblanceolata</i>	Tuturubá	f	d	ma	8.9	5.2	13.8	0.96	1.27	15700	156.2	79.4	14.0	16.3			4.1	510	1.7
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Pouteria obscura</i>	Maragonçalo	f	i	ma	7.4	4.4	11.8	0.81	1.21	13300	126.9	63.1	14.3	13.2			3.4	520	1.7
<i>Pouteria oppositifolia</i>	Abiu-branco	f	in	ma	7.8	4.6	12.5	0.83	1.20	13818	125.5	67.3	13.0	13.7					1.7
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	11.2	6.2	16.5	0.93	1.19	17200	164.8	84.2	11.2	18.5	15520	13070	4.7	820	1.8
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	12.6	6.5	18.1	1.01	1.17	16700	158.6	75.5	11.8	17.1	12330	10930	5.9	640	1.9
<i>Pouteria sp.</i>	Jará	f	d	ma	9.7	5.9	15.2	0.92	1.24	17200	158.3	80.4	13.1	13.4	12250	10970	4.9	700	1.6
<i>Priurella prieurii</i>	Abiu-de-casca-fina	m	d	ma	13.0	7.7	20.3	0.99		17500	177.4	76.0	15.3	20.0	12120	12360	4.3		1.7
<i>Protium heptaphyllum</i>	Breu-sucuruba	mf	d	ma	8.4	4.1	12.6	0.70		10000	86.8	49.0	6.9	10.0	4540	3980	5.5		2.0
<i>Protium sp.</i>	Breu	m	in	ma	9.8	5.1	15.0	1.00	1.12	15800	140.7	80.5	11.8	18.2	12480	10510	4.8	670	1.9
<i>Protium tenuifolium</i>	Breu-preto	mf	o	ma	8.4	4.2	12.0	0.80	1.03	12900	116.4	64.5	9.4	14.9	9160	6880	5.0	610	2.0
<i>Pterocarpus sp.</i>	Envira-de-preguiça	f	d	br	5.4	3.3	9.8	0.55	1.02	10400	84.1	39.6	5.0	12.6	5680	4150	3.3	450	1.6
<i>Qualea albiflora</i>	Mandioqueira-lisa	m	r	ci	9.5	5.3	14.7	0.75	1.14	13100	109.5	58.4	7.9	13.3	8460	6130	4.5	530	1.8
<i>Qualea brevipedicellata</i>	Mandioqueira-áspera	mg	r	ma	8.6	4.4	13.6	0.96	1.17	15900	134.6	81.4	14.5	13.4	11250	9820	2.3	490	2.0
<i>Qualea cf. lancifolia</i>	Mandioqueira	m	r	ci	8.1	3.1	11.5	0.73	1.15	12800	109.7	60.0	7.0	10.5	5860	4860	4.2		2.6
<i>Qualea dinizii</i>	Mandioqueira-escamosa	m	i	ci	9.1	4.6	13.5	0.69	1.14	11600	104.4	52.4	8.3	10.0		2710	3.9	540	2.0
<i>Rauvolfia paraensis</i>	Peroba-d'água	f	d	am	9.0	4.7	13.3	0.71	1.11	12800	113.5	58.3	9.7	13.6			5.9	760	1.9
<i>Rollinia exsucca</i>	Envira	m	d	ci	8.8	3.2	12.3	0.66	1.02	12000	91.4	53.3	10.9	8.6	5390	3920		300	2.8
<i>Roupala montana</i>	Louro/Faeira	g	d	ma	12.3	6.3	18.0	1.05	1.24	17300	161.4	84.6	11.2	15.7	9760	9840	6.3	870	2.0
<i>Sapium aereum</i>	Leiteiro	m	d	br	7.8	4.2	12.1	0.52	1.08	10100	71.4	44.3	5.2	7.0	2780	1720	2.8	370	1.9
<i>Sapium marmieri</i>	Burra-leiteira	m	d	br	7.5	5.6	10.8	0.48	1.09	9100	63.9	33.2	3.8	6.7	2340	1470	2.8	380	1.3
<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	m	d	br	9.1	6.7	15.7	0.54	1.03	11300	72.5	40.5	4.6	10.6	4890	3580	3.9	620	1.4
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	5.1	4.3	11.1	0.62	1.13	8200	56.5	34.1	4.6	11.0	4570			370	1.2
<i>Sclerobium aff. Chrysophyllum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	7.4	3.7	11.0	0.78	1.12	12500	118.0	60.3	11.2	13.7	7820	6070	4.8		2.0
<i>Sclerobium chrysophyllum</i>	Taxi-vermelho	m	i	ol	8.0	4.2	12.1	0.78	1.07	13800	117.0	57.5	9.0	15.6	8510	6430	4.8	520	1.9
<i>Sclerobium paraense</i>	Taxi-branco	m	r	ol	8.3	4.0	12.3	0.78	1.17	13700	125.8	65.7	11.5	17.7	10940	8900	4.8	680	2.1
<i>Sclerobium poeppigianum</i>	Taxi-preto/Taxi-pitomba	m	i	ci	8.1	4.2	12.6	0.83	1.17	13400	131.3	69.0	10.6	18.1	8140	6710	4.9	650	1.9
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	5.9	2.6	8.8	0.44	0.98	8200	66.4	35.2	4.7	7.1	4390	2670	3.2		2.3
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	6.8	4.8	8.3	0.45	1.12	7400	65.3	33.7	4.5	7.1	2760	1430	2.8	390	1.4
<i>Sloanea nitida</i>	Urucurana	m	d	ma	11.2	5.3	18.6	1.08	1.30	18100	174.9	97.4	20.0	16.3	16860	1840	8.6	820	2.1
<i>Sloanea sp.</i>	Urucurana	m	d	ma	8.7	5.6	15.5	0.96	1.21	16300	152.9	78.3	16.1	22.8	18990	19080	3.4		1.6
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	6.0	2.5	9.5	0.45		7900	47.7	31.5	3.8	6.2	3370	2040	2.9	350	2.4
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	7.4	4.2	10.4	0.48	1.05	7600	46.9	30.2	3.0	5.9	2150	1220	2.9		1.8
<i>Sterculia apeibophylla</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.4	15.4	0.61	1.10	10700	85.9	47.0	5.0	9.0	4160	3110	3.2	470	2.0
<i>Sterculia pilosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	mg	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.71	1.10	12000	99.0	51.8	5.1	9.4	6330	5170	4.1		2.3
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.2	16.2	0.65	1.09	12000	99.0	51.8	5.1	9.4	5090	4240	4.1		2.0
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.71		13900	92.3	47.4	4.9	8.9	6330	5170	2.4	430	2.3
<i>Stryphnodendron pulcherrim</i>	Fava-branca	m	i	ma	7.5	5.1	11.1	0.61	1.00	12100	97.8	45.8	4.9	12.5	7450	5940	3.1	370	1.5
<i>Swartzia recurva</i>	Urucurana	m	d	am	8.5	6.2	15.0	0.92	1.22	17000	157.1	74.5	15.3	17.4	12820	1120	4.6	690	1.4
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Symphonia globulifera</i>	Anani	m	d	ma	7.9	4.5	13.2	0.75	1.12	14000	111.4	62.5	7.3	10.6	6800	5710	3.3	330	1.8
<i>Tabebuia cf. incana</i>	Ipê-amarelo	m	r	ma	8.4	5.9	13.3	1.05	1.21	16800	177.0	105.4	21.7	15.8			4.5	690	1.4
<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê	m	r	ol	8.0	6.6	13.2	1.19	1.2	13100	172.6	86.9	25.3	13.7	14800	14060	3.9		1.2
<i>Tabebuia sp.</i>	Ipê	m	r	ol	6.8	6.1	12.4	1.02	1.24	16200	187.7	103.8	21.3	17.4	14050		4.5	760	1.1
<i>Tachigali cavipes</i>	Tachi-branco	m	r	ol	6.3	4.6	9.7	0.55	1.02	10400	83.9	45.3	4.4	8.8	4610	3710	3.2	440	1.4
<i>Tachigali cf. myrmecophila</i>		m	r	ol	7.5	5.2	11.9	0.72	1.12	13200	133.2	58.6	9.0	14.4	8770	8030	3.8	620	1.4
<i>Tachigali multijuga</i>	Tachi-preto	m	r	ol	7.4	4.2	12.8	0.64	1.13	12100	99.9	61.1	7.9	11.7	5950	4850	5.2	530	1.8
<i>Tachigali myrmecophila</i>	Taxizeiro preto	m	r	ol	7.3	4.1	11.1	0.71	1.07	11200	107.0	57.8	9.3	12.2	7620	5620	3.0	360	1.8
<i>Tachigali sp.</i>	Taxi	m	r	ol	7.0	4.1	11.9	0.58	1.03	10800	97.3	47.9	6.2	12.1	6740	4620	3.6	580	1.7
<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	mf	d	ma	8.3	3.6	11.5	0.63	0.96	11100	84.7	46.2	6.9	10.9	5450	4040	5.5		2.3
<i>Terminalia amazonica</i>	Cuiarana	m	o	ol	7.8	5.2	12.8	1.03	1.24	14300	148.9	79.5	14.3	14.2	11660	10140	5.3		1.5
<i>Terminalia cf. argentea</i>	Cuia	m	i	ol	9.8	5.8	15.2	0.97	1.25	15700	144.8	86.3	13.1	14.0	15720	1424	4.5	600	1.7
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-manga	m	r	ma	9.0	4.6	13.0	0.95	1.04	14600	137.3	77.9	15.5	18.3	12250	9840	6.6	700	2.0
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.9	5.1	15.0	0.92	1.20	13500	124.9	70.1	14.4	20.5	14150	12920	5.4	810	1.9
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.8	5.0	14.9	0.99	1.23	14300	126.0	61.7	13.1	19.3	13850	11510	5.1	630	2.0
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	7.2	5.1	11.8	0.56	0.96	11200	65.4	46.0	5.9	8.4	4700	3160	3.7	580	1.4
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	6.8	4.1	11.7	0.63		9800	77.8	45.0	5.5	10.1	5200		3.6		1.7
<i>Trichilia lecointei</i>	Pracuúba-da-terra-firme	mf	in	ma	8.2	4.4	13.2	1.16	1.27	16700	160.8	88.1	18.6	18.9	13320	14330	5.3	640	1.9
<i>Vantanea parviflora</i>	Uxirana	m	i	ma	10.3	8.2	17.6	1.17	1.20	17900	173.2	88.1	15.5	18.1	15740	13370	4.8	580	1.3
<i>Vatairea guianensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.7	4.8	14.8	0.83	1.21	13600	112.9	58.5	8.1	10.2	7500	6950	3.9	540	2.0
<i>Vatairea paensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.8	4.8	14.0	1.02	1.24	15300	151.3	79.3	13.1	16.1	9340	9860	4.2	650	2.0
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	mg	in	ma	8.4	4.5	13.9	0.90	1.22	15200	138.1	66.1	11.4	14.1	7800	8050	3.6	500	1.9
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	m-g	i		9.0	6.0	15.0	0.90	1.22	15000	133.6	81.9	14.0	14.3	12090	11610	3.6	620	1.5
<i>Vataireopsis speciosa</i>	Angelim-amargoso	g	r	ma	6.4	3.0	9.9	0.74	1.17	11800	103.7	54.1	9.4	8.9	4980	4730	2.4	360	2.1
<i>Virola carinata</i>	Envirola	mf	d	ma	9.6	4.5	13.9	0.48	1.07	10200	63.3	40.2	2.5	5.7		2350	2.2	310	2.1
<i>Virola michellii</i>	Ucuúba-da-terra-firme	m	d		9.9	4.7	14.8	0.66	1.04	12100	97.2	52.2	5.0	10.1	6710	4720	4.9		2.1
<i>Virola surinamensis</i>	Virola	mf	d	ma	8.6	3.2	12.0	0.44	1.09	8700	58.9	36.2	2.8	7.2			2.7	410	2.7
<i>Vochysia ferruginea</i>	Quaruba	m	d	ro	10.7	5.0	14.1	0.53	1.13	10033	75.93	42.12	6.11	8.8			2.4	360	2.1
<i>Vochysia guianensis</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	11.5	5.0	17.5	0.73	1.14	14300	123.7	66.6	6.9	12.5	7930	7100	4.9	610	2.3
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	9.1	3.3	13.0	0.59		9600	83.3	45.6	5.4	8.0	5490	4040	3.4		2.8
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	8.8	4.0	12.1	0.62	1.11	11400	93.0	48.5	5.8	10.2	5600	4810	3.5	510	2.2
<i>Vochysia melinonii</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	10.8	4.7	14.1	0.66	1.15	12100	99.7	54.9	5.1	12.0	7050	5850	4.3	700	2.3
<i>Vochysia obdensis</i>	Quaruba-rosa	m	r	ro	10.0	3.2	12.7	0.64	1.08	12700	102.6	54.0	6.1	10.5	6850	5350	4.3	580	3.1
<i>Xylopia nitida</i>	Envira	m	d	ol	11.4	6.7	16.6	0.75	1.09	16200	119.3	63.3	5.8	8.6	6690	5070	2.3	480	1.7
<i>Zanthoxylon regnelianum</i>	Maminha-de-porca	m	d	ol	8.6	5.8	11.4	0.60	1.12	11000	108.7	52.5	7.7	9.8	5230	3590	3.4	560	1.5
<i>Zizyphus itacaiunensis</i>	Maria-preta	f	r	ma	9.9	6.9	15.7	0.97	1.26	16500	159.7	89.2	14.8	19.8	16680	15110	5.9	730	1.4
<i>Zollernia paraensis</i>	Pau-santo	f	r	pr	9.6	5.0	16.8	1.26	1.32	18200	191.5	97.4	27.5	18.8	14900	14790	4.7	510	1.9
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	

10.3 ANEXO A3: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pelo Nome popular - Madeira Verde

Legenda do cabeçalho da tabela:

Textura: (f-Fina, m-média, g-grossa, mg-média a grossa, mf-média a fina)

Grã: (d-direita, r-reversa, i-irregular, in-inclinada, o-ondulada)

CT - Contração tangencial

CR - Contração radial

CV - Contração volumétrica

Db - Densidade básica

Dap. - Densidade aparente a 12% de teor de umidade

Dv - Densidade verde (saturado em água)

MOE - Módulo de elasticidade na flexão

MOR - Tensão de ruptura na flexão

CPA - Tensão de ruptura na compressão paralela às fibras

CPE - Tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras

CIS - Tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras

DE- Dureza Janka paralela às fibras

DT - Dureza Janka perpendicular às fibras

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Ocotea costulata</i>	Abacatirana	m	r	am	6.6	3.9	11.6	0.50	0.62	0.94	9500	65.5	32.6	5.4	8.6	4830	4250	3.4	470
<i>Pouteria oppositifolia</i>	Abiu-branco	f	in	ma	7.8	4.6	12.5	0.65	0.83	1.20	10900	88.1	44.3	7.4	10.3	6770	6430	4.5	
<i>Priurella prieurii</i>	Abiu-de-casca-fina	m	d	ma	13.0	7.7	20.3	0.83	0.99		16900	126.8	59.1	12.4	13.8	10310	10530	4.8	650
<i>Pouteria egregia</i>	Abiu-pitomba	mf	i	ma	11.2	6.8	15.7	0.84	1.12	1.23	15300	120.7	61.8	10.1	12.9	10970	11670	4.5	770
<i>Diploon venezuelana</i>	Abiurana	f	d	ma	10.1	7.1	15.7	0.85	1.13	1.20	14900	118.8	57.1	16.3	12.8	9120	9490	5.4	860
<i>Pouteria guianensis</i>	Abiurana	m	o	ve	9.0	5.1	13.3	0.83	0.94	1.28	15200	119.1	50.4	21.2	11.6	8350	8530	5.6	
<i>Micropholis guianensis</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	11.2	6.6	16.6	0.67	0.90	1.19	12300	87.7	36.6	5.9	9.3	6770	6140	2.5	550
<i>Micropholis mensalis</i>	Abiurana-branca	f	i	ma	9.6	5.2	14.7	0.60	0.74	1.11	12800	80.5	34.9	4.7	9.7	5270	4780	4.9	560
<i>Pouteria gongrijpii</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	10.1	4.5	15.0	0.72	0.95	1.24	13400	101.0	43.1	9.5	11.9	7540	7680	4.5	710
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.5	5.5	14.9	0.85	0.91	1.24	15200	119.1	50.4	21.2	11.6	8350	8530	4.5	530
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.4	5.3	14.5	0.88	1.15	1.28	16300	133.3	66.4	14.0	14.6	10340	11530	5.4	700
<i>Hura creptans</i>	Açacu	m	r	br	5.2	3.7	7.5	0.39	0.48	1.08	6500	34.8	16.1	2.6	5.6	2120	1760	2.4	300
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.5	4.6	13.3	0.62	0.80	1.14	12500	82.3	35.3	5.9	9.3	5770	5500	3.9	600
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.3	4.7	13.7	0.64	0.83	1.12	12200	81.4	38.2	6.2	8.4	6080	6000	3.8	
<i>Parahancornia amapa</i>	Amapá-amargoso	f	r	br	6.8	3.7	10.7	0.46	0.56	1.13	9300	55.3	25.2	3.3	7.0	3100	2510	3.4	470
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Condu	m	r	ve	8.1	5.3	12.0	0.71	0.81	1.24	14300	104.8	46.9	6.3	12.6	7180	6940	4.0	630
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Condu	m	r	ve	7.8	5.3	13.2	0.73	0.94		13000	106.3	52.8	11.9	11.4	7790	7160	4.1	
<i>Brosimum parinarioides</i>	Amapá-doce	m	r	ma	7.7	4.5	12.6	0.57	0.73	1.13	9000	68.8	34.3	5.5	8.0	4940	4500	3.9	
<i>Brosimum potabile</i>	Amapá-doce	m	r	ma	6.8	4.1	11.9	0.53	0.67	1.13	8900	67.9	32.5	4.1	7.6	4640	4320	3.6	
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	m	r	la	5.9	3.2	9.4	0.73	0.91	1.22	11300	89.9	53.1	15.1	11.0	7160	7790	5.2	630
<i>Symphonia globulifera</i>	Anani	m	d	ma	7.9	4.5	13.2	0.58	0.75	1.12	11700	78.0	38.8	5.9	8.9	5300	5270	4.1	450
<i>Andira retusa</i>	Andirá-uxi	g	r	ma	7.9	5.6	12.5	0.67	0.70	1.18	11000	86.1	44.3	7.3	10.8	7300	7530	4.7	630
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	7.0	4.5	11.8	0.56	0.71		9100	72.9	37.0	6.7	8.8	5360	4650	5.2	
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	8.1	4.4	12.6	0.59	0.76	1.03	9500	75.2	37.0	5.6	9.6	5830	5260	5.0	
<i>Dicorynia paraensis</i>	Angélica-do-pará	g	r	ci	7.2	3.6	11.5	0.45	0.58	1.09	7700	54.6	25.2	4.4	7.3	4280	3860	3.3	410
<i>Vatairea guianensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.7	4.8	14.8	0.64	0.83	1.21	11900	78.6	37.7	6.4	9.3	6120	6520	3.3	500
<i>Vatairea paraensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.8	4.8	14.0	0.78	1.02	1.24	13700	121.9	55.9	8.1	14.5	6950	7450	4.0	700
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	mg	in	ma	8.4	4.5	13.9	0.71	0.90	1.22	13400	100.3	50.7	8.4	11.6	7410	7620	4.3	550
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	m-g	i		9.0	6.0	15.0	0.73	0.90	1.22	14400	102.1	59.7	10.1	11.6	7740	7870	3.1	640
<i>Vataireopsis speciosa</i>	Angelim-amargoso	g	r	ma	6.4	3.0	9.9	0.62	0.74	1.17	11900	103.2	39.4	7.1	9.8				
<i>Hymenolobium sp.</i>	Angelim-da-mata	g	r	ma	7.2	3.7	9.9	0.60	0.72	1.20	10800	82.2	38.8	5.5	10.1	5270	4940	4.4	650
<i>Hymenolobium cf. pulcherr.</i>	Angelim-pedra	g	r	ro	9.0	5.4	13.6	0.60	0.71	1.17	11200	89.5	43.6	5.6	8.9	4980	4870	3.1	510
<i>Hymenolobium modestum</i>	Angelim-pedra	g	r	ve	7.7	4.6	13.5	0.65	0.84	1.19	12800	93.1	44.1	6.8	11.2	6200	6380	4.1	570
<i>Hymenolobium nitidum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	7.2	4.3	11.8	0.55	0.69	1.16	10100	65.8	34.1	5.4	8.9	4680	4380	3.7	490
<i>Hymenolobium petraeun</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	6.3	4.1	10.1	0.59	0.71	1.19	9600	72.0	38.8	6.5	10.2	5430	5150	4.3	
<i>Marmaroxylon racemosum</i>	Angelim-rajado	m	d	am	9.3	5.9	15.2	0.79	0.99	1.26	13900	104.3	52.2	11.5	12.5	9560	10270	4.3	
<i>Andira sp.</i>	Angelim-tinto	g	r	ma	9.5		14.3	0.67	0.90	1.22	12600	89.2	45.5	7.2	9.1	5340	5620	4.6	600
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim-vermelho	m	r	ma	9.5	5.7	14.5	0.83	1.09	1.26	15300	122.0	61.5	10.5	13.4	10190	11080	5.3	750
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	Aracanga	m	r	la	9.0	5.8	14.5	0.69	0.82	1.22	12900	93.7	48.0	7.6	11.2	7080	6960	5.2	710
<i>Macrolobium acacifolium</i>	Arapari	m	i	ma	6.4	2.9	10.0	0.54	0.63	1.16	7300	58.7	28.1	5.8	8.5	5050	4950	3.4	430
<i>Macrolobium sp.</i>	Araparirana	m	in	ma	8.8	3.7	11.9	0.53	0.64	1.15	9100	63.4	25.7	5.5	8.8	4580	4760	4.0	420
<i>Protium sp.</i>	Breu	m	in	ma	9.8	5.1	15.0	0.76	1.00	1.12	14300	111.1	51.7	9.3	12.4	8210	7780	3.8	690
<i>Dacryodes spp.</i>	Breu-branco	m	r	ma	6.5	4.5	11.6	0.51	0.59	1.04	9300	60.1	29.0	5.0	8.4	4460	3680	4.0	490
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-manga	m	r	ma	9.0	4.6	13.0	0.74	0.95	1.04	12700	101.7	53.2	10.0	13.0	9780	9000	6.9	710
<i>Protium tenuifolium</i>	Breu-preto	mf	o	ma	8.4	4.2	12.0	0.63	0.80	1.03	12000	87.4	40.1	7.5	10.3	6650	5630	4.2	640
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.8	5.0	14.9	0.75	0.99	1.23	11900	87.0	42.8	8.0	13.2	8300	8220	4.1	630
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.9	5.1	15.0	0.77	0.92	1.20	12000	96.8	48.7	10.9	14.7	9050	8710	6.0	740
<i>Protium heptaphyllum</i>	Breu-sucuruba	mf	d	ma	8.4	4.1	12.6	0.55	0.70		9600	65.6	30.2	4.1	8.1	3990	3640	3.4	
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	7.2	5.1	11.8	0.44	0.56	0.96	7800	50.7	25.3	3.6	6.7	3570	2570	3.1	
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	6.8	4.1	11.7	0.50	0.63		9900	51.7	28.1	4.5	9.4	4540		3.2	
<i>Sapium marmieri</i>	Burra-leiteira	m	d	br	7.5	5.6	10.8	0.39	0.48	1.09	8200	43.3	21.4	2.2	5.4	1320	930	2.1	340
<i>Myrcarpus frondosus</i>	Cabreúva-parda	m	i	ma	7.0	4.4	11.3	0.78	0.92	1.18	13800	125.7	63.9	12.2	14.8	11390	10770	5.1	750
<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.7	8.5	0.38	0.49	1.04	8200	34.3	17.8	2.2	6.1	2450	1960	2.4	320
<i>Anacardium microcarpum</i>	Cajuaçu	f	d	ci	6.1	3.5	9.7	0.42	0.46	1.10	7100	36.9	19.8	2.5	6.7	2880	2460	2.3	360
<i>Anacardium parvifolium</i>	Cajuaçu	m	r	ci	5.4	3.3	8.6	0.44	0.54	1.13	9000	44.2	22.6	3.0	6.8	2850	2330	3.1	330
<i>Anacardium spruceanum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.9	9.4	0.42	0.52	1.04	8400	44.6	21.1	3.0	6.2	2770	2240	2.9	
<i>Anacardium tenuifolium</i>	Cajuí	m	d	ci	4.9	3.1	8.7	0.43	0.52	1.13	7800	34.7	19.8	2.7	6.4	3090	2560	2.2	330
<i>Cassia fastuosa</i>	Canafistula	mg	r	ma	9.1	6.2	15.3	0.71	0.87	1.22	12700	102.5	49.2	10.8	13.6	8840	8810	5.1	590
<i>Licania octandra</i>	Caraiapé	m	d	ci	11.9	6.1	17.4	0.77	1.04	1.25	13800	94.6	46.0	6.7	10.3	8310	8370	3.1	500
<i>Licania gracilipes</i>	Caraiperana	m	i	ci	12.5	5.5	18.1	0.82	1.02	1.23	13900	102.7	45.6	10.8	10.8	9540	10110	3.8	630
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha-de-arara	mg	d	ci	6.1	2.8	9.8	0.39	0.48	1.03	6900	40.3	20.5	2.3	5.3	2490	2020	2.7	
<i>Acioa edulis</i>	Castanha-de-cutia	m	r	ma	10.3	8.0	17.5	0.82	1.04	1.23	13700	102.9	48.7	11.9	10.2	8970	9180	4.3	620
<i>Acioa sp.</i>	Castanha-de-cutia	m	o	ma	9.7	5.3	15.1	0.79	0.97	1.20	12600	116.1	52.6	12.5	13.2	9510	9350	5.7	520
<i>Couepia robusta</i>	Castanha-de-cutia	m	i	ma	11.0	5.8	15.7	0.83	1.03	1.21	13300	104.1	47.9	12.3	10.9	9840	10800	2.6	530
<i>Lecythis pisonis</i>	Castanha-sapucaia	m	r	ve	8.0	5.6	13.9	0.84	1.09	1.25	14700	114.1	54.6	11.9	14.9	9160	10960	5.3	670
<i>Castilla ulei</i>	Caucho	m	r	br	10.5	5.2	16.1	0.39	0.47	1.07	7400	35.3	18.5	1.8	4.8	1460	1050	2.1	260
<i>Micrandra minor</i>	Cauchorana	m	d	ma	7.4	2.5	9.8	0.41	0.48	0.99	9500	51.7	22.2	2.7	6.0	2950	2260	3.5	470
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	g	d	ro	12.1	9.1	20.8	0.39	0.47	1.06	8400	44.8	22.9	2.3	6.3	2870	2680	3.0	400
<i>Cedrela sp.</i>	Cedro	g	d	ro	6.2	4.4	9.6	0.43	0.53		7300	50.2	26.0	3.8	6.0	3550	2550	3.6	
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedrorana	g	d	ci	8.0	4.1	11.6	0.45	0.56	1.10	10800	55.5	27.2	2.7	7.7	3850	3640	3.3	440
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira	g	r	am	5.4	2.9	8.2	0.47	0.57	1.13	8700	54.4	25.7	4.2	7.8	3310	3400	2.8	390
<i>Copaifera duckei</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.62	0.79	1.11	11300	75.3	35.0	6.5	9.1	5380	5430	4.4	
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaiba	m	d	ma	6.7	3.6	11.4	0.50	0.63	1.10	11100	67.8	30.7	3.6	8.7	4190	3470	3.6	460
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.62	0.79	1.11	11300	75.3	35.0	6.5	9.1	5380	5430	4.4	
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.7	3.9	10.3	0.46	0.58		6900	50.7	26.0	4.8	6.3	2930	2930	3.7	
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	6.8	3.9	10.3	0.47	0.62		11400	58.3	25.2	3.3	7.6	3010	2890	3.8	520
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.5	4.9	12.7	0.56	0.72	1.16	9800	69.3	28.8	4.0	9.3	4620	4570	3.1	410
<i>Terminalia cf. argentea</i>	Cuia	m	i	ol	9.8	5.8	15.2	0.80	0.97	1.25	14800	115.2	57.8	10.8	14.0	10120	10600	4.9	730
<i>Buchenavia huberi</i>	Cuiarana	mf	d	ol	9.1	6.0	14.7	0.79	1.04	1.24	13200	103.5	53.8	10.5	10.6	9560	9830	5.9	
<i>Terminalia amazonica</i>	Cuiarana	m	o	ol	7.8	5.2	12.8	0.80	1.03	1.24	11700	106.8	51.8	12.6	11.9	9020	9280	5.2	
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú	m	r	am	8.4	5.4	13.5	0.91	1.07	1.28	16200	136.4	69.3	16.0	16.9	12920	13930	6.4	930
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r	ma	8.9	5.0	13.1	0.71	0.88	1.17	11800	92.1	47.1	9.3	12.1	7510	7050	5.2	690
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r		8.4	4.5	13.2	0.71	0.92	1.13	11700	91.6	48.5	9.4	12.5	7780	7470	6.6	730
<i>Diclinanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10.1	3.2	13.6	0.47	0.61	1.07	9000	64.9	27.5	3.8	6.1	3270	3250	3.1	
<i>Rollinia exsucca</i>	Envira	m	d	ci	8.8	3.2	12.3	0.52	0.66	1.02	11600	75.4	36.6	3.9	7.9	4480	3810		530
<i>Xylopia nitida</i>	Envira	m	d	ol	11.4	6.7	16.6	0.56	0.75	1.09	14100	69.4	35.5	3.5	7.9	4150	3450	3.1	370
<i>Pterocarpus sp.</i>	Envira-de-preguiça	f	d	br	5.4	3.3	9.8	0.43	0.55	1.02	8900	55.6	25.6	4.5	8.9	3030	2070	3.3	400
<i>Guatteria olivacea</i>	Envira-preta	m	d	ol	9.3	4.4	13.0	0.51	0.85	1.11	10200	57.5	26.4	4.7	8.3	4030	3230	3.5	430
<i>Guatteria procera</i>	Envira-preta	mg	d	ol	11.4	7.2	18.5	0.65	0.89	1.17	14800	80.4	37.1	4.4	8.8	4990	4880		460
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.1	4.9	14.0	0.57	0.74	1.12	13400	73.7	38.8	3.4	8.9	5080	4350	2.7	
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.7	3.9	12.7	0.64	0.82	1.09	12400	87.2	43.5	4.7	7.6	6060	5770	3.3	410
<i>Virola carinata</i>	Envirola	mf	d	ma	9.6	4.5	13.9	0.38	0.48	1.07	8800	37.3	17.8	1.9	5.5	2430	2210	2.6	260
<i>Acacia polyphylla</i>	Espinheiro-preto	m	d	am	10.1	4.9	14.0	0.60	0.74	1.20	11400	77.0	30.9	4.6	10.1	3230	3250	4.9	540
<i>Parkia paraensis</i>	Fava-arara-tucupi	m	i	ci	7.6	3.5	11.9	0.44	0.56	1.01	10400	52.0	23.6	3.0	7.8	3120	2560	3.2	450
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava-bolota/Visqueiro	m	r	br	5.8	2.2	8.8	0.26	0.31	0.95	6100	29.4	13.0	1.6	4.4	2070	1690	1.9	210
<i>Stryphnodendron pulcherrim</i>	Fava-branca	m	i	ma	7.5	5.1	11.1	0.48	0.61	1.00	10300	64.2	30.0	3.7	9.2	4420	3650	3.2	400
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	i	br	5.3	2.7	8.7	0.31	0.38	0.90	6600	29.4	16.0	2.1	6.3	2670	2060	3.6	450
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	d-r		5.4	2.7	7.9	0.42	0.50	1.08	7700	46.0	22.0	4.2	7.7	3310	2790	3.6	450
<i>Parkia sp.</i>	Faveira	m	d	br	5.4	2.4	8.1	0.29	0.32	1.06	5600	31.3	15.2	2.1	5.1	2450	1850	1.5	250
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.8	3.8	11	0.50	0.63	1.13	10000	65.7	30.7	4.3	9.5	4260	3970	4.0	560
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.2	2.5	10.0	0.51	0.63	1.10	9600	66.0	32.3	4.9	8.3	4680	4250	4.0	
<i>Piptadenia communis</i>	Faveira-folha-fina	m	in	ma	7.4	4.5	13.3	0.68	0.88	1.12	10900	100.5	51.9	10.4	11.2	7120	7380	4.9	
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.5	2.4	6.7	0.37	0.44	1.05	7300	44.2	20.2	2.6	7.2	3110	2750	3.0	
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.6	2.3	6.8	0.42	0.50	1.05	7900	56.9	29.0	5.9	6.1	3390	2970	2.7	340
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	m	r	br	9.7	5.0	14.1	0.36	0.45	1.09	6400	37.5	19.4	2.3	4.8	1240	860	2.3	280
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	m	d	br	11.7	6.3	18.0	0.49	0.67	1.10	9600	56.1	27.7	3.0	5.9	3690	3430	2.8	
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	m	i	ci	6.6	4.1	10.6	0.48	0.60	0.92	8500	65.0	32.8	3.4	6.8	4180	3600	3.5	
<i>Cordia sagotii</i>	Freijó	m	d	ci	7.7	3.8	11.3	0.50	0.63	0.92	9700	66.8	33.0	4.2	6.2	3920	3660	2.6	
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8.1	4.5	11.4	0.50	0.63		8500	63.3	31.5	3.4	6.9	4220	3650	2.9	
<i>Apuleia molaris</i>	Garapeira	m	r	ma	10.1	6.5	15.9	0.75	0.88	1.25	11600	92.2	43.2	13.5	11.2	6380	7200	4.8	620
<i>Brosimum utile</i>	Garrote	m	r	ma	7.7	4.8	12.0	0.47	0.58	1.12	9300	51.1	24.4	2.8	6.8	3090	2750	2.5	340
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Glycydendron amazonicum</i>	Glicia	m	o	ro	7.6	4.9	12.0	0.66	0.84	1.11	12500	80.3	39.9	5.1	9.5	5690	5390	4.4	470
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	11.2	6.2	16.5	0.73	0.93	1.19	13100	100.9	46.0	7.2	10.2	8280	7440	5.4	650
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	12.6	6.5	18.1	0.74	1.01	1.17	15800	116.0	55.3	6.7	11.3	7680	7530	4.6	460
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba/Oiticica	m	r	am	7.1	3.7	9.6	0.56	0.66	1.17	11200	79.3	38.8	7.5	8.8	5770	5460	4.2	570
<i>Inga alba</i>	Ingá	mg	o	ma	9.6	4.0	13.3	0.62	0.80	1.17	11500	81.1	38.3	5.7	11.6	5920	5620	4.3	630
<i>Inga paraensis</i>	Ingá/Ingarana	mg	in	ma	10.7	5.3	15.9	0.82	1.09	1.26	14600	121.4	52.0	9.6	15.3	10990	11480		1010
<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	Ingá-de-porco	m	r	ma	7.6	4.3	11.0	0.49	0.61	1.15	10300	63.9	29.6	4.3	8.6	3920	4310	3.6	450
<i>Inga sp.</i>	Ingarana	mg	in	ma	9.6	4.1	12.0	0.58	0.74	1.17	13500	117.0	46.6	10.6	13.9	9790	9100	6.7	830
<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê	m	r	ol	8.0	6.6	13.2	0.92	1.19	1.2	20400	157.9	72.5	16.1	14.8	11940	13890	6.4	
<i>Tabebuia sp.</i>	Ipê	m	r	ol	6.8	6.1	12.4	0.87	1.02	1.24	13300	157.0	83.9	17.0	13.4	12910	14050	3.3	770
<i>Tabebuia cf. incana</i>	Ipê-amarelo	m	r	ma	8.4	5.9	13.3	0.82	1.05	1.21	15900	125.7	73.7	15.1	11.9	13620	13590	3.6	680
<i>Mezilaurus lindaviana</i>	Itaúba	mg	i	ol	8.3	3.3	11.6	0.68	0.86	1.09	10400	75.5	36.5	8.9	8.5	4300	4380	4.6	
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	6.8	3.0	10.1	0.68	0.85		9800	85.0	39.8	9.0	9.3	4740	5600	5.8	
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	7.9	2.6	10.5	0.70	0.88	1.14	10600	87.3	42.1	9.5	10.0	5450	5880	5.5	
<i>Callophyllum brasiliense</i>	Jacareúba	m	r	ma	8.4	5.4	13	0.54	0.69		6900	55.9	28.5	5.5	7.3	4550	3640	4.4	
<i>Brosimum alicastrum</i>	Janitá	m	d	ma	9.4	5.6	16.0	0.74	0.99	1.23	13700	97.1	44.5	6.5	11.1	6870	6930	3.8	570
<i>Pouteria sp.</i>	Jará	f	d	ma	9.7	5.9	15.2	0.72	0.92	1.24	13800	97.1	48.8	8.1	10.8	7590	7100	4.8	670
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	m	in	ma	7.7	3.4	11.4	0.76	0.96	1.24	14600	109.3	55.9	10.1	14.8	9020	9650	6.9	880
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jatobá/Jutaí-mirim	m	in	ve	9.7	3.7	13.4	0.90	1.16	1.30	15700	122.5	61.3	16.0	17.2	10570	12220	7.7	980
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitibá-rosa	m	d	ma	8.1	5.1	14.0	0.58	0.68	1.06	10749	74.7	36.1	6.2	9.2				
<i>Dialium guianense</i>	Jutaípeba	f	r	ma	9.2	5.0	13.7	0.85	1.02	1.28	13400	107.2	55.9	17.9	15.0	12210	12240	6.2	890
<i>Sapium aereum</i>	Leiteiro	m	d	br	7.8	4.2	12.1	0.40	0.52	1.08	7800	40.7	21.3	2.2	5.2	1240	1010	2.1	330
<i>Beilschmiedia brasiliensis</i>	Louro	m	i	ma	9.4	6.2	14.3	0.59	0.73	1.14	11800	60.8	27.2	4.8	7.8	3490	3380	3.4	410
<i>Roupala montana</i>	Louro/Faeira	g	d	ma	12.3	6.3	18.0	0.77	1.05	1.24	14800	99.4	49.7	8.7	10.9	8050	8390	6.1	790
<i>Licaria rigida</i>	Louro/Louro-amarelo	m	in	am	9.1	5.3	13.5	0.73	0.95	1.11	14100	99.4	53.4	6.3	12.3	7550	7030	3.7	630
<i>Ocotea neesiana</i>	Louro-canela	m	r	ol	7.7	4.2	10.2	0.55	0.69	0.93	10600	71.6	36.8	4.6	10.3	4000	3510	5.9	520
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r		6.9	4.3	9.9	0.59	0.73	1.06	12200	77.9	43.3	6.4	9.3				420
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r	ma	7.8	3.6	11.1	0.63	0.71	1.04	12800	84.9	44.0	6.8	10.4	4820	5140	5.0	610
<i>Ocotea braccellensis</i>	Louro-inhamuí	m	r		6.8	3.6	10	0.55	0.68		8400	66.9	32.7	7.9	6.1	4810	4450	6.1	
<i>Ocotea fragrantissima</i>	Louro-preto	m	r	ma	5.7	3.0	10.1	0.48	0.58	0.94	10000	69.2	32.9	4.5	9.2	4250	3470	4.0	580
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro-tamanco	m	r	am	6.0	4.0	9.1	0.40	0.46	0.82	7600	44.2	26.7	3.6	7.9	3310	3080	2.8	320
<i>Nectandra rubra</i>	Louro-vermelho	m	r	ro	7.9	3.2	11.2	0.55	0.69	1.05	8900	62.0	30.9	4.7	6.9	3110	3260	3.5	
<i>Platymiscium sp.</i>	Macacauba				4.6	2.8	6.6	0.75	0.90		10600	109.3	54.3	11.1	9.8	9140	9110	6.0	
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.3	7.1	16.4	0.87	1.07	1.27	15400	127.2	68.3	16.8	12.5	10880	11180	3.5	870
<i>Manilkara sp.</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.4	6.7	15.0	0.89	1.17		12000	125.3	59.1	14.9	12.0	10460	10320	5.3	
<i>Zanthoxylon regnelianum</i>	Maminha-de-porca	m	d	ol	8.6	5.8	11.4	0.50	0.60	1.12	10200	74.7	32.6	4.7	8.9	3380	3050	3.4	630
<i>Qualea cf. lancifolia</i>	Mandioqueira	m	r	ci	8.1	3.1	11.5	0.58	0.73	1.15	11800	69.5	32.6	5.4	7.9	5070	4700	4.4	
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Qualea brevipedicellata</i>	Mandioqueira-áspera	mg	r	ma	8.6	4.4	13.6	0.74	0.96	1.17	14000	105.5	62.6	8.4	12.4	9150	8640	5.4	710
<i>Qualea dinizii</i>	Mandioqueira-escamosa	m	i	ci	9.1	4.6	13.5	0.54	0.69	1.14	9900	67.4	29.9	5.9	9.0		2700	4.7	650
<i>Qualea albiflora</i>	Mandioqueira-lisa	m	r	ci	9.5	5.3	14.7	0.57	0.75	1.14	11100	67.4	40.4	4.5	9.6	5390	4470	3.8	490
<i>Manilkara bidentata</i>	Maparajuba/Maçarandubá	f	d	ma	8.3	5.9	13.8	0.83	1.08	1.26	12600	108.1	53.9	12.7	12.9	6690	7810	6.0	670
<i>Pouteria obscura</i>	Maragonçalo	f	i	ma	7.4	4.4	11.8	0.64	0.81	1.21	11500	86.5	40.9	7.5	10.5	6540	6080	4.4	740
<i>Zizyphus itacaiunensis</i>	Maria-preta	f	r	ma	9.9	6.9	15.7	0.80	0.97	1.26	14000	103.6	50.5	12.7	14.0	9570	9730	5.5	690
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	6.8	4.8	8.3	0.37	0.45	1.12	6700	44.5	19.9	2.9	6.1	1670	1230	3.7	420
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	5.9	2.6	8.8	0.38	0.44	0.98	7300	46.3	21.6	2.7	6.0	2710	2210	2.8	
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamatá	m	d	ol	8.0	4.6	14.9	0.76	0.85	1.24	13400	95.6	44.6	8.3	8.8	7460	8040	2.8	510
<i>Eschweilera longipes</i>	Matamatá	m	d	ol	9.6	5.6	14.5	0.69	0.98	1.20	13400	104.7	47.6	8.2	9.5	6420	6830	3.6	530
<i>Eschweilera sp.</i>	Matamatá	m	d	ol	10.7	6.0	16.1	0.81	1.08	1.26	16000	120.4	58.1	10.7	12.1	10540	11870	7.0	680
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	11	4.3	14.9	0.69	0.91	1.21	12500	88.5	38.3	12.0	10.3	7140	7440		470
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	9.7	5.6	16.4	0.73	0.98	1.24	13200	102.9	43.3	10.3	9.5	7570	8540	4.0	540
<i>Lecythis idatinon</i>	Matamatá-vermelho	m	in	ma	10.3	4.9	15.3	0.76	1.00	1.26	12800	99.8	50.3	9.7	12.1	8000	8800	4.1	680
<i>Alexa grandiflora</i>	Melancieira	mg	o	br	9.9	4.7	14.5	0.60	0.79	1.17	9800	69.6	34.8	8.6	8.5	5230	5290	4.6	
<i>Mouriri callocarpa</i>	Miraúba	f	i	ol	11.1	7.1	17.4	0.88	1.09	1.28	14400	117.7	59.4	12.2	12.7	11320	11580	3.7	660
<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	m	d	br	9.1	6.7	15.7	0.41	0.54	1.03	9000	40.1	17.5	2.0	6.4	2620	1970	2.9	340
<i>Licania oblongifolia</i>	Mucucurana	m	r	ci	11.7	5.9	19.6	0.83	0.94	1.24	13400	96.3	46.8	10.4	11.3	9910	9670	4.1	500
<i>Astronium gracile</i>	Muiracatiara	m	r	ma	8.0	5.3	11.9	0.73	0.93	1.14	13800	90.6	49.0	7.7	11.3	5830	6850		700
<i>Astronium ulei</i>	Muiracatiara	m	in	ma	8.1	4.3	12.2	0.71	0.91	1.06	13200	89.2	45.9	6.1	14.7	6490	7060	4.4	610
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.2	4.1	11.0	0.75	0.94		11500	102.6	53.1	11.3	10.0	6720	6840	6.9	
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.6	4.6	11.9	0.79	1.00	1.19	13200	104.2	52.3	9.9	13.7	8010	9060	5.3	750
<i>Cassia scleroxylon</i>	Muirapixuna	m	i	pr	8.2	3.6	11.5	1.01	1.28	1.34	14800	130.5	77.1	23.5	16.9	10790	12430	3.8	880
<i>Maquira sclerophylla</i>	Muiratinga	m	i	br	9.4	4.2	13.7	0.57	0.74	1.09	10400	76.8	37.0	5.6	8.9	5600	5180	5.0	
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Munguba-grande-da-terra	m	i	ma	9.8	4.5	14.9	0.45	0.59	1.08	8000	48.8	22.8	3.4	5.3	2950	2720	2.2	
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r	ma	7.8	4.8	12.6	0.55	0.70	1.06	10000	67.2	31.1	4.5	7.2	4460	4150	3.9	600
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r		9.1	5.0	14.1	0.67	0.91	1.18	11100	93.7	43.8	7.2	10.8	4460	4150	3.3	
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	m	d	br	8.2	5.4	13.9	0.31	0.40	0.84	7100	34.6	15.7	1.5	4.0	2030	1400	1.7	
<i>Parkia multijuga</i>	Paricá grande da terra firme	m	i	ci	7.0	2.9	9.8	0.38	0.47	1.09	7200	49.9	23.0	3.7	6.6	3290	2890	3.7	
<i>Parinari excelsa</i>	Parinari	m	d	ma	10.2	5.3	14.8	0.75	0.92	1.25	14500	107.4	51.1	8.6	10.5	8750	7880	3.7	610
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	6.1	4.5	11.1	0.68	0.81	1.20	9400	94.9	41.8	9.6	11.8	7420	6650	6.2	
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	7.8	6.5	13.1	0.69	0.89	1.20	12400	99.8	47.2	9.8	12.6	7800	8000	4.6	590
<i>Drypetes variabilis</i>	Pau-branco	f	r	ol	11.3	5.8	15.9	0.71	0.95	1.24	12900	94.2	41.8	7.7	11.0	8010	7620	4.7	700
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	12.0	5.1	17.1	0.68	0.92	1.20	12900	75.5	36.9	5.9	12.4	6520	5830	5.9	
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	11.3	5.4	17.2	0.68	0.84	1.16	14100	79.9	37.4	6.3	8.8	6410	5730	7.0	700
<i>Zollernia paraensis</i>	Pau-santo	f	r	pr	9.6	5.0	16.8	0.97	1.26	1.32	16300	148.7	68.8	14.2	14.6	11930	13360	4.7	670
<i>Apeiba echinata</i>	Pente-de-macaco	mg	d	ci	6.5	2.3	9.3	0.36	0.44	0.78	5800	42.3	20.4	3.0	4.8	2860	2140	2.7	
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Caryocar sp.</i>	Pequiá	m	r		8.1	5.0	13.2	0.60	0.77		8600	74.1	38.9	9.3	10.2	5600	5910	6.4	
<i>Caryocar villosum</i>	Pequiá	m	r	ci	8.5	4.3	12.6	0.63	0.78	1.17	10000	74.3	32.2	9.1	10.3	3720	3920	5.5	640
<i>Caryocar glabrum</i>	Pequiarana	m	r	am	8.7	4.0	11.9	0.61	0.78	1.16	13200	80.4	33.6	6.7	10.3	5530	5970	4.0	680
<i>Rauvolfia paraensis</i>	Peroba-d'água	f	d	am	9.0	4.7	13.3	0.55	0.71	1.11	10290	69.8	33.6	5.6	8.7				
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Peroba-mico	f	r	ma	6.2	4.4	11.5	0.65	0.78	1.11	13600	98.6	52.2	9.2	12.2	7290	6110	3.7	
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	5.1	4.3	11.1	0.49	0.62	1.13	9400	54.3	23.6	4.4	7.4	3880	3310	3.4	360
<i>Sclerobium aff. Chrysophyll</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	7.4	3.7	11.0	0.62	0.78	1.12	11400	86.1	42.5	7.8	11.2	6760	5990	5.2	
<i>Trichilia lecointei</i>	Pracuúba-da-terra-firme	mf	in	ma	8.2	4.4	13.2	0.90	1.16	1.27	13600	107.6	55.5	14.0	14.8	8670	10380	5.7	710
<i>Aniba canelilla</i>	Preciosa	m	in	pr	8.2	6.4	13.6	0.92	1.19	1.30	16400	139.4	74.9	14.7	14.9	12250	12750	5.9	900
<i>Vochysia ferruginea</i>	Quaruba	m	d	ro	10.7	5.0	14.1	0.41	0.53	1.13	7500	50.5	21.8	3.5	6.3	2070	1820	3.4	510
<i>Erismia uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	10.0	4.3	13.4	0.46	0.59	1.11	9200	59.3	27.5	3.1	7.3	3580	2820	2.7	370
<i>Erismia uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	8.7	3.6	12.9	0.48	0.62	1.10	8700	59.0	30.0	3.3	6.1	3840	3240	2.7	370
<i>Vochysia guianensis</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	11.5	5.0	17.5	0.54	0.73	1.14	11500	71.4	29.6	3.9	7.1	4080	3850	3.5	480
<i>Vochysia melinonii</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	10.8	4.7	14.1	0.51	0.66	1.15	9400	56.8	29.3	3.7	8.6	4410	4190	3.4	410
<i>Vochysia obdensis</i>	Quaruba-rosa	m	r	ro	10.0	3.2	12.7	0.50	0.64	1.08	9900	61.3	30.4	4.4	7.9	4550	4280	3.8	460
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	9.1	3.3	13.0	0.46	0.59		8000	52.0	26.3	5.3	5.6	3750	3380	2.7	
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	8.8	4.0	12.1	0.49	0.62	1.11	9500	61.7	30.0	4.9	8.6	4420	4340	3.8	430
<i>Micrangelia venulosa</i>	Rosadinho	f	i	ma	9.7	4.7	14.0	0.67	0.87	1.21	13000	80.4	41.3	6.6	10.8	6450	5820	4.0	650
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.1	5.7	14.4	0.73	0.90	1.25	13900	100.8	49.7	11.4	12.0	8210	8400	4.5	640
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.4	6.3	15.2	0.75	0.99	1.22	14100	112.5	54.1	8.5	11.9	9030	9140	5.3	760
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.1	5.7	14.4	0.73	0.96	1.25	13900	100.8	49.7	11.4	12.0	8210	8400	5.3	760
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.4	6.3	15.2	0.75	0.90	1.22	14100	112.5	54.1	8.5	11.9	9030	9140	4.5	640
<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	d	rx	8.7	5.0	13.4	0.79	0.97	1.26	14000	109.8	53.6	16.2	13.7	9790	10630	4.2	740
<i>Peltogyne paniculata</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	r	rx	8.1	5.1	12.7	0.81	1.03	1.27	15700	131.7	69.4	20.7	14.5	11990	13310	4.4	780
<i>Micrandra rossiana</i>	Seringarana	f	d	ma	9.0	5.2	13.8	0.67	0.81	1.19	12000	77.1	34.7	5.0	10.3	5790	5720	4.6	500
<i>Allantoma lineata</i>	Seru	f	i	ci	7.5	5.5	11.6	0.60	0.75	1.21	10200	66.1	28.9	5.4	8.1	4230	4430	3.4	490
<i>Malouetia duckei</i>	Sorva	f	i	ci	9.2	3.7	12.7	0.57	0.73	1.15	10800	70.0	32.4	4.2	8.6	4670	4060	4.5	670
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Sucupira amarela	mg	r	am	9.3	4.2	12.7	0.84	1.08	1.21	14900	117.9	58.1	14.2	15.4	8840	9860	6.4	780
<i>Diploporia purpurea</i>	Sucupira-da-terra-firme	m	r	ma	8.8	6.7	15.6	0.74	0.90	1.19	16800	113.5	56.8	10.2	13.2	7940	7820	3.5	760
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r		8.5	5.8	14.2	0.74	0.96	1.20	15900	114.5	62.2	9.6	13.7	9920	9860	3.6	670
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	7.4	4.5	12.3	0.77	0.98		11400	115.9	56.6	13.5	11.9	9710	9700	5.9	
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	9.0	6.0	14.7	0.85	0.96	1.22	16400	136.9	74.6	10.1	14.9	12030	12660	6.4	780
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumáma	m	d	ci	5.5	2.7	9.3	0.29	0.36	1.01	4300	26.9	12.8	1.6	3.0	1490	1330	1.8	
<i>Sterculia apeibophylla</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.4	15.4	0.47	0.61	1.10	9400	57.2	26.2	2.8	6.5	2010	1870	2.8	400
<i>Sterculia pilosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	mg	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.53	0.71	1.10	10000	61.9	28.3	3.6	6.3	3860	3950	3.1	
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.2	16.2	0.49	0.65	1.09	11300	60.7	25.6	2.7	7.1	3590	3230	3.1	
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.53	0.71		10000	61.9	28.3	3.6	6.3	3860	3950	2.8	350
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Tachigali cavipes</i>	Tachi-branco	m	r	ol	6.3	4.6	9.7	0.40	0.55	1.02	7900	33.3	20.9	3.2	7.6	4060	3230	2.4	360
<i>Tachigali multijuga</i>	Tachi-preto	m	r	ol	7.4	4.2	12.8	0.57	0.64	1.13	13200	78.6	33.3	5.1	8.4	5250	4890	2.7	530
<i>Caraipea densiflora</i>	Tamaquaré	m	i		9.9	6.5	15.6	0.63	0.77	1.21	12700	80.6	36.7	4.7	9.6	5060	4680	3.8	560
<i>Buchenavia capitata</i>	Tanibuca	m	r	ol	11.6	5.9	16.7	0.70	0.84	1.26	11500	82.7	40.8	10.0	10.3	5010	4650	4.0	630
<i>Buchenavia cf. viridiflora</i>	Tanibuca	m	o	ol	7.3	5.7	11.2	0.67	0.88	1.19	11200	97.4	44.6	11.0	13.2	8240	7240		530
<i>Buchenavia grandis</i>	Tanibuca	m	r	ol	7.4	4.7	12.2	0.72	0.89	1.22	10600	90.1	43.7	8.7	11.0	7760	7550	5.1	590
<i>Buchenavia sp.</i>	Tanibuca	m	o	ol	7.4	3.9	12.7	0.72	0.86	1.19	12200	99.9	47.8	9.6	11.6	7850	7540	4.1	600
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	7.4	4.2	10.4	0.38	0.48	1.05	6900	41.8	18.5	2.0	5.2	1280	950	3.1	
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	6.0	2.5	9.5	0.38	0.45		7000	40.0	17.9	2.2	4.6	2480	2020	2.4	400
<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	mf	d	ma	8.3	3.6	11.5	0.50	0.63	0.96	9100	57.1	28.6	4.1	8.2	4400	3710	3.9	
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	m	d	ci	6.1	3.6	10.4	0.52	0.65	1.11	9400	68.5	32.4	5.8	8.3	4810	4290	5.2	
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.1	3.6	10.4	0.49	0.61	1.09	9500	58.9	27.7	4.6	6.9	3800	3560	3.3	
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.6	4.2	11	0.50	0.63	1.13	10200	64.9	29.8	4.0	8.9	3990	3720	4.6	550
<i>Couratari stellata</i>	Tauari	m	d	am	7.8	5.8	13.4	0.65	0.84	1.13	13400	99.0	45.4	8.3	9.8	6950	6790	5.4	
<i>Tachigali sp.</i>	Taxi	m	r	ol	7.0	4.1	11.9	0.48	0.58	1.03	10500	68.2	28.0	3.6	9.8	4010	3380	3.1	540
<i>Sclerolobium paraense</i>	Taxi-branco	m	r	ol	8.3	4.0	12.3	0.61	0.78	1.17	12500	89.4	43.3	7.1	12.8	7370	7200	5.1	670
<i>Sclerolobium poeppigianum</i>	Taxi-preto/Taxi-pitomba	m	i	ci	8.1	4.2	12.6	0.65	0.83	1.17	12900	94.5	47.4	6.0	10.8	6770	6450	4.3	540
<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>	Taxi-vermelho	m	i	ol	8.0	4.2	12.1	0.61	0.78	1.07	11800	79.7	44.4	5.4	12.2	7320	7270	4.9	590
<i>Tachigali myrmecophila</i>	Taxizeiro preto	m	r	ol	7.3	4.1	11.1	0.56	0.71	1.07	10500	78.7	37.7	7.1	10.5	5810	5030	2.3	330
<i>Ormosia coccinea</i>	Tento	g	r	ro	6.7	3.9	10.9	0.58	0.72	1.18	9000	63.1	33.8	7.2	8.8	5680	5520	3.7	510
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r	ro	10.3	4.7	14.7	0.67	0.73	1.17	13200	86.2	45.8	8.1	9.6	6660	6490	3.7	510
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r		8.6	4.8	13.8	0.65	0.73	1.19	8900	44.8	36.5	8.7	8.2	6190	6270	0.9	360
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	7.1	4.9	11.3	0.72	0.91	1.10	12300	108.3	51.9	10.4	11	7120	7380	4.6	670
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	8.3	5.1	13.1	0.76	0.98	1.17	13400	107.9	54.1	8.9	13.9	7390	8350	5.6	670
<i>Pouteria oblanceolata</i>	Tuturubá	f	d	ma	8.9	5.2	13.8	0.79	0.96	1.27	13800	115.4	54.8	11.1	11.4	10140	10100	4.4	540
<i>Endopleura uchi</i>	Uchi-liso	m	d	ma	9.6	6.4	15.6	0.78	1.04	1.18	14600	116.3	55.6	8.0	13.9	9540	9120	5.5	580
<i>Virola michellii</i>	Ucuúba-da-terra-firme	m	d		9.9	4.7	14.8	0.50	0.66	1.04	10000	57.7	26.9	3.2	6.8	3820	3380	4.3	
<i>Iryanthera grandis</i>	Ucuubarana	mf	d	ma	8.7	5.4	13.5	0.63	0.82	1.12	10900	73.9	36.0	5.4	8.1	4140	4400	4.2	
<i>Osteophloeum platyspermu</i>	Ucuubarana	m	d	ma	9.4	5.3	14.5	0.46	0.59	1.01	9600	43.1	21.1	1.9	5.8	2640	2330	2.6	350
<i>Osteophloeum platyspermu</i>	Ucuubarana	m	d		7.4	3.6	10.8	0.50	0.59	1.12	11000	57.7	27.2	3.7	7.5	3210	3020	3.8	470
<i>Bixa arborea</i>	Urucu-da-mata	m	d	ma	6.0	2.6	9.1	0.32	0.39	0.88	6500	45.3	22.1	2.4	5.2	2840	1540	2.1	
<i>Sloanea nitida</i>	Urucurana	m	d	ma	11.2	5.3	18.6	0.90	1.08	1.30	15100	118.4	58.6	12.9	15.9	11920	12420	4.7	800
<i>Sloanea sp.</i>	Urucurana	m	d	ma	8.7	5.6	15.5	0.72	0.96	1.21	13100	127.2	44.5	9.5	10.8	8720	8830	4.1	900
<i>Swartzia recurva</i>	Urucurana	m	d	am	8.5	6.2	15.0	0.77	0.92	1.22	16700	108.1	49.4	7.9	10.7	8230	8320	5.7	750
<i>Vantanea parviflora</i>	Uxirana	m	i	ma	10.3	8.2	17.6	0.86	1.17	1.20	16600	125.9	66.3	9.9	13.6	10750	10430	5.9	720
<i>Virola surinamensis</i>	Virola	mf	d	ma	8.6	3.2	12.0	0.35	0.44	1.09	7700	35.1	15.4	1.4	4.3	1990	1600	2.0	200
<i>Tachigali cf. myrmecophila</i>		m	r	ol	7.5	5.2	11.9	0.57	0.72	1.12	11500	82.2	40.2	5.3	11.4	5980	5880	4.8	620
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

10.4 ANEXO A4: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pelo Nome popular - Madeira Seca

Legenda do cabeçalho da tabela:

Textura: (f-Fina, m-média, g-grossa, mg-média a grossa, mf-média a fina)

Grã: (d-direita, r-reversa, i-irregular, in-inclinada, o-ondulada)

CT - Contração tangencial

CR - Contração radial

CV - Contração volumétrica

Db - Densidade básica

Dap. - Densidade aparente a 12% de teor de umidade

Dv - Densidade verde (saturado em água)

MOE - Módulo de elasticidade na flexão

MOR - Tensão de ruptura na flexão

CPA - Tensão de ruptura na compressão paralela às fibras

CPE - Tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras

CIS - Tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras

DE- Dureza Janka paralela às fibras

DT - Dureza Janka perpendicular às fibras

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Ocotea costulata</i>	Abacatirana	m	r	am	6.6	3.9	11.6	0.62	0.94	10100	92.6	52.7	7.3	11.2	5650	4650	3.4	470	1.7
<i>Pouteria oppositifolia</i>	Abiu-branco	f	in	ma	7.8	4.6	12.5	0.83	1.20	13818	125.5	67.3	13.0	13.7					1.7
<i>Priourella priourii</i>	Abiu-de-casca-fina	m	d	ma	13.0	7.7	20.3	0.99		17500	177.4	76.0	15.3	20.0	12120	12360	4.3		1.7
<i>Pouteria egregia</i>	Abiu-pitomba	mf	i	ma	11.2	6.8	15.7	1.12	1.23	17900	175.2	90.7	15.0	19.4	14810	13380	5.8	900	1.6
<i>Diploon venezuelana</i>	Abiurana	f	d	ma	10.1	7.1	15.7	1.13	1.20	18100	190.6	98.3	19.8	20.0	12060	13360	3.2	550	1.4
<i>Pouteria guianensis</i>	Abiurana	m	o	ve	9.0	5.1	13.3	0.94	1.28	15192	143.3	69.4	15.5	12.9	12030	13250	6.1		1.8
<i>Micropholis guianensis</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	11.2	6.6	16.6	0.90	1.19	15200	132.9	76.1	11.0	8.1	9780	7280	2.5	760	1.7
<i>Micropholis mensalis</i>	Abiurana-branca	f	i	ma	9.6	5.2	14.7	0.74	1.11	13700	122.5	58.9	9.6	13.7	9780	7280	4.2	640	1.8
<i>Pouteria gongrijpii</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	10.1	4.5	15.0	0.95	1.24	15600	147.3	77.0	12.8	18.0	11900	10870	4.9	800	2.2
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.5	5.5	14.9	0.91	1.24	14900	152.2	78.2	12.9	11.2	13130	11180	9.0	1030	1.7
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.4	5.3	14.5	1.15	1.28	17900	171.8	89.4	16.6	16.7	13500	10300	5.0	580	1.8
<i>Hura creptans</i>	Açacu	m	r	br	5.2	3.7	7.5	0.48	1.08	8600	69.0	33.6	4.8	7.1	3920	2830	2.6	340	1.4
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.5	4.6	13.3	0.80	1.14	14500	125.6	63.7	9.4	12.8	9730	8170	4.4	470	2.1
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.3	4.7	13.7	0.83	1.12	13800	127.1	61.0	10.9	12.0	9040	7860	4.7		2.0
<i>Parahancornia amapa</i>	Amapá-amargoso	f	r	br	6.8	3.7	10.7	0.56	1.13	11300	90.8	46.8	6.1	9.8	5400	3580	4.0	520	1.8
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Conduru	m	r	ve	8.1	5.3	12.0	0.81	1.24	16700	150.4	78.1	12.6	12.8	10860	9530	4.0	580	1.5
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Conduru	m	r	ve	7.8	5.3	13.2	0.94		14900	139.4	72.7	12.5	13.7	10700	9180	4.2		1.5
<i>Brosimum parinaroides</i>	Amapá-doce	m	r	ma	7.7	4.5	12.6	0.73	1.13	11500	104.3	58.1	8.2	10.2	7340	5670	3.0		1.7
<i>Brosimum potabile</i>	Amapá-doce	m	r	ma	6.8	4.1	11.9	0.67	1.13	11000	99.1	56.1	8.4	10.4	7390	5370	3.2		1.7
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	m	r	la	5.9	3.2	9.4	0.91	1.22	12900	156.5	87.8	22.8	15.9	11640	10820	5.4	700	1.8
<i>Symphonia globulifera</i>	Anani	m	d	ma	7.9	4.5	13.2	0.75	1.12	14000	111.4	62.5	7.3	10.6	6800	5710	3.3	330	1.8
<i>Andira retusa</i>	Andirá-uxi	g	r	ma	7.9	5.6	12.5	0.70	1.18	13600	124.3	62.6	11.3	14.1	9850	8110	4.7		1.4
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	7.0	4.5	11.8	0.71		10500	96.7	54.5	9.7	9.8	8240	6400			1.5
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	8.1	4.4	12.6	0.76	1.03	12000	109.3	60.9	9.0	11.1	8410	6420	4.1		1.8
<i>Dicorynia paraensis</i>	Angélica-do-pará	g	r	ci	7.2	3.6	11.5	0.58	1.09	9100	74.8	45.3	5.8	10.7	6080	4290	3.7	500	2.0
<i>Vatairea guianensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.7	4.8	14.8	0.83	1.21	13600	112.9	58.5	8.1	10.2	7500	6950	3.9	540	2.0
<i>Vatairea paraensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.8	4.8	14.0	1.02	1.24	15300	151.3	79.3	13.1	16.1	9340	9860	4.2	650	2.0
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	mg	in	ma	8.4	4.5	13.9	0.90	1.22	15200	138.1	66.1	11.4	14.1	7800	8050	3.6	500	1.9
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	m-g	i		9.0	6.0	15.0	0.90	1.22	15000	133.6	81.9	14.0	14.3	12090	11610	3.6	620	1.5
<i>Vataireopsis speciosa</i>	Angelim-amargoso	g	r	ma	6.4	3.0	9.9	0.74	1.17	11800	103.7	54.1	9.4	8.9	4980	4730	2.4	360	2.1
<i>Hymenolobium sp.</i>	Angelim-da-mata	g	r	ma	7.2	3.7	9.9	0.72	1.20	12100	114.1	57.4	11.4	13.3	8300	6450	4.8	560	1.9
<i>Hymenolobium cf. pulcherrimum</i>	Angelim-pedra	g	r	ro	9.0	5.4	13.6	0.71	1.17	12700	114.8	63.9	9.9	12.6	6400	5470	3.6	540	1.7
<i>Hymenolobium modestum</i>	Angelim-pedra	g	r	ve	7.7	4.6	13.5	0.84	1.19	13500	120.8	61.1	10.7	14.0	8060	7470	3.9	550	1.7
<i>Hymenolobium nitidum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	7.2	4.3	11.8	0.69	1.16	11800	96.2	53.5	8.6	12.7	7400	5700	3.8	510	1.7
<i>Hymenolobium petraeum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	6.3	4.1	10.1	0.71	1.19	11800	111.5	53.3	11.5	12.5	7810	5900	3.9		1.5
<i>Marmaroxylon racemosum</i>	Angelim-rajado	m	d	am	9.3	5.9	15.2	0.99	1.26	16700	166.8	80.7	19.3	17.6	15180	14410	2.9		1.6
<i>Andira sp.</i>	Angelim-tinto	g	r	ma	9.5		14.3	0.90	1.22	16400	124.5	67.3	11.8	15.1	9840	9020	4.1	640	
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim-vermelho	m	r	ma	9.5	5.7	14.5	1.09	1.26	17300	160.0	87.3	15.1	18.0	14600	13810	3.9	670	1.7
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	Aracanga	m	r	la	9.0	5.8	14.5	0.82	1.22	14900	135.6	69.2	12.1	12.9	9430	7970	3.0	560	1.6
<i>Macarobium acacifolium</i>	Arapari	m	i	ma	6.4	2.9	10.0	0.63	1.16	9100	81.0	43.6	6.8	10.5	6700	5230	3.4	500	2.2
<i>Macarobium sp.</i>	Araparirana	m	in	ma	8.8	3.7	11.9	0.64	1.15	10100	84.1	45.4	7.3	13.2	7510	5480	3.8	510	2.4
<i>Protium sp.</i>	Breu	m	in	ma	9.8	5.1	15.0	1.00	1.12	15800	140.7	80.5	11.8	18.2	12480	10510	4.8	670	1.9
<i>Dacryodes spp.</i>	Breu-branco	m	r	ma	6.5	4.5	11.6	0.59	1.04	14300	101.6	47.0	7.0	13.6	6320	4300	4.4	510	1.4
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-manga	m	r	ma	9.0	4.6	13.0	0.95	1.04	14600	137.3	77.9	15.5	18.3	12250	9840	6.6	700	2.0
<i>Protium tenuifolium</i>	Breu-preto	mf	o	ma	8.4	4.2	12.0	0.80	1.03	12900	116.4	64.5	9.4	14.9	9160	6880	5.0	610	2.0
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.9	5.1	15.0	0.92	1.20	13500	124.9	70.1	14.4	20.5	14150	12920	5.4	810	1.9
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.8	5.0	14.9	0.99	1.23	14300	126.0	61.7	13.1	19.3	13850	11510	5.1	630	2.0
<i>Protium heptaphyllum</i>	Breu-sucuruba	mf	d	ma	8.4	4.1	12.6	0.70		10000	86.8	49.0	6.9	10.0	4540	3980	5.5		2.0
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	7.2	5.1	11.8	0.56	0.96	11200	65.4	46.0	5.9	8.4	4700	3160	3.7	580	1.4
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	6.8	4.1	11.7	0.63		9800	77.8	45.0	5.5	10.1	5200		3.6		1.7
<i>Sapium marmieri</i>	Burra-leiteira	m	d	br	7.5	5.6	10.8	0.48	1.09	9100	63.9	33.2	3.8	6.7	2340	1470	2.8	380	1.3
<i>Myrocarpus frondosus</i>	Cabreúva-parda	m	i	ma	7.0	4.4	11.3	0.92	1.18	15400	157.2	87.6	13.8	18.2	15590	13950	4.1	580	1.6
<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuacu	m	r	ci	6.0	2.7	8.5	0.49	1.04	10200	65.4	39.1	4.6	7.9	3740	2290	2.6	330	2.2
<i>Anacardium microcarpum</i>	Cajuacu	f	d	ci	6.1	3.5	9.7	0.46	1.10	9600	56.8	38.3	4.0	8.3	3870	2600	2.4	360	1.7
<i>Anacardium parvifolium</i>	Cajuacu	m	r	ci	5.4	3.3	8.6	0.54	1.13	10800	73.5	35.3	4.2	9.2	4480	3320	2.3	330	1.6
<i>Anacardium spruceanum</i>	Cajuacu	m	r	ci	6.0	2.9	9.4	0.52	1.04	10000	65.4	37.2	4.5	6.9	3900	2540	2.9		2.1
<i>Anacardium tenuifolium</i>	Cajuí	m	d	ci	4.9	3.1	8.7	0.52	1.13	9700	50.6	33.5	4.1	9.2	3890	2640	2.5	360	1.6
<i>Cassia fastuosa</i>	Canafistula	mg	r	ma	9.1	6.2	15.3	0.87	1.22	13400	116.2	73.6	13.0	14.7	12500	11340	3.3	470	1.5
<i>Licania octandra</i>	Caraipé	m	d	ci	11.9	6.1	17.4	1.04	1.25	17400	164.2	85.0	11.7	15.5	12440	12490	4.1	490	2.0
<i>Licania gracilipes</i>	Caraiperana	m	i	ci	12.5	5.5	18.1	1.02	1.23	16500	161.6	86.1	15.4	16.1	15100	14940	4.2	640	2.3
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha-de-arara	mg	d	ci	6.1	2.8	9.8	0.48	1.03	8400	64.9	35.1	4.9	6.0	3920	2640	3.3		2.2
<i>Acioa edulis</i>	Castanha-de-cutia	m	r	ma	10.3	8.0	17.5	1.04	1.23	16600	153.6	82.6	16.0	15.8	10740	12230	4.4	620	1.3
<i>Acioa sp.</i>	Castanha-de-cutia	m	o	ma	9.7	5.3	15.1	0.97	1.20	14900	142.9	75.7	13.4	17.0	14170	12170	5.0	900	1.8
<i>Couepia robusta</i>	Castanha-de-cutia	m	i	ma	11.0	5.8	15.7	1.03	1.21	15900	157.6	80.4	19.4	13.3	13610	14540	4.0	590	1.9
<i>Lecythis pisonis</i>	Castanha-sapucaia	m	r	ve	8.0	5.6	13.9	1.09	1.25	15100	152.9	71.6	15.2	17.5	13250	12840	4.3	590	1.4
<i>Castilla ulei</i>	Caucho	m	r	br	10.5	5.2	16.1	0.47	1.07	9100	56.9	37.5	3.7	6.0	2770	1420	1.9	300	2.0
<i>Micrandra minor</i>	Cauchorana	m	d	ma	7.4	2.5	9.8	0.48	0.99	10000	74.9	38.6	4.5	10.5	4640	3190	3.3	370	3.0
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	g	d	ro	12.1	9.1	20.8	0.47	1.06	9900	76.8	53.5	4.6	7.0	6140	3240	2.9	410	1.3
<i>Cedrela sp.</i>	Cedro	g	d	ro	6.2	4.4	9.6	0.53		8100	71.4	44.6	5.8	7.5	3240	4450	3.8		1.4
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedrorana	g	d	ci	8.0	4.1	11.6	0.56	1.10	11400	90.5	63.5	6.2	9.9	5710	4700	4.7	590	2.0
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira	g	r	am	5.4	2.9	8.2	0.57	1.13	8800	78.5	69.5	10.7	10.6	5200	3990	3.1	450	1.9
<i>Copaifera duckei</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.79	1.11	12300	117.9	60.0	9.9	12.2	8670	6440	4.4		2.0
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaiba	m	d	ma	6.7	3.6	11.4	0.63	1.10	12100	86.8	50.8	6.6	11.7	6840	4840	3.3	470	1.9
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.79	1.11	12300	117.9	60.0	9.9	12.2	8670	6440	4.4		2.0
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.7	3.9	10.3	0.58		9900	66.7	44.0	7.9	8.1	4140	4140	3.1		2.0
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	6.8	3.9	10.3	0.62		12300	87.6	54.9	5.9	9.3	4630	3790	4.3	560	1.7
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.5	4.9	12.7	0.72	1.16	11800	93.4	61.4	7.0	11.5	7320	5770	3.0	460	1.5
<i>Terminalia cf. argentea</i>	Cuia	m	i	ol	9.8	5.8	15.2	0.97	1.25	15700	144.8	86.3	13.1	14.0	15720	1424	4.5	600	1.7
<i>Buchenavia huberi</i>	Cuiarana	mf	d	ol	9.1	6.0	14.7	1.04	1.24	15600	158.0	85.3	17.7	16.7	13580	11860	4.6		1.5
<i>Terminalia amazonica</i>	Cuiarana	m	o	ol	7.8	5.2	12.8	1.03	1.24	14300	148.9	79.5	14.3	14.2	11660	10140	5.3		1.5
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú	m	r	am	8.4	5.4	13.5	1.07	1.28	18300	176.4	98.7	21.0	22.4	13390	16010	4.9	870	1.6
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r	ma	8.9	5.0	13.1	0.88	1.17	13000	118.4	66.2	12.9	15.5	11510	9740		700	1.8
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r		8.4	4.5	13.2	0.92	1.13	14900	134.0	68.9	14.8	14.8	10190	8300	4.2	560	1.9
<i>Diclinanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10.1	3.2	13.6	0.61	1.07	11300	95.4	49.8	7.8	7.6	5160	4030	3.1		3.2
<i>Rollinia exsucca</i>	Envira	m	d	ci	8.8	3.2	12.3	0.66	1.02	12000	91.4	53.3	9.1	8.6	5390	3920		300	2.8
<i>Xylopia nitida</i>	Envira	m	d	ol	11.4	6.7	16.6	0.75	1.09	16200	119.3	63.3	5.8	8.6	6690	5070	2.3	480	1.7
<i>Pterocarpus sp.</i>	Envira-de-preguiça	f	d	br	5.4	3.3	9.8	0.55	1.02	10400	84.1	39.6	5.0	12.6	5680	4150	3.3	450	1.6
<i>Guatteria olivacea</i>	Envira-preta	m	d	ol	9.3	4.4	13.0	0.85	1.11	11400	92.0	43.1	3.1	8.9	5920	4850	3.9		2.1
<i>Guatteria procera</i>	Envira-preta	mg	d	ol	11.4	7.2	18.5	0.89	1.17	15600	123.9	70.5	5.5	10.7	7590	6660	2.7	500	1.6
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.1	4.9	14.0	0.74	1.12	14000	126.5	71.0	6.4	10.4	6800	5710	2.9		1.7
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.7	3.9	12.7	0.82	1.09	15300	125.2	66.5	6.6	10.4	8220	6950	2.4	510	2.2
<i>Virola carinata</i>	Envirola	mf	d	ma	9.6	4.5	13.9	0.48	1.07	10200	63.3	40.2	2.5	5.7		2350	2.2	310	2.1
<i>Acacia polyphylla</i>	Espinheiro-preto	m	d	am	10.1	4.9	14.0	0.74	1.20	13200	106.6	59.0	8.7	11.7	6910	4960	3.5	650	2.1
<i>Parkia paraensis</i>	Fava-arara-tucupi	m	i	ci	7.6	3.5	11.9	0.56	1.01	11700	75.0	39.4	4.7	9.8	3990	3370	3.5	570	2.2
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava-bolota/Visqueiro	m	r	br	5.8	2.2	8.8	0.31	0.95	9000	31.2	22.6	2.0	6.4	2350	1710	1.7	230	2.6
<i>Stryphnodendron pulcherrim</i>	Fava-branca	m	i	ma	7.5	5.1	11.1	0.61	1.00	12100	97.8	45.8	4.9	12.5	7450	5940	3.1	370	1.5
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	i	br	5.3	2.7	8.7	0.38	0.90	9700	83.6	35.5	5.6	9.7	3050	2740	3.2	390	2.0
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	d-r		5.4	2.7	7.9	0.50	1.08	9700	83.6	35.5	5.6	9.6	4130	2910	3.2	390	2.0
<i>Parkia sp.</i>	Faveira	m	d	br	5.4	2.4	8.1	0.32	1.06	6300	39.9	24.0	2.3	5.5			1.4	240	2.3
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.8	3.8	11	0.63	1.13	11800	86.4	49.2	7.2	11.5	5450	4290	4.0	510	2.1
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.2	2.5	10.0	0.63	1.10	11000	93.9	48.9	7.8	9.9	5340	4350	3.8		2.9
<i>Piptadenia communis</i>	Faveira-folha-fina	m	in	ma	7.4	4.5	13.3	0.88	1.12	13700	118.3	70.0	11.7	13.4	7360	7570	3.8		1.6
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.5	2.4	6.7	0.44	1.05	9400	83.6	43.4	6.0	9.0	3930	2880	3.1		1.9
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.6	2.3	6.8	0.50	1.05	7800	49.8	38.4	4.2	7.8	5040	3390	2.3	320	2.0
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	m	r	br	9.7	5.0	14.1	0.45	1.09	8100	62.8	38.4	4.0	6.6	2120	1220	2.0	310	1.9
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	m	d	br	11.7	6.3	18.0	0.67	1.10	12100	82.9	50.9	3.8	7.8	5730	4370	3.4		1.9
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	m	i	ci	6.6	4.1	10.6	0.60	0.92	10400	93.2	51.7	6.2	8.5	6080	4520	3.1		1.6
<i>Cordia sagotii</i>	Freijó	m	d	ci	7.7	3.8	11.3	0.63	0.92	10000	88.1	48.8	8.4	7.7	5250	4000	3.5		2.0
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8.1	4.5	11.4	0.63		11273	92.2	50.4	8.4	10.4					1.8
<i>Apuleia molaris</i>	Garapeira	m	r	ma	10.1	6.5	15.9	0.88	1.25	12900	127.2	64.4	15.8	13.1	7450	8450	5.6	680	1.6
<i>Brosimum utile</i>	Garrote	m	r	ma	7.7	4.8	12.0	0.58	1.12	11600	77.4	47.0	4.8	10.1	5870	4290	2.9	380	1.6
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Glycydendron amazonicum</i>	Glicia	m	o	ro	7.6	4.9	12.0	0.84	1.11	15200	128.4	66.3	10.4	13.7	8730	7580	3.4	460	1.6
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	11.2	6.2	16.5	0.93	1.19	17200	164.8	84.2	11.2	18.5	15520	13070	4.7	820	1.8
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	12.6	6.5	18.1	1.01	1.17	16700	158.6	75.5	11.8	17.1	12330	10930	5.9	640	1.9
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba/Oiticica	m	r	am	7.1	3.7	9.6	0.66	1.17	12400	111.0	65.8	9.5	11.9	7910	6280	2.9	510	1.9
<i>Inga alba</i>	Ingá	mg	o	ma	9.6	4.0	13.3	0.80	1.17	13600	123.1	61.4	8.3	14.6	8630	6430	4.6	720	2.4
<i>Inga paraensis</i>	Ingá/Ingarana	mg	in	ma	10.7	5.3	15.9	1.09	1.26	18300	186.6	85.0	14.7	21.8	15180	13900			2.0
<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	Ingá-de-porco	m	r	ma	7.6	4.3	11.0	0.61	1.15	11900	99.2	51.0	8.0	12.2	8320	6030	4.2	500	1.8
<i>Inga sp.</i>	Ingarana	mg	in	ma	9.6	4.1	12.0	0.74	1.17	15800	161.1	83.7	13.7	20.6	15160	12910	7.8	710	2.3
<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê	m	r	ol	8.0	6.6	13.2	1.19	1.2	13100	172.6	86.9	25.3	13.7	14800	14060	3.9		1.2
<i>Tabebuia sp.</i>	Ipê	m	r	ol	6.8	6.1	12.4	1.02	1.24	16200	187.7	103.8	21.3	17.4	14050		4.5	760	1.1
<i>Tabebuia cf. incana</i>	Ipê-amarelo	m	r	ma	8.4	5.9	13.3	1.05	1.21	16800	177.0	105.4	21.7	15.8			4.5	690	1.4
<i>Mezilaurus lindaviana</i>	Itaúba	mg	i	ol	8.3	3.3	11.6	0.86	1.09	12800	117.0	57.3	9.7	8.6	4520	4500	4.1		2.5
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	6.8	3.0	10.1	0.85		10800	111.3	56.5	9.7	8.6	5540	5540	5.6		2.3
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	7.9	2.6	10.5	0.88	1.14	12300	114.4	58.3	11.0	10.3	5500	5910	4.7		3.0
<i>Callophyllum brasiliense</i>	Jacareúba	m	r	ma	8.4	5.4	13	0.69		8700	89.4	54.3	9.7	10.8	8020	5780	4.6		1.6
<i>Brosimum alicastrum</i>	Janitá	m	d	ma	9.4	5.6	16.0	0.99	1.23	16300	155.7	87.9	11.4	15.1	11510	9340	4.5	700	1.7
<i>Pouteria sp.</i>	Jará	f	d	ma	9.7	5.9	15.2	0.92	1.24	17200	158.3	80.4	13.1	13.4	12250	10970	4.9	700	1.6
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	m	in	ma	7.7	3.4	11.4	0.96	1.24	15900	139.9	77.3	14.1	19.4	12530	11160	6.8	760	2.3
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jatobá/Jutaí-mirim	m	in	ve	9.7	3.7	13.4	1.16	1.30	17300	173.2	96.6	19.2	23.6	16710	17200	6.6	730	2.6
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitibá-rosa	m	d	ma	8.1	5.1	14.0	0.68	1.06	12800	110.4	51.2	7.4	11.2	4670	4400	5.2	710	1.6
<i>Dialium guianense</i>	Jutaípeba	f	r	ma	9.2	5.0	13.7	1.02	1.28	17500	192.3	92.2	22.3	22.8	17220	16670	4.5	730	1.8
<i>Sapium aereum</i>	Leiteiro	m	d	br	7.8	4.2	12.1	0.52	1.08	10100	71.4	44.3	5.2	7.0	2780	1720	2.8	370	1.9
<i>Beilschmiedia brasiliensis</i>	Louro	m	i	ma	9.4	6.2	14.3	0.73	1.14	13800	114.1	48.5	5.9	12.0	5740	5700	3.5	540	1.5
<i>Roupala montana</i>	Louro/Faieira	g	d	ma	12.3	6.3	18.0	1.05	1.24	17300	161.4	84.6	11.2	15.7	9760	9840	6.3	870	2.0
<i>Licaria rigida</i>	Louro/Louro-amarelo	m	in	am	9.1	5.3	13.5	0.95	1.11	17900	168.8	87.2	13.0	17.1	10770	9160	5.4	570	1.7
<i>Ocotea neesiana</i>	Louro-canela	m	r	ol	7.7	4.2	10.2	0.69	0.93	12100	110.1	61.2	7.3	12.7	5030	4580	5.6		1.8
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r	ma	7.8	3.6	11.1	0.71	1.04	14300	122.1	64.7	9.9	12.6	5340	5360	4.9	710	2.2
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r		6.9	4.3	9.9	0.73	1.06	14000	129.2	63.2	12.3	9.0	5670	5510	3.0	470	1.6
<i>Ocotea braccellensis</i>	Louro-inhamuí	m	r		6.8	3.6	10	0.68		10300	101.3	57.3	9.5	9.5	5510	5150	6.2		1.9
<i>Ocotea fragrantissima</i>	Louro-preto	m	r	ma	5.7	3.0	10.1	0.58	0.94	10500	93.4	48.1	6.2	12.4	4890	4820	4.0	460	1.9
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro-tamanco	m	r	am	6.0	4.0	9.1	0.46	0.82	8700	67.4	38.4	3.9	8.7	3420	3430	3.5	440	1.5
<i>Nectandra rubra</i>	Louro-vermelho	m	r	ro	7.9	3.2	11.2	0.69	1.05	10900	79.4	50.9	4.9	7.5	3420	3430	3.0		2.5
<i>Platymiscium sp.</i>	Macacauba				4.6	2.8	6.6	0.90		14675	136.8	73.0	14.6	14.8					1.6
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.3	7.1	16.4	1.07	1.27	17400	179.7	110.9	17.3	17.1	15150	13820	5.1	880	1.3
<i>Manilkara sp.</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.4	6.7	15.0	1.17		14200	172.9	84.1	19.8	15.8	15320	14640	6.9		1.4
<i>Zanthoxylon regnelianum</i>	Maninha-de-porca	m	d	ol	8.6	5.8	11.4	0.60	1.12	11000	108.7	52.5	7.7	9.8	5230	3590	3.4	560	1.5
<i>Qualea cf. lancifolia</i>	Mandioqueira	m	r	ci	8.1	3.1	11.5	0.73	1.15	12800	109.7	60.0	7.0	10.5	5860	4860	4.2		2.6
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Qualea brevipedicellata</i>	Mandioqueira-áspera	mg	r	ma	8.6	4.4	13.6	0.96	1.17	15900	134.6	81.4	14.5	13.4	11250	9820	2.3	490	2.0
<i>Qualea dinizii</i>	Mandioqueira-escamosa	m	i	ci	9.1	4.6	13.5	0.69	1.14	11600	104.4	52.4	8.3	10.0		2710	3.9	540	2.0
<i>Qualea albiflora</i>	Mandioqueira-lisa	m	r	ci	9.5	5.3	14.7	0.75	1.14	13100	109.5	58.4	7.9	13.3	8460	6130	4.5	530	1.8
<i>Manilkara bidentata</i>	Maparajuba/Maçaranduba	f	d	ma	8.3	5.9	13.8	1.08	1.26	13800	130.7	64.8	15.5	16.3	8870	9280	5.7	440	1.4
<i>Pouteria obscura</i>	Maragonçalo	f	i	ma	7.4	4.4	11.8	0.81	1.21	13300	126.9	63.1	14.3	13.2			3.4	520	1.7
<i>Zizyphus itacaiunensis</i>	Maria-preta	f	r	ma	9.9	6.9	15.7	0.97	1.26	16500	159.7	89.2	14.8	19.8	16680	15110	5.9	730	1.4
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	5.9	2.6	8.8	0.44	0.98	8200	66.4	35.2	4.7	7.1	4390	2670	3.2		2.3
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	6.8	4.8	8.3	0.45	1.12	7400	65.3	33.7	4.5	7.1	2760	1430	2.8	390	1.4
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamatá	m	d	ol	8.0	4.6	14.9	0.85	1.24	14800	138.7	68.6	11.3	12.9	8830	9050	5.6	540	1.7
<i>Eschweilera longipes</i>	Matamatá	m	d	ol	9.6	5.6	14.5	0.98	1.20	16100	136.7	68.0	10.1	18.1	11810	10930	4.4	550	1.7
<i>Eschweilera sp.</i>	Matamatá	m	d	ol	10.7	6.0	16.1	1.08	1.26	19300	175.1	88.1	18.3	20.9	14920	13900		890	1.8
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	11	4.3	14.9	0.91	1.21	14100	127.1	59.8	9.8	12.6	12400	11360	3.8		2.5
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	9.7	5.6	16.4	0.98	1.24	15600	140.1	69.3	13.0	11.4	9630	11020	3.9	740	1.7
<i>Lecythis idatinon</i>	Matamatá-vermelho	m	in	ma	10.3	4.9	15.3	1.00	1.26	15000	143.8	70.7	11.6	14.7	11110	10620	4.1	770	2.1
<i>Alexa grandiflora</i>	Melanciaira	mg	o	br	9.9	4.7	14.5	0.79	1.17	13300	111.4	59.4	9.6	12.2	7680	6460	4.8		2.1
<i>Mouriri callocarpa</i>	Miraúba	f	i	ol	11.1	7.1	17.4	1.09	1.28	17500	192.0	96.3	22.4	19.0	17950	18290	5.9	650	1.6
<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	m	d	br	9.1	6.7	15.7	0.54	1.03	11300	72.5	40.5	4.6	10.6	4890	3580	3.9	620	1.4
<i>Licania oblongifolia</i>	Mucucurana	m	r	ci	11.7	5.9	19.6	0.94	1.24	15400	136.6	76.6	14.8	19.0	15690	14300	4.4	580	2.0
<i>Astronium gracile</i>	Muiracatiara	m	r	ma	8.0	5.3	11.9	0.93	1.14	16300	133.3	71.5	10.0	17.1	8410	7900	4.7	710	1.5
<i>Astronium ulei</i>	Muiracatiara	m	in	ma	8.1	4.3	12.2	0.91	1.06	13700	117.5	70.5	13.9	17.1	8300	7640	5.5	800	1.9
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.2	4.1	11.0	0.94		13200	148.5	85.8	14.9	12.0	7840	8830			1.8
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.6	4.6	11.9	1.00	1.19	15300	139.1	84.0	14.1	17.1	8910	9780	5.5	630	1.7
<i>Cassia scleroxylon</i>	Muirapixuna	m	i	pr	8.2	3.6	11.5	1.28	1.34	16700	184.4	98.2	23.2	20.3	14830	15580	3.3	740	2.3
<i>Maquira sclerophylla</i>	Muiratinga	m	i	br	9.4	4.2	13.7	0.74	1.09	11500	112.9	61.8	8.6	12.2	8420	6300	4.0		2.2
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Munguba-grande-da-terra-firme	m	i	ma	9.8	4.5	14.9	0.59	1.08	10600	89.5	48.6	6.0	8.3	6300	4690	3.6		2.2
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r	ma	7.8	4.8	12.6	0.70	1.06	11900	102.0	55.7	7.9	9.9	6940	5080	4.2	550	1.6
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r		9.1	5.0	14.1	0.91	1.18	14500	140.2	78.5	15.0	16.3			4.0		1.8
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	m	d	br	8.2	5.4	13.9	0.40	0.84	8900	56.2	31.3	3.1	6.1	3360	1920	2.9		1.5
<i>Parkia multijuga</i>	Paricá grande da terra firme	m	i	ci	7.0	2.9	9.8	0.47	1.09	8800	61.8	37.7	5.7	8.2	4090	3030	3.9		2.4
<i>Parinari excelsa</i>	Parinari	m	d	ma	10.2	5.3	14.8	0.92	1.25	16500	148.8	83.1	15.7	15.0	13340	11440	5.7	540	1.9
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	6.1	4.5	11.1	0.81	1.20	13000	117.6	71.1	13.6	10.8	12680	11210	4.5		1.4
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	7.8	6.5	13.1	0.89	1.20	14000	129.4	70.8	12.2	18.1	10920	8460	4.2	580	1.2
<i>Drypetes variabilis</i>	Pau-branco	f	r	ol	11.3	5.8	15.9	0.95	1.24	16200	146.7	73.9	12.6	16.5	13150	11420	4.3	690	1.9
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	11.3	5.4	17.2	0.84	1.16	15700	122.7	68.2	9.9	13.4	10920	8720	6.4	750	2.1
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	12.0	5.1	17.1	0.92	1.20	15600	129.6	66.0	10.0	16.5	11450	9900	5.0		2.4
<i>Zollernia paraensis</i>	Pau-santo	f	r	pr	9.6	5.0	16.8	1.26	1.32	18200	191.5	97.4	27.5	18.8	14900	14790	4.7	510	1.9
<i>Apeiba echinata</i>	Pente-de-macaco	mg	d	ci	6.5	2.3	9.3	0.44	0.78	6800	53.9	32.4	4.5	6.3	3900	2530	3.0		2.8
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Caryocar sp.</i>	Pequiá	m	r		8.1	5.0	13.2	0.77		10200	103.5	60.5	12.6	10.7	7120	7500	5.6		1.6
<i>Caryocar villosum</i>	Pequiá	m	r	ci	8.5	4.3	12.6	0.78	1.17	11400	101.8	47.4	9.5	12.4	4960	5140	5.6	580	2.0
<i>Caryocar glabrum</i>	Pequiarana	m	r	am	8.7	4.0	11.9	0.78	1.16	14100	80.6	59.8	8.6	14.7	8170	7450	5.8	730	2.2
<i>Rauvolfia paraensis</i>	Peroba-d'água	f	d	am	9.0	4.7	13.3	0.71	1.11	12800	113.5	58.3	9.7	13.6			5.9	760	1.9
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Peroba-mico	f	r	ma	6.2	4.4	11.5	0.78	1.11	14100	139.0	66.4	12.3	15.1	10780	8400	3.3	500	1.4
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	5.1	4.3	11.1	0.62	1.13	8200	56.5	34.1	4.6	11.0	4570			370	1.2
<i>Sclerobium aff. Chrysophyll</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	7.4	3.7	11.0	0.78	1.12	12500	118.0	60.3	11.2	13.7	7820	6070	4.8		2.0
<i>Trichilia lecointei</i>	Pracuúba-da-terra-firme	mf	in	ma	8.2	4.4	13.2	1.16	1.27	16700	160.8	88.1	18.6	18.9	13320	14330	5.3	640	1.9
<i>Aniba canelilla</i>	Preciosa	m	in	pr	8.2	6.4	13.6	1.19	1.30	17900	187.5	99.7	20.6	18.8	15000	15280	2.9	550	1.3
<i>Vochysia ferruginea</i>	Quaruba	m	d	ro	10.7	5.0	14.1	0.53	1.13	10033	75.93	42.12	6.11	8.8			2.4	360	2.1
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	10.0	4.3	13.4	0.59	1.11	10600	87.8	52.5	6.1	8.9	5900	3940	2.9		2.3
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	8.7	3.6	12.9	0.62	1.10	11000	89.2	50.7	5.7	8.0	5730	3990	3.1	380	2.4
<i>Vochysia guianensis</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	11.5	5.0	17.5	0.73	1.14	14300	123.7	66.6	6.9	12.5	7930	7100	4.9	610	2.3
<i>Vochysia melinonii</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	10.8	4.7	14.1	0.66	1.15	12100	99.7	54.9	5.1	12.0	7050	5850	4.3	700	2.3
<i>Vochysia obdensis</i>	Quaruba-rosa	m	r	ro	10.0	3.2	12.7	0.64	1.08	12700	102.6	54.0	6.1	10.5	6850	5350	4.3	580	3.1
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	9.1	3.3	13.0	0.59		9600	83.3	45.6	5.4	8.0	5490	4040	3.4		2.8
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	8.8	4.0	12.1	0.62	1.11	11400	93.0	48.5	5.8	10.2	5600	4810	3.5	510	2.2
<i>Micrangelia venulosa</i>	Rosadinho	f	i	ma	9.7	4.7	14.0	0.87	1.21	14200	132.3	66.2	10.2	14.7	10180	7800	4.0	600	2.1
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.1	5.7	14.4	0.90	1.25	16300	164.9	85.4	15.7	14.8			4.3	690	1.6
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.4	6.3	15.2	0.99	1.22	16200	165.9	86.8	14.3	16.3			4.6	710	1.5
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.4	6.3	15.2	0.90	1.22	16200	164.9	85.4	15.7	19.3	14630	11670	4.3	690	1.5
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.1	5.7	14.4	0.96	1.25	16200	165.9	86.8	14.3	14.5	12800	10760	4.6	710	1.6
<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	d	rx	8.7	5.0	13.4	0.97	1.26	16000	161.5	120.7	17.8	15.8	13020	13340	6.0	890	1.7
<i>Peltogyne paniculata</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	r	rx	8.1	5.1	12.7	1.03	1.27	18100	190.8	92.3	20.3	18.5	16500	15360	2.9	490	1.6
<i>Micrandra rossiana</i>	Seringarana	f	d	ma	9.0	5.2	13.8	0.81	1.19	14700	130.7	68.6	9.9	15.3	11350	8730	4.7	640	1.7
<i>Allantoma lineata</i>	Seru	f	i	ci	7.5	5.5	11.6	0.75	1.21	13000	117.1	59.1	11.5	12.3	5040	5230	3.1	510	1.4
<i>Malouetia duckei</i>	Sorva	f	i	ci	9.2	3.7	12.7	0.73	1.15	12900	114.4	60.4	9.9	14.9	8320	6030	6.5	610	2.5
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Sucupira amarela	mg	r	am	9.3	4.2	12.7	1.08	1.21	17100	164.8	80.2	15.1	17.7	9460	10640	5.6	810	2.2
<i>Diploctenium purpureum</i>	Sucupira-da-terra-firme	m	r	ma	8.8	6.7	15.6	0.90	1.19	16700	146.3	96.1	12.7	16.6	10060	8460	6.0	740	1.3
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r		8.5	5.8	14.2	0.96	1.20	17000	156.4	102.9	16.4	15.8			5.3	700	1.5
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	9.0	6.0	14.7	0.96	1.22	17000	156.4	102.9	16.4	19.4	15140	12470	4.2	670	1.5
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	7.4	4.5	12.3	0.98		13800	157.0	88.5	16.3	12.8	13010	11530	4.3		1.6
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumaúma	m	d	ci	5.5	2.7	9.3	0.36	1.01	4500	39.9	24.2	1.9	3.8	2360	1540	1.9		2.0
<i>Sterculia apeibophylla</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.4	15.4	0.61	1.10	10700	85.9	47.0	5.0	9.0	4160	3110	3.2	470	2.0
<i>Sterculia pilosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	mg	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.71	1.10	12000	99.0	51.8	5.1	9.4	6330	5170	4.1		2.3
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.2	16.2	0.65	1.09	12000	99.0	51.8	5.1	9.4	5090	4240	4.1		2.0
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.71		13900	92.3	47.4	4.9	8.9	6330	5170	2.4	430	2.3
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

10.5 ANEXO A5: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pela Densidade Básica - Db Madeira verde

Legenda do cabeçalho da tabela:

Textura: (f-Fina, m-média, g-grossa, mg-média a grossa, mf-média a fina)

Grã: (d-direita, r-reversa, i-irregular, in-inclinada, o-ondulada)

CT - Contração tangencial

CR - Contração radial

CV - Contração volumétrica

Db - Densidade básica

Dap. - Densidade aparente a 12% de teor de umidade

Dv - Densidade verde (saturado em água)

MOE - Módulo de elasticidade na flexão

MOR - Tensão de ruptura na flexão

CPA - Tensão de ruptura na compressão paralela às fibras

CPE - Tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras

CIS - Tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras

DE- Dureza Janka paralela às fibras

DT - Dureza Janka perpendicular às fibras

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava-bolota/Visqueiro	m	r	br	5.8	2.2	8.8	0.26	0.31	0.95	6100	29.4	13.0	1.6	4.4	2070	1690	1.9	210
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumaúma	m	d	ci	5.5	2.7	9.3	0.29	0.36	1.01	4300	26.9	12.8	1.6	3.0	1490	1330	1.8	
<i>Parkia sp.</i>	Faveira	m	d	br	5.4	2.4	8.1	0.29	0.32	1.06	5600	31.3	15.2	2.1	5.1	2450	1850	1.5	250
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	m	d	br	8.2	5.4	13.9	0.31	0.40	0.84	7100	34.6	15.7	1.5	4.0	2030	1400	1.7	
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	i	br	5.3	2.7	8.7	0.31	0.38	0.90	6600	29.4	16.0	2.1	6.3	2670	2060	3.6	450
<i>Bixa arborea</i>	Urucu-da-mata	m	d	ma	6.0	2.6	9.1	0.32	0.39	0.88	6500	45.3	22.1	2.4	5.2	2840	1540	2.1	
<i>Virola surinamensis</i>	Virola	mf	d	ma	8.6	3.2	12.0	0.35	0.44	1.09	7700	35.1	15.4	1.4	4.3	1990	1600	2.0	200
<i>Apeiba echinata</i>	Pente-de-macaco	mg	d	ci	6.5	2.3	9.3	0.36	0.44	0.78	5800	42.3	20.4	3.0	4.8	2860	2140	2.7	
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	m	r	br	9.7	5.0	14.1	0.36	0.45	1.09	6400	37.5	19.4	2.3	4.8	1240	860	2.3	280
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.5	2.4	6.7	0.37	0.44	1.05	7300	44.2	20.2	2.6	7.2	3110	2750	3.0	
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	6.8	4.8	8.3	0.37	0.45	1.12	6700	44.5	19.9	2.9	6.1	1670	1230	3.7	420
<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.7	8.5	0.38	0.49	1.04	8200	34.3	17.8	2.2	6.1	2450	1960	2.4	320
<i>Parkia multijuga</i>	Paricá grande da terra fir	m	i	ci	7.0	2.9	9.8	0.38	0.47	1.09	7200	49.9	23.0	3.7	6.6	3290	2890	3.7	
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	5.9	2.6	8.8	0.38	0.44	0.98	7300	46.3	21.6	2.7	6.0	2710	2210	2.8	
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	7.4	4.2	10.4	0.38	0.48	1.05	6900	41.8	18.5	2.0	5.2	1280	950	3.1	
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	6.0	2.5	9.5	0.38	0.45		7000	40.0	17.9	2.2	4.6	2480	2020	2.4	400
<i>Virola carinata</i>	Envirola	mf	d	ma	9.6	4.5	13.9	0.38	0.48	1.07	8800	37.3	17.8	1.9	5.5	2430	2210	2.6	260
<i>Castilla olei</i>	Caucho	m	r	br	10.5	5.2	16.1	0.39	0.47	1.07	7400	35.3	18.5	1.8	4.8	1460	1050	2.1	260
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	g	d	ro	12.1	9.1	20.8	0.39	0.47	1.06	8400	44.8	22.9	2.3	6.3	2870	2680	3.0	400
<i>Hura creptans</i>	Açacu	m	r	br	5.2	3.7	7.5	0.39	0.48	1.08	6500	34.8	16.1	2.6	5.6	2120	1760	2.4	300
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha-de-arara	mg	d	ci	6.1	2.8	9.8	0.39	0.48	1.03	6900	40.3	20.5	2.3	5.3	2490	2020	2.7	
<i>Sapium marmieri</i>	Burra-leiteira	m	d	br	7.5	5.6	10.8	0.39	0.48	1.09	8200	43.3	21.4	2.2	5.4	1320	930	2.1	340
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro-tamanco	m	r	am	6.0	4.0	9.1	0.40	0.46	0.82	7600	44.2	26.7	3.6	7.9	3310	3080	2.8	320
<i>Sapium aereum</i>	Leiteiro	m	d	br	7.8	4.2	12.1	0.40	0.52	1.08	7800	40.7	21.3	2.2	5.2	1240	1010	2.1	330
<i>Tachigali cavipes</i>	Tachi-branco	m	r	ol	6.3	4.6	9.7	0.40	0.55	1.02	7900	33.3	20.9	3.2	7.6	4060	3230	2.4	360
<i>Micrandra minor</i>	Cauchorana	m	d	ma	7.4	2.5	9.8	0.41	0.48	0.99	9500	51.7	22.2	2.7	6.0	2950	2260	3.5	470
<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	m	d	br	9.1	6.7	15.7	0.41	0.54	1.03	9000	40.1	17.5	2.0	6.4	2620	1970	2.9	340
<i>Vochysia ferruginea</i>	Quaruba	m	d	ro	10.7	5.0	14.1	0.41	0.53	1.13	7500	50.5	21.8	3.5	6.3	2070	1820	3.4	510
<i>Anacardium microcarpum</i>	Cajuaçu	f	d	ci	6.1	3.5	9.7	0.42	0.46	1.10	7100	36.9	19.8	2.5	6.7	2880	2460	2.3	360
<i>Anacardium spruceanum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.9	9.4	0.42	0.52	1.04	8400	44.6	21.1	3.0	6.2	2770	2240	2.9	
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.6	2.3	6.8	0.42	0.50	1.05	7900	56.9	29.0	5.9	6.1	3390	2970	2.7	340
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	d-r		5.4	2.7	7.9	0.42	0.50	1.08	7700	46.0	22.0	4.2	7.7	3310	2790	3.6	450
<i>Anacardium tenuifolium</i>	Cajú	m	d	ci	4.9	3.1	8.7	0.43	0.52	1.13	7800	34.7	19.8	2.7	6.4	3090	2560	2.2	330
<i>Cedrela sp.</i>	Cedro	g	d	ro	6.2	4.4	9.6	0.43	0.53		7300	50.2	26.0	3.8	6.0	3550	2550	3.6	
<i>Pterocarpus sp.</i>	Envira-de-preguiça	f	d	br	5.4	3.3	9.8	0.43	0.55	1.02	8900	55.6	25.6	4.5	8.9	3030	2070	3.3	400
<i>Anacardium parvifolium</i>	Cajuaçu	m	r	ci	5.4	3.3	8.6	0.44	0.54	1.13	9000	44.2	22.6	3.0	6.8	2850	2330	3.1	330
<i>Parkia paraensis</i>	Fava-arara-tucupi	m	i	ci	7.6	3.5	11.9	0.44	0.56	1.01	10400	52.0	23.6	3.0	7.8	3120	2560	3.2	450
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	7.2	5.1	11.8	0.44	0.56	0.96	7800	50.7	25.3	3.6	6.7	3570	2570	3.1	
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedrorana	g	d	ci	8.0	4.1	11.6	0.45	0.56	1.10	10800	55.5	27.2	2.7	7.7	3850	3640	3.3	440
<i>Dicorynia paraensis</i>	Angélica-do-pará	g	r	ci	7.2	3.6	11.5	0.45	0.58	1.09	7700	54.6	25.2	4.4	7.3	4280	3860	3.3	410
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Munguba-grande-da-terra	m	i	ma	9.8	4.5	14.9	0.45	0.59	1.08	8000	48.8	22.8	3.4	5.3	2950	2720	2.2	
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.7	3.9	10.3	0.46	0.58		6900	50.7	26.0	4.8	6.3	2930	2930	3.7	
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	10.0	4.3	13.4	0.46	0.59	1.11	9200	59.3	27.5	3.1	7.3	3580	2820	2.7	370
<i>Osteophloeum platyspermu</i>	Ucuubarana	m	d	ma	9.4	5.3	14.5	0.46	0.59	1.01	9600	43.1	21.1	1.9	5.8	2640	2330	2.6	350
<i>Parahancornia amapa</i>	Amapá-amargoso	f	r	br	6.8	3.7	10.7	0.46	0.56	1.13	9300	55.3	25.2	3.3	7.0	3100	2510	3.4	470
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	9.1	3.3	13.0	0.46	0.59		8000	52.0	26.3	5.3	5.6	3750	3380	2.7	
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira	g	r	am	5.4	2.9	8.2	0.47	0.57	1.13	8700	54.4	25.7	4.2	7.8	3310	3400	2.8	390
<i>Brosimum utile</i>	Garrote	m	r	ma	7.7	4.8	12.0	0.47	0.58	1.12	9300	51.1	24.4	2.8	6.8	3090	2750	2.5	340
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	6.8	3.9	10.3	0.47	0.62		11400	58.3	25.2	3.3	7.6	3010	2890	3.8	520
<i>Diclinanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10.1	3.2	13.6	0.47	0.61	1.07	9000	64.9	27.5	3.8	6.1	3270	3250	3.1	
<i>Sterculia apeibophylla</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.4	15.4	0.47	0.61	1.10	9400	57.2	26.2	2.8	6.5	2010	1870	2.8	400
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	m	i	ci	6.6	4.1	10.6	0.48	0.60	0.92	8500	65.0	32.8	3.4	6.8	4180	3600	3.5	
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	8.7	3.6	12.9	0.48	0.62	1.10	8700	59.0	30.0	3.3	6.1	3840	3240	2.7	370
<i>Ocotea fragrantissima</i>	Louro-preto	m	r	ma	5.7	3.0	10.1	0.48	0.58	0.94	10000	69.2	32.9	4.5	9.2	4250	3470	4.0	580
<i>Stryphnodendron pulcherrim</i>	Fava-branca	m	i	ma	7.5	5.1	11.1	0.48	0.61	1.00	10300	64.2	30.0	3.7	9.2	4420	3650	3.2	400
<i>Tachigali sp.</i>	Taxi	m	r	ol	7.0	4.1	11.9	0.48	0.58	1.03	10500	68.2	28.0	3.6	9.8	4010	3380	3.1	540
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	m	d	br	11.7	6.3	18.0	0.49	0.67	1.10	9600	56.1	27.7	3.0	5.9	3690	3430	2.8	
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.1	3.6	10.4	0.49	0.61	1.09	9500	58.9	27.7	4.6	6.9	3800	3560	3.3	
<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	Ingá-de-porco	m	r	ma	7.6	4.3	11.0	0.49	0.61	1.15	10300	63.9	29.6	4.3	8.6	3920	4310	3.6	450
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	5.1	4.3	11.1	0.49	0.62	1.13	9400	54.3	23.6	4.4	7.4	3880	3310	3.4	360
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.2	16.2	0.49	0.65	1.09	11300	60.7	25.6	2.7	7.1	3590	3230	3.1	
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	8.8	4.0	12.1	0.49	0.62	1.11	9500	61.7	30.0	4.9	8.6	4420	4340	3.8	430
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaiba	m	d	ma	6.7	3.6	11.4	0.50	0.63	1.10	11100	67.8	30.7	3.6	8.7	4190	3470	3.6	460
<i>Cordia sagotii</i>	Freijó	m	d	ci	7.7	3.8	11.3	0.50	0.63	0.92	9700	66.8	33.0	4.2	6.2	3920	3660	2.6	
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8.1	4.5	11.4	0.50	0.63		8500	63.3	31.5	3.4	6.9	4220	3650	2.9	
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.6	4.2	11	0.50	0.63	1.13	10200	64.9	29.8	4.0	8.9	3990	3720	4.6	550
<i>Ocotea costulata</i>	Abacatirana	m	r	am	6.6	3.9	11.6	0.50	0.62	0.94	9500	65.5	32.6	5.4	8.6	4830	4250	3.4	470
<i>Osteophloeum platyspermu</i>	Ucuubarana	m	d		7.4	3.6	10.8	0.50	0.59	1.12	11000	57.7	27.2	3.7	7.5	3210	3020	3.8	470
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.8	3.8	11	0.50	0.63	1.13	10000	65.7	30.7	4.3	9.5	4260	3970	4.0	560
<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	mf	d	ma	8.3	3.6	11.5	0.50	0.63	0.96	9100	57.1	28.6	4.1	8.2	4400	3710	3.9	
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	6.8	4.1	11.7	0.50	0.63		9900	51.7	28.1	4.5	9.4	4540		3.2	
<i>Virola michellii</i>	Ucuúba-da-terra-firme	m	d		9.9	4.7	14.8	0.50	0.66	1.04	10000	57.7	26.9	3.2	6.8	3820	3380	4.3	
<i>Vochysia obdensis</i>	Quaruba-rosa	m	r	ro	10.0	3.2	12.7	0.50	0.64	1.08	9900	61.3	30.4	4.4	7.9	4550	4280	3.8	460
<i>Zanthoxylon regnelianum</i>	Maminha-de-porca	m	d	ol	8.6	5.8	11.4	0.50	0.60	1.12	10200	74.7	32.6	4.7	8.9	3380	3050	3.4	630
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
Breu-branco	m	r	ma	6.5	4.5	11.6	0.51	0.59	1.04	9300	60.1	29.0	5.0	8.4	4460	3680	4.0	490
Envira-preta	m	d	ol	9.3	4.4	13.0	0.51	0.85	1.11	10200	57.5	26.4	4.7	8.3	4030	3230	3.5	430
Faveira-bolota	m	i	br	7.2	2.5	10.0	0.51	0.63	1.10	9600	66.0	32.3	4.9	8.3	4680	4250	4.0	
Quaruba-rosa	mg	r	ro	10.8	4.7	14.1	0.51	0.66	1.15	9400	56.8	29.3	3.7	8.6	4410	4190	3.4	410
Tauari	m	d	ci	6.1	3.6	10.4	0.52	0.65	1.11	9400	68.5	32.4	5.8	8.3	4810	4290	5.2	
Envira	m	d	ci	8.8	3.2	12.3	0.52	0.66	1.02	11600	75.4	36.6	3.9	7.9	4480	3810		530
Amapá-doce	m	r	ma	6.8	4.1	11.9	0.53	0.67	1.13	8900	67.9	32.5	4.1	7.6	4640	4320	3.6	
Araparirana	m	in	ma	8.8	3.7	11.9	0.53	0.64	1.15	9100	63.4	25.7	5.5	8.8	4580	4760	4.0	420
Tacacazeiro/Axixá	mg	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.53	0.71	1.10	10000	61.9	28.3	3.6	6.3	3860	3950	3.1	
Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.53	0.71		10000	61.9	28.3	3.6	6.3	3860	3950	2.8	350
Jacareúba	m	r	ma	8.4	5.4	13	0.54	0.69		6900	55.9	28.5	5.5	7.3	4550	3640	4.4	
Arapari	m	i	ma	6.4	2.9	10.0	0.54	0.63	1.16	7300	58.7	28.1	5.8	8.5	5050	4950	3.4	430
Mandioqueira-escamosa	m	i	ci	9.1	4.6	13.5	0.54	0.69	1.14	9900	67.4	29.9	5.9	9.0		2700	4.7	650
Quaruba-rosa	mg	r	ro	11.5	5.0	17.5	0.54	0.73	1.14	11500	71.4	29.6	3.9	7.1	4080	3850	3.5	480
Mururé	m	r	ma	7.8	4.8	12.6	0.55	0.70	1.06	10000	67.2	31.1	4.5	7.2	4460	4150	3.9	600
Angelim-pedra	g	r	ma	7.2	4.3	11.8	0.55	0.69	1.16	10100	65.8	34.1	5.4	8.9	4680	4380	3.7	490
Louro-vermelho	m	r	ro	7.9	3.2	11.2	0.55	0.69	1.05	8900	62.0	30.9	4.7	6.9	3110	3260	3.5	
Louro-inhamuí	m	r		6.8	3.6	10	0.55	0.68		8400	66.9	32.7	7.9	6.1	4810	4450	6.1	
Louro-canela	m	r	ol	7.7	4.2	10.2	0.55	0.69	0.93	10600	71.6	36.8	4.6	10.3	4000	3510	5.9	520
Breu-sucuruba	mf	d	ma	8.4	4.1	12.6	0.55	0.70		9600	65.6	30.2	4.1	8.1	3990	3640	3.4	
Peroba-d'água	f	d	am	9.0	4.7	13.3	0.55	0.71	1.11	10290	69.8	33.6	5.6	8.7				
Andiroba	m	i	ma	7.0	4.5	11.8	0.56	0.71		9100	72.9	37.0	6.7	8.8	5360	4650	5.2	
Guariúba/Oiticica	m	r	am	7.1	3.7	9.6	0.56	0.66	1.17	11200	79.3	38.8	7.5	8.8	5770	5460	4.2	570
Copaibarana	m	d	ma	7.5	4.9	12.7	0.56	0.72	1.16	9800	69.3	28.8	4.0	9.3	4620	4570	3.1	410
Taxizeiro preto	m	r	ol	7.3	4.1	11.1	0.56	0.71	1.07	10500	78.7	37.7	7.1	10.5	5810	5030	2.3	330
Envira	m	d	ol	11.4	6.7	16.6	0.56	0.75	1.09	14100	69.4	35.5	3.5	7.9	4150	3450	3.1	370
Amapá-doce	m	r	ma	7.7	4.5	12.6	0.57	0.73	1.13	9000	68.8	34.3	5.5	8.0	4940	4500	3.9	
Sorva	f	i	ci	9.2	3.7	12.7	0.57	0.73	1.15	10800	70.0	32.4	4.2	8.6	4670	4060	4.5	670
Muiratinga	m	i	br	9.4	4.2	13.7	0.57	0.74	1.09	10400	76.8	37.0	5.6	8.9	5600	5180	5.0	
Envira-preta	m	d	ol	8.1	4.9	14.0	0.57	0.74	1.12	13400	73.7	38.8	3.4	8.9	5080	4350	2.7	
Mandioqueira-lisa	m	r	ci	9.5	5.3	14.7	0.57	0.75	1.14	11100	67.4	40.4	4.5	9.6	5390	4470	3.8	490
	m	r	ol	7.5	5.2	11.9	0.57	0.72	1.12	11500	82.2	40.2	5.3	11.4	5980	5880	4.8	620
Tachi-preto	m	r	ol	7.4	4.2	12.8	0.57	0.64	1.13	13200	78.6	33.3	5.1	8.4	5250	4890	2.7	530
Jequitibá-rosa	m	d	ma	8.1	5.1	14.0	0.58	0.68	1.06	10749	74.7	36.1	6.2	9.2				
Ingarana	mg	in	ma	9.6	4.1	12.0	0.58	0.74	1.17	13500	117.0	46.6	10.6	13.9	9790	9100	6.7	830
Tento	g	r	ro	6.7	3.9	10.9	0.58	0.72	1.18	9000	63.1	33.8	7.2	8.8	5680	5520	3.7	510
Mandioqueira	m	r	ci	8.1	3.1	11.5	0.58	0.73	1.15	11800	69.5	32.6	5.4	7.9	5070	4700	4.4	
NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
Anani	m	d	ma	7.9	4.5	13.2	0.58	0.75	1.12	11700	78.0	38.8	5.9	8.9	5300	5270	4.1	450
Louro	m	i	ma	9.4	6.2	14.3	0.59	0.73	1.14	11800	60.8	27.2	4.8	7.8	3490	3380	3.4	410
Andiroba	m	i	ma	8.1	4.4	12.6	0.59	0.76	1.03	9500	75.2	37.0	5.6	9.6	5830	5260	5.0	
Angelim-pedra	g	r	ma	6.3	4.1	10.1	0.59	0.71	1.19	9600	72.0	38.8	6.5	10.2	5430	5150	4.3	
Louro-canuaru	m	r		6.9	4.3	9.9	0.59	0.73	1.06	12200	77.9	43.3	6.4	9.3				420
Espinho-preto	m	d	am	10.1	4.9	14.0	0.60	0.74	1.20	11400	77.0	30.9	4.6	10.1	3230	3250	4.9	540
Melanciaira	mg	o	br	9.9	4.7	14.5	0.60	0.79	1.17	9800	69.6	34.8	8.6	8.5	5230	5290	4.6	
Seru	f	i	ci	7.5	5.5	11.6	0.60	0.75	1.21	10200	66.1	28.9	5.4	8.1	4230	4430	3.4	490
Pequiá	m	r		8.1	5.0	13.2	0.60	0.77		8600	74.1	38.9	9.3	10.2	5600	5910	6.4	
Angelim-pedra	g	r	ro	9.0	5.4	13.6	0.60	0.71	1.17	11200	89.5	43.6	5.6	8.9	4980	4870	3.1	510
Angelim-da-mata	g	r	ma	7.2	3.7	9.9	0.60	0.72	1.20	10800	82.2	38.8	5.5	10.1	5270	4940	4.4	650
Abiurana-branca	f	i	ma	9.6	5.2	14.7	0.60	0.74	1.11	12800	80.5	34.9	4.7	9.7	5270	4780	4.9	560
Pequiarana	m	r	am	8.7	4.0	11.9	0.61	0.78	1.16	13200	80.4	33.6	6.7	10.3	5530	5970	4.0	680
Taxi-vermelho	m	i	ol	8.0	4.2	12.1	0.61	0.78	1.07	11800	79.7	44.4	5.4	12.2	7320	7270	4.9	590
Taxi-branco	m	r	ol	8.3	4.0	12.3	0.61	0.78	1.17	12500	89.4	43.3	7.1	12.8	7370	7200	5.1	670
Copaíba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.62	0.79	1.11	11300	75.3	35.0	6.5	9.1	5380	5430	4.4	
Copaíba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.62	0.79	1.11	11300	75.3	35.0	6.5	9.1	5380	5430	4.4	
Ingá	mg	o	ma	9.6	4.0	13.3	0.62	0.80	1.17	11500	81.1	38.3	5.7	11.6	5920	5620	4.3	630
Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.5	4.6	13.3	0.62	0.80	1.14	12500	82.3	35.3	5.9	9.3	5770	5500	3.9	600
Pinho-cuiabano	m	o	br	7.4	3.7	11.0	0.62	0.78	1.12	11400	86.1	42.5	7.8	11.2	6760	5990	5.2	
Angelim-amargoso	g	r	ma	6.4	3.0	9.9	0.62	0.74	1.17	11900	103.2	39.4	7.1	9.8				
Tamaquaré	m	i		9.9	6.5	15.6	0.63	0.77	1.21	12700	80.6	36.7	4.7	9.6	5060	4680	3.8	560
Pequiá	m	r	ci	8.5	4.3	12.6	0.63	0.78	1.17	10000	74.3	32.2	9.1	10.3	3720	3920	5.5	640
Ucuubarana	mf	d	ma	8.7	5.4	13.5	0.63	0.82	1.12	10900	73.9	36.0	5.4	8.1	4140	4400	4.2	
Louro-canuaru	m	r	ma	7.8	3.6	11.1	0.63	0.71	1.04	12800	84.9	44.0	6.8	10.4	4820	5140	5.0	610
Breu-preto	mf	o	ma	8.4	4.2	12.0	0.63	0.80	1.03	12000	87.4	40.1	7.5	10.3	6650	5630	4.2	640
Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.3	4.7	13.7	0.64	0.83	1.12	12200	81.4	38.2	6.2	8.4	6080	6000	3.8	
Envira-preta	m	d	ol	8.7	3.9	12.7	0.64	0.82	1.09	12400	87.2	43.5	4.7	7.6	6060	5770	3.3	410
Maragonçalo	f	i	ma	7.4	4.4	11.8	0.64	0.81	1.21	11500	86.5	40.9	7.5	10.5	6540	6080	4.4	740
Angelim-amargoso	g	i	ma	9.7	4.8	14.8	0.64	0.83	1.21	11900	78.6	37.7	6.4	9.3	6120	6520	3.3	500
Peroba-mico	f	r	ma	6.2	4.4	11.5	0.65	0.78	1.11	13600	98.6	52.2	9.2	12.2	7290	6110	3.7	
Tauari	m	d	am	7.8	5.8	13.4	0.65	0.84	1.13	13400	99.0	45.4	8.3	9.8	6950	6790	5.4	
Envira-preta	mg	d	ol	11.4	7.2	18.5	0.65	0.89	1.17	14800	80.4	37.1	4.4	8.8	4990	4880		460
Angelim-pedra	g	r	ve	7.7	4.6	13.5	0.65	0.84	1.19	12800	93.1	44.1	6.8	11.2	6200	6380	4.1	570
Tento	g	r		8.6	4.8	13.8	0.65	0.73	1.19	8900	44.8	36.5	8.7	8.2	6190	6270	0.9	360
Abiu-branco	f	in	ma	7.8	4.6	12.5	0.65	0.83	1.20	10900	88.1	44.3	7.4	10.3	6770	6430	4.5	
Taxi-preto/Taxi-pitomba	m	i	ci	8.1	4.2	12.6	0.65	0.83	1.17	12900	94.5	47.4	6.0	10.8	6770	6450	4.3	540
NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
Glicia	m	o	ro	7.6	4.9	12.0	0.66	0.84	1.11	12500	80.3	39.9	5.1	9.5	5690	5390	4.4	470
Andirá-uxi	g	r	ma	7.9	5.6	12.5	0.67	0.70	1.18	11000	86.1	44.3	7.3	10.8	7300	7530	4.7	630
Angelim-tinto	g	r	ma	9.5		14.3	0.67	0.90	1.22	12600	89.2	45.5	7.2	9.1	5340	5620	4.6	600
Mururé	m	r		9.1	5.0	14.1	0.67	0.91	1.18	11100	93.7	43.8	7.2	10.8	4460	4150	3.3	
Tanibuca	m	o	ol	9.3	5.7	11.2	0.67	0.88	1.19	11200	97.4	44.6	11.0	13.2	8240	7240		530
Seringarana	f	d	ma	9.0	5.2	13.8	0.67	0.81	1.19	12000	77.1	34.7	5.0	10.3	5790	5720	4.6	500
Abiurana-branca	f	d	ma	11.2	6.6	16.6	0.67	0.90	1.19	12300	87.7	36.6	5.9	9.3	6770	6140	2.5	550
Rosadinho	f	i	ma	9.7	4.7	14.0	0.67	0.87	1.21	13000	80.4	41.3	6.6	10.8	6450	5820	4.0	650
Tento	g	r	ro	10.3	4.7	14.7	0.67	0.73	1.17	13200	86.2	45.8	8.1	9.6	6660	6490	3.7	510
Pau-amarelo	m	d	am	6.1	4.5	11.1	0.68	0.81	1.20	9400	94.9	41.8	9.6	11.8	7420	6650	6.2	
Pau-jacaré	mf	i	am	12.0	5.1	17.1	0.68	0.92	1.20	12900	75.5	36.9	5.9	12.4	6520	5830	5.9	
Pau-jacaré	mf	i	am	11.3	5.4	17.2	0.68	0.84	1.16	14100	79.9	37.4	6.3	8.8	6410	5730	7.0	700
Itaúba-amarela	mg	i	ol	6.8	3.0	10.1	0.68	0.85		9800	85.0	39.8	9.0	9.3	4740	5600	5.8	
Itaúba	mg	i	ol	8.3	3.3	11.6	0.68	0.86	1.09	10400	75.5	36.5	8.9	8.5	4300	4380	4.6	
Faveira-folha-fina	m	in	ma	7.4	4.5	13.3	0.68	0.88	1.12	10900	100.5	51.9	10.4	11.2	7120	7380	4.9	
Aracanga	m	r	la	9.0	5.8	14.5	0.69	0.82	1.22	12900	93.7	48.0	7.6	11.2	7080	6960	5.2	710
Matamatá-preto	m	d	ol	11	4.3	14.9	0.69	0.91	1.21	12500	88.5	38.3	12.0	10.3	7140	7440		470
Matamatá	m	d	ol	9.6	5.6	14.5	0.69	0.98	1.20	13400	104.7	47.6	8.2	9.5	6420	6830	3.6	530
Pau-amarelo	m	d	am	7.8	6.5	13.1	0.69	0.89	1.20	12400	99.8	47.2	9.8	12.6	7800	8000	4.6	590
Tanibuca	m	r	ol	11.6	5.9	16.7	0.70	0.84	1.26	11500	82.7	40.8	10.0	10.3	5010	4650	4.0	630
Itaúba-amarela	mg	i	ol	7.9	2.6	10.5	0.70	0.88	1.14	10600	87.3	42.1	9.5	10.0	5450	5880	5.5	
Muiracatiara	m	in	ma	8.1	4.3	12.2	0.71	0.91	1.06	13200	89.2	45.9	6.1	14.7	6490	7060	4.4	610
Amapá-amargoso/Condu	m	r	ve	8.1	5.3	12.0	0.71	0.81	1.24	14300	104.8	46.9	6.3	12.6	7180	6940	4.0	630
Canafistula	mg	r	ma	9.1	6.2	15.3	0.71	0.87	1.22	12700	102.5	49.2	10.8	13.6	8840	8810	5.1	590
Pau-branco	f	r	ol	11.3	5.8	15.9	0.71	0.95	1.24	12900	94.2	41.8	7.7	11.0	8010	7620	4.7	700
Cupiúba	m	r	ma	8.9	5.0	13.1	0.71	0.88	1.17	11800	92.1	47.1	9.3	12.1	7510	7050	5.2	690
Cupiúba	m	r		8.4	4.5	13.2	0.71	0.92	1.13	11700	91.6	48.5	9.4	12.5	7780	7470	6.6	730
Angelim-amargoso	mg	in	ma	8.4	4.5	13.9	0.71	0.90	1.22	13400	100.3	50.7	8.4	11.6	7410	7620	4.3	550
Tanibuca	m	r	ol	7.4	4.7	12.2	0.72	0.89	1.22	10600	90.1	43.7	8.7	11.0	7760	7550	5.1	590
Tanibuca	m	o	ol	7.4	3.9	12.7	0.72	0.86	1.19	12200	99.9	47.8	9.6	11.6	7850	7540	4.1	600
Timborana	m	in	ma	7.1	4.9	11.3	0.72	0.91	1.10	12300	108.3	51.9	10.4	11	7120	7380	4.6	670
Abiurana-branca	f	d	ma	10.1	4.5	15.0	0.72	0.95	1.24	13400	101.0	43.1	9.5	11.9	7540	7680	4.5	710
Jará	f	d	ma	9.7	5.9	15.2	0.72	0.92	1.24	13800	97.1	48.8	8.1	10.8	7590	7100	4.8	670
Urucurana	m	d	ma	8.7	5.6	15.5	0.72	0.96	1.21	13100	127.2	44.5	9.5	10.8	8720	8830	4.1	900
Muiracatiara	m	r	ma	8.0	5.3	11.9	0.73	0.93	1.14	13800	90.6	49.0	7.7	11.3	5830	6850		700
Amapá-amargoso/Condu	m	r	ve	7.8	5.3	13.2	0.73	0.94		13000	106.3	52.8	11.9	11.4	7790	7160	4.1	
Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.1	5.7	14.4	0.73	0.96	1.25	13900	100.8	49.7	11.4	12.0	8210	8400	5.3	760
NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
Matamatá-preto	m	d	ol	9.7	5.6	16.4	0.73	0.98	1.24	13200	102.9	43.3	10.3	9.5	7570	8540	4.0	540
Louro/Louro-amarelo	m	in	am	9.1	5.3	13.5	0.73	0.95	1.11	14100	99.4	53.4	6.3	12.3	7550	7030	3.7	630
Amoreira	m	r	la	5.9	3.2	9.4	0.73	0.91	1.22	11300	89.9	53.1	15.1	11.0	7160	7790	5.2	630
Rosadinho	f	d		9.1	5.7	14.4	0.73	0.90	1.25	13900	100.8	49.7	11.4	12.0	8210	8400	4.5	640
Goiabão	mf	i	am	11.2	6.2	16.5	0.73	0.93	1.19	13100	100.9	46.0	7.2	10.2	8280	7440	5.4	650
Angelim-amargoso	m-g	i		9.0	6.0	15.0	0.73	0.90	1.22	14400	102.1	59.7	10.1	11.6	7740	7870	3.1	640
Sucupira-preta	m	r		8.5	5.8	14.2	0.74	0.96	1.20	15900	114.5	62.2	9.6	13.7	9920	9860	3.6	670
Janitá	m	d	ma	9.4	5.6	16.0	0.74	0.99	1.23	13700	97.1	44.5	6.5	11.1	6870	6930	3.8	570
Sucupira-da-terra-firme	m	r	ma	8.8	6.7	15.6	0.74	0.90	1.19	16800	113.5	56.8	10.2	13.2	7940	7820	3.5	760
Goiabão	mf	i	am	12.6	6.5	18.1	0.74	1.01	1.17	15800	116.0	55.3	6.7	11.3	7680	7530	4.6	460
Mandioqueira-áspera	mg	r	ma	8.6	4.4	13.6	0.74	0.96	1.17	14000	105.5	62.6	8.4	12.4	9150	8640	5.4	710
Breu-manga	m	r	ma	9.0	4.6	13.0	0.74	0.95	1.04	12700	101.7	53.2	10.0	13.0	9780	9000	6.9	710
Garapeira	m	r	ma	10.1	6.5	15.9	0.75	0.88	1.25	11600	92.2	43.2	13.5	11.2	6380	7200	4.8	620
Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.2	4.1	11.0	0.75	0.94		11500	102.6	53.1	11.3	10.0	6720	6840	6.9	
Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.4	6.3	15.2	0.75	0.90	1.22	14100	112.5	54.1	8.5	11.9	9030	9140	4.5	640
Parinari	m	d	ma	10.2	5.3	14.8	0.75	0.92	1.25	14500	107.4	51.1	8.6	10.5	8750	7880	3.7	610
Macacauba				4.6	2.8	6.6	0.75	0.90		10600	109.3	54.3	11.1	9.8	9140	9110	6.0	
Rosadinho	f	d		9.4	6.3	15.2	0.75	0.99	1.22	14100	112.5	54.1	8.5	11.9	9030	9140	5.3	760
Breu-preto	mf	in	ma	9.8	5.0	14.9	0.75	0.99	1.23	11900	87.0	42.8	8.0	13.2	8300	8220	4.1	630
Matamatá	m	d	ol	8.0	4.6	14.9	0.76	0.85	1.24	13400	95.6	44.6	8.3	8.8	7460	8040	2.8	510
Jatobá	m	in	ma	7.7	3.4	11.4	0.76	0.96	1.24	14600	109.3	55.9	10.1	14.8	9020	9650	6.9	880
Matamatá-vermelho	m	in	ma	10.3	4.9	15.3	0.76	1.00	1.26	12800	99.8	50.3	9.7	12.1	8000	8800	4.1	680
Timborana	m	in	ma	8.3	5.1	13.1	0.76	0.98	1.17	13400	107.9	54.1	8.9	13.9	7390	8350	5.6	670
Breu	m	in	ma	9.8	5.1	15.0	0.76	1.00	1.12	14300	111.1	51.7	9.3	12.4	8210	7780	3.8	690
Sucupira-preta	m	r	ma	7.4	4.5	12.3	0.77	0.98		11400	115.9	56.6	13.5	11.9	9710	9700	5.9	
Carapé	m	d	ci	11.9	6.1	17.4	0.77	1.04	1.25	13800	94.6	46.0	6.7	10.3	8310	8370	3.1	500
Louro/Faeira	g	d	ma	12.3	6.3	18.0	0.77	1.05	1.24	14800	99.4	49.7	8.7	10.9	8050	8390	6.1	790
Urucurana	m	d	am	8.5	6.2	15.0	0.77	0.92	1.22	16700	108.1	49.4	7.9	10.7	8230	8320	5.7	750
Breu-preto	mf	in	ma	9.9	5.1	15.0	0.77	0.92	1.20	12000	96.8	48.7	10.9	14.7	9050	8710	6.0	740
Uchi-liso	m	d	ma	9.6	6.4	15.6	0.78	1.04	1.18	14600	116.3	55.6	8.0	13.9	9540	9120	5.5	580
Cabreúva-parda	m	i	ma	7.0	4.4	11.3	0.78	0.92	1.18	13800	125.7	63.9	12.2	14.8	11390	10770	5.1	750
Angelim-amargoso	g	i	ma	9.8	4.8	14.0	0.78	1.02	1.24	13700	121.9	55.9	8.1	14.5	6950	7450	4.0	700
Castanha-de-cutia	m	o	ma	9.7	5.3	15.1	0.79	0.97	1.20	12600	116.1	52.6	12.5	13.2	9510	9350	5.7	520
Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.6	4.6	11.9	0.79	1.00	1.19	13200	104.2	52.3	9.9	13.7	8010	9060	5.3	750
Cuiarana	mf	d	ol	9.1	6.0	14.7	0.79	1.04	1.24	13200	103.5	53.8	10.5	10.6	9560	9830	5.9	
Angelim-rajado	m	d	am	9.3	5.9	15.2	0.79	0.99	1.26	13900	104.3	52.2	11.5	12.5	9560	10270	4.3	
Roxinho/Pau-roxo	m	d	rx	8.7	5.0	13.4	0.79	0.97	1.26	14000	109.8	53.6	16.2	13.7	9790	10630	4.2	740
NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND
				%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
Tuturubá	f	d	ma	8.9	5.2	13.8	0.79	0.96	1.27	13800	115.4	54.8	11.1	11.4	10140	10100	4.4	540
Cuiarana	m	o	ol	7.8	5.2	12.8	0.80	1.03	1.24	11700	106.8	51.8	12.6	11.9	9020	9280	5.2	
Cuia	m	i	ol	9.8	5.8	15.2	0.80	0.97	1.25	14800	115.2	57.8	10.8	14.0	10120	10600	4.9	730
Maria-preta	f	r	ma	9.9	6.9	15.7	0.80	0.97	1.26	14000	103.6	50.5	12.7	14.0	9570	9730	5.5	690
Matamatá	m	d	ol	10.7	6.0	16.1	0.81	1.08	1.26	16000	120.4	58.1	10.7	12.1	10540	11870	7.0	680
Roxinho/Pau-roxo	m	r	rx	8.1	5.1	12.7	0.81	1.03	1.27	15700	131.7	69.4	20.7	14.5	11990	13310	4.4	780
Castanha-de-cutia	m	r	ma	10.3	8.0	17.5	0.82	1.04	1.23	13700	102.9	48.7	11.9	10.2	8970	9180	4.3	620
Ingá/Ingarana	mg	in	ma	10.7	5.3	15.9	0.82	1.09	1.26	14600	121.4	52.0	9.6	15.3	10990	11480		1010
Caraiperana	m	i	ci	12.5	5.5	18.1	0.82	1.02	1.23	13900	102.7	45.6	10.8	10.8	9540	10110	3.8	630
Ipê-amarelo	m	r	ma	8.4	5.9	13.3	0.82	1.05	1.21	15900	125.7	73.7	15.1	11.9	13620	13590	3.6	680
Castanha-de-cutia	m	i	ma	11.0	5.8	15.7	0.83	1.03	1.21	13300	104.1	47.9	12.3	10.9	9840	10800	2.6	530
Angelim-vermelho	m	r	ma	9.5	5.7	14.5	0.83	1.09	1.26	15300	122.0	61.5	10.5	13.4	10190	11080	5.3	750
Mucucurana	m	r	ci	11.7	5.9	19.6	0.83	0.94	1.24	13400	96.3	46.8	10.4	11.3	9910	9670	4.1	500
Maparajuba/Maçaranduba	f	d	ma	8.3	5.9	13.8	0.83	1.08	1.26	12600	108.1	53.9	12.7	12.9	6690	7810	6.0	670
Abiurana	m	o	ve	9.0	5.1	13.3	0.83	0.94	1.28	15200	119.1	50.4	21.2	11.6	8350	8530	5.6	
Abiu-de-casca-fina	m	d	ma	13.0	7.7	20.3	0.83	0.99		16900	126.8	59.1	12.4	13.8	10310	10530	4.8	650
Sucupira amarela	mg	r	am	9.3	4.2	12.7	0.84	1.08	1.21	14900	117.9	58.1	14.2	15.4	8840	9860	6.4	780
Castanha-sapucaia	m	r	ve	8.0	5.6	13.9	0.84	1.09	1.25	14700	114.1	54.6	11.9	14.9	9160	10960	5.3	670
Abiu-pitomba	mf	i	ma	11.2	6.8	15.7	0.84	1.12	1.23	15300	120.7	61.8	10.1	12.9	10970	11670	4.5	770
Sucupira-preta	m	r	ma	9.0	6.0	14.7	0.85	0.96	1.22	16400	136.9	74.6	10.1	14.9	12030	12660	6.4	780
Jutaípeba	f	r	ma	9.2	5.0	13.7	0.85	1.02	1.28	13400	107.2	55.9	17.9	15.0	12210	12240	6.2	890
Abiurana	f	d	ma	10.1	7.1	15.7	0.85	1.13	1.20	14900	118.8	57.1	16.3	12.8	9120	9490	5.4	860
Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.5	5.5	14.9	0.85	0.91	1.24	15200	119.1	50.4	21.2	11.6	8350	8530	4.5	530
Uxirana	m	i	ma	10.3	8.2	17.6	0.86	1.17	1.20	16600	125.9	66.3	9.9	13.6	10750	10430	5.9	720
Maçaranduba	f	d	ma	9.3	7.1	16.4	0.87	1.07	1.27	15400	127.2	68.3	16.8	12.5	10880	11180	3.5	870
Ipê	m	r	ol	6.8	6.1	12.4	0.87	1.02	1.24	13300	157.0	83.9	17.0	13.4	12910	14050	3.3	770
Miraúba	f	i	ol	11.1	7.1	17.4	0.88	1.09	1.28	14400	117.7	59.4	12.2	12.7	11320	11580	3.7	660
Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.4	5.3	14.5	0.88	1.15	1.28	16300	133.3	66.4	14.0	14.6	10340	11530	5.4	700
Maçaranduba	f	d	ma	9.4	6.7	15.0	0.89	1.17		12000	125.3	59.1	14.9	12.0	10460	10320	5.3	
Jatobá/Jutaí-mirim	m	in	ve	9.7	3.7	13.4	0.90	1.16	1.30	15700	122.5	61.3	16.0	17.2	10570	12220	7.7	980
Urucurana	m	d	ma	11.2	5.3	18.6	0.90	1.08	1.30	15100	118.4	58.6	12.9	15.9	11920	12420	4.7	800
Pracuúba-da-terra-firme	mf	in	ma	8.2	4.4	13.2	0.90	1.16	1.27	13600	107.6	55.5	14.0	14.8	8670	10380	5.7	710
Cumarú	m	r	am	8.4	5.4	13.5	0.91	1.07	1.28	16200	136.4	69.3	16.0	16.9	12920	13930	6.4	930
Preciosa	m	in	pr	8.2	6.4	13.6	0.92	1.19	1.30	16400	139.4	74.9	14.7	14.9	12250	12750	5.9	900
Ipê	m	r	ol	8.0	6.6	13.2	0.92	1.19	1.2	20400	157.9	72.5	16.1	14.8	11940	13890	6.4	
Pau-santo	f	r	pr	9.6	5.0	16.8	0.97	1.26	1.32	16300	148.7	68.8	14.2	14.6	11930	13360	4.7	670
Muirapixuna	m	i	pr	8.2	3.6	11.5	1.01	1.28	1.34	14800	130.5	77.1	23.5	16.9	10790	12430	3.8	880
NOME COMUM				%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m
	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Db	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND

10.6 ANEXO A6: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pela Densidade Básica - D_b - Madeira Seca

Legenda do cabeçalho da tabela:

Textura: (f-Fina, m-média, g-grossa, mg-média a grossa, mf-média a fina)

Grã: (d-direita, r-reversa, i-irregular, in-inclinada, o-ondulada)

CT - Contração tangencial

CR - Contração radial

CV - Contração volumétrica

D_b - Densidade básica

D_{ap} - Densidade aparente a 12% de teor de umidade

D_v - Densidade verde (saturado em água)

MOE - Módulo de elasticidade na flexão

MOR - Tensão de ruptura na flexão

CPA - Tensão de ruptura na compressão paralela às fibras

CPE - Tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras

CIS - Tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras

DE- Dureza Janka paralela às fibras

DT - Dureza Janka perpendicular às fibras

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava-bolota/Visqueiro	m	r	br	5.8	2.2	8.8	0.31	0.95	9000	31.2	22.6	2.0	6.4	2350	1710	1.7	230	2.6
<i>Parkia sp.</i>	Faveira	m	d	br	5.4	2.4	8.1	0.32	1.06	6300	39.9	24.0	2.3	5.5			1.4	240	2.3
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumaúma	m	d	ci	5.5	2.7	9.3	0.36	1.01	4500	39.9	24.2	1.9	3.8	2360	1540	1.9		2.0
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	i	br	5.3	2.7	8.7	0.38	0.90	9700	83.6	35.5	5.6	9.7	3050	2740	3.2	390	2.0
<i>Bixa arborea</i>	Urucu-da-mata	m	d	ma	6.0	2.6	9.1	0.39	0.88	7700	55.5	36.5	4.0	6.4	3960	1980	2.4		2.3
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	m	d	br	8.2	5.4	13.9	0.40	0.84	8900	56.2	31.3	3.1	6.1	3360	1920	2.9		1.5
<i>Virola surinamensis</i>	Virola	mf	d	ma	8.6	3.2	12.0	0.44	1.09	8700	58.9	36.2	2.8	7.2			2.7	410	2.7
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	5.9	2.6	8.8	0.44	0.98	8200	66.4	35.2	4.7	7.1	4390	2670	3.2		2.3
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.5	2.4	6.7	0.44	1.05	9400	83.6	43.4	6.0	9.0	3930	2880	3.1		1.9
<i>Apeiba echinata</i>	Pente-de-macaco	mg	d	ci	6.5	2.3	9.3	0.44	0.78	6800	53.9	32.4	4.5	6.3	3900	2530	3.0		2.8
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	m	r	br	9.7	5.0	14.1	0.45	1.09	8100	62.8	38.4	4.0	6.6	2120	1220	2.0	310	1.9
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	6.0	2.5	9.5	0.45		7900	47.7	31.5	3.8	6.2	3370	2040	2.9	350	2.4
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	m	d	br	6.8	4.8	8.3	0.45	1.12	7400	65.3	33.7	4.5	7.1	2760	1430	2.8	390	1.4
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro-tamanco	m	r	am	6.0	4.0	9.1	0.46	0.82	8700	67.4	38.4	3.9	8.7	3420	3430	3.5	440	1.5
<i>Anacardium microcarpum</i>	Cajuaçu	f	d	ci	6.1	3.5	9.7	0.46	1.10	9600	56.8	38.3	4.0	8.3	3870	2600	2.4	360	1.7
<i>Castilla ulei</i>	Caucho	m	r	br	10.5	5.2	16.1	0.47	1.07	9100	56.9	37.5	3.7	6.0	2770	1420	1.9	300	2.0
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	g	d	ro	12.1	9.1	20.8	0.47	1.06	9900	76.8	53.5	4.6	7.0	6140	3240	2.9	410	1.3
<i>Parkia multijuga</i>	Paricá grande da terra firme	m	i	ci	7.0	2.9	9.8	0.47	1.09	8800	61.8	37.7	5.7	8.2	4090	3030	3.9		2.4
<i>Spondias lutea</i>	Taperebá/Cajá	m	d	br	7.4	4.2	10.4	0.48	1.05	7600	46.9	30.2	3.0	5.9	2150	1220	2.9		1.8
<i>Virola carinata</i>	Envirola	mf	d	ma	9.6	4.5	13.9	0.48	1.07	10200	63.3	40.2	2.5	5.7		2350	2.2	310	2.1
<i>Hura creptans</i>	Açacu	m	r	br	5.2	3.7	7.5	0.48	1.08	8600	69.0	33.6	4.8	7.1	3920	2830	2.6	340	1.4
<i>Sapium marmieri</i>	Burra-leiteira	m	d	br	7.5	5.6	10.8	0.48	1.09	9100	63.9	33.2	3.8	6.7	2340	1470	2.8	380	1.3
<i>Micrandra minor</i>	Cauchorana	m	d	ma	7.4	2.5	9.8	0.48	0.99	10000	74.9	38.6	4.5	10.5	4640	3190	3.3	370	3.0
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha-de-arara	mg	d	ci	6.1	2.8	9.8	0.48	1.03	8400	64.9	35.1	4.9	6.0	3920	2640	3.3		2.2
<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.7	8.5	0.49	1.04	10200	65.4	39.1	4.6	7.9	3740	2290	2.6	330	2.2
<i>Parkia oppositifolia</i>	Faveira	m	d-r		5.4	2.7	7.9	0.50	1.08	9700	83.6	35.5	5.6	9.6	4130	2910	3.2	390	2.0
<i>Enterolobium maximum</i>	Faveira-tamboril	mg	r	ma	4.6	2.3	6.8	0.50	1.05	7800	49.8	38.4	4.2	7.8	5040	3390	2.3	320	2.0
<i>Anacardium spruceanum</i>	Cajuaçu	m	r	ci	6.0	2.9	9.4	0.52	1.04	10000	65.4	37.2	4.5	6.9	3900	2540	2.9		2.1
<i>Sapium aereum</i>	Leiteiro	m	d	br	7.8	4.2	12.1	0.52	1.08	10100	71.4	44.3	5.2	7.0	2780	1720	2.8	370	1.9
<i>Anacardium tenuifolium</i>	Cajui	m	d	ci	4.9	3.1	8.7	0.52	1.13	9700	50.6	33.5	4.1	9.2	3890	2640	2.5	360	1.6
<i>Cedrela sp.</i>	Cedro	g	d	ro	6.2	4.4	9.6	0.53		8100	71.4	44.6	5.8	7.5	3240	4450	3.8		1.4
<i>Vochysia ferruginea</i>	Quaruba	m	d	ro	10.7	5.0	14.1	0.53	1.13	10033	75.9	42.12	6.11	8.8			2.4	360	2.1
<i>Anacardium parvifolium</i>	Cajuaçu	m	r	ci	5.4	3.3	8.6	0.54	1.13	10800	73.5	35.3	4.2	9.2	4480	3320	2.3	330	1.6
<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	m	d	br	9.1	6.7	15.7	0.54	1.03	11300	72.5	40.5	4.6	10.6	4890	3580	3.9	620	1.4
<i>Tachigali cavipes</i>	Tachi-branco	m	r	ol	6.3	4.6	9.7	0.55	1.02	10400	83.9	45.3	4.4	8.8	4610	3710	3.2	440	1.4
<i>Pterocarpus sp.</i>	Envira-de-preguiça	f	d	br	5.4	3.3	9.8	0.55	1.02	10400	84.1	39.6	5.0	12.6	5680	4150	3.3	450	1.6
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	7.2	5.1	11.8	0.56	0.96	11200	65.4	46.0	5.9	8.4	4700	3160	3.7	580	1.4
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Parkia paraensis</i>	Fava-arara-tucupi	m	i	ci	7.6	3.5	11.9	0.56	1.01	11700	75.0	39.4	4.7	9.8	3990	3370	3.5	570	2.2
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedrorana	g	d	ci	8.0	4.1	11.6	0.56	1.10	11400	90.5	63.5	6.2	9.9	5710	4700	4.7	590	2.0
<i>Parahancornia amapa</i>	Amapá-amargoso	f	r	br	6.8	3.7	10.7	0.56	1.13	11300	90.8	46.8	6.1	9.8	5400	3580	4.0	520	1.8
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira	g	r	am	5.4	2.9	8.2	0.57	1.13	8800	78.5	69.5	10.7	10.6	5200	3990	3.1	450	1.9
<i>Dicorynia paraensis</i>	Angélica-do-pará	g	r	ci	7.2	3.6	11.5	0.58	1.09	9100	74.8	45.3	5.8	10.7	6080	4290	3.7	500	2.0
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.7	3.9	10.3	0.58		9900	66.7	44.0	7.9	8.1	4140	4140	3.1		2.0
<i>Brosimum utile</i>	Garrote	m	r	ma	7.7	4.8	12.0	0.58	1.12	11600	77.4	47.0	4.8	10.1	5870	4290	2.9	380	1.6
<i>Ocotea fragrantissima</i>	Louro-preto	m	r	ma	5.7	3.0	10.1	0.58	0.94	10500	93.4	48.1	6.2	12.4	4890	4820	4.0	460	1.9
<i>Tachigali sp.</i>	Taxi	m	r	ol	7.0	4.1	11.9	0.58	1.03	10800	97.3	47.9	6.2	12.1	6740	4620	3.6	580	1.7
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Ucuubarana	m	d	ma	9.4	5.3	14.5	0.59	1.01	12100	80.3	44.6	3.6	10.4	4950	3910	2.7	420	1.8
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Ucuubarana	m	d		7.4	3.6	10.8	0.59	1.12	12600	89.8	46.9	5.1	9.2	4440	3500	3.6	430	2.1
<i>Dacryodes spp.</i>	Breu-branco	m	r	ma	6.5	4.5	11.6	0.59	1.04	14300	101.6	47.0	7.0	13.6	6320	4300	4.4	510	1.4
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	9.1	3.3	13.0	0.59		9600	83.3	45.6	5.4	8.0	5490	4040	3.4		2.8
<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Munguba-grande-da-terra-firme	m	i	ma	9.8	4.5	14.9	0.59	1.08	10600	89.5	48.6	6.0	8.3	6300	4690	3.6		2.2
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	10.0	4.3	13.4	0.59	1.11	10600	87.8	52.5	6.1	8.9	5900	3940	2.9		2.3
<i>Zanthoxylon regnelianum</i>	Maminha-de-porca	m	d	ol	8.6	5.8	11.4	0.60	1.12	11000	108.7	52.5	7.7	9.8	5230	3590	3.4	560	1.5
<i>Cordia goeldiana</i>	Freijó	m	i	ci	6.6	4.1	10.6	0.60	0.92	10400	93.2	51.7	6.2	8.5	6080	4520	3.1		1.6
<i>Diclinanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10.1	3.2	13.6	0.61	1.07	11300	95.4	49.8	7.8	7.6	5160	4030	3.1		3.2
<i>Sterculia apeibophylla</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.4	15.4	0.61	1.10	10700	85.9	47.0	5.0	9.0	4160	3110	3.2	470	2.0
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Fava-branca	m	i	ma	7.5	5.1	11.1	0.61	1.00	12100	97.8	45.8	4.9	12.5	7450	5940	3.1	370	1.5
<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	Ingá-de-porco	m	r	ma	7.6	4.3	11.0	0.61	1.15	11900	99.2	51.0	8.0	12.2	8320	6030	4.2	500	1.8
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.1	3.6	10.4	0.61	1.09	10800	90.5	47.7	6.2	8.7	5420	3800	3.7		1.7
<i>Erisma uncinatum</i>	Quarubarana/Cedrinho	m	d	ma	8.7	3.6	12.9	0.62	1.10	11000	89.2	50.7	5.7	8.0	5730	3990	3.1	380	2.4
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	5.1	4.3	11.1	0.62	1.13	8200	56.5	34.1	4.6	11.0	4570			370	1.2
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	6.8	3.9	10.3	0.62		12300	87.6	54.9	5.9	9.3	4630	3790	4.3	560	1.7
<i>Ocotea costulata</i>	Abacatirana	m	r	am	6.6	3.9	11.6	0.62	0.94	10100	92.6	52.7	7.3	11.2	5650	4650	3.4	470	1.7
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba-verdadeira	mg	r	ro	8.8	4.0	12.1	0.62	1.11	11400	93.0	48.5	5.8	10.2	5600	4810	3.5	510	2.2
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.8	3.8	11	0.63	1.13	11800	86.4	49.2	7.2	11.5	5450	4290	4.0	510	2.1
<i>Couratari oblongifolia</i>	Tauari	m	d	br	6.6	4.2	11	0.63	1.13	11100	84.7	45.5	6.4	10.6	5890	4690	3.8	490	1.6
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaiba	m	d	ma	6.7	3.6	11.4	0.63	1.10	12100	86.8	50.8	6.6	11.7	6840	4840	3.3	470	1.9
<i>Macrolobium acacifolium</i>	Arapari	m	i	ma	6.4	2.9	10.0	0.63	1.16	9100	81.0	43.6	6.8	10.5	6700	5230	3.4	500	2.2
<i>Cordia sagotii</i>	Freijó	m	d	ci	7.7	3.8	11.3	0.63	0.92	10000	88.1	48.8	8.4	7.7	5250	4000	3.5		2.0
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8.1	4.5	11.4	0.63		11273	92.2	50.4	8.4	10.4					1.8
<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	mf	d	ma	8.3	3.6	11.5	0.63	0.96	11100	84.7	46.2	6.9	10.9	5450	4040	5.5		2.3
<i>Trattinickia burseraefolia</i>	Breu-sucuruba	m	in	ma	6.8	4.1	11.7	0.63		9800	77.8	45.0	5.5	10.1	5200		3.6		1.7
<i>Parkia pendula</i>	Faveira-bolota	m	i	br	7.2	2.5	10.0	0.63	1.10	11000	93.9	48.9	7.8	9.9	5340	4350	3.8		2.9
<i>Macrolobium sp.</i>	Araparirana	m	in	ma	8.8	3.7	11.9	0.64	1.15	10100	84.1	45.4	7.3	13.2	7510	5480	3.8	510	2.4
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Tachigali multijuga</i>	Tachi-preto	m	r	ol	7.4	4.2	12.8	0.64	1.13	12100	99.9	61.1	7.9	11.7	5950	4850	5.2	530	1.8
<i>Vochysia obtensis</i>	Quaruba-rosa	m	r	ro	10.0	3.2	12.7	0.64	1.08	12700	102.6	54.0	6.1	10.5	6850	5350	4.3	580	3.1
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	m	d	ci	6.1	3.6	10.4	0.65	1.11	11700	106.1	55.0	7.9	10.4	6650	5160	4.2		1.7
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	10.6	5.2	16.2	0.65	1.09	12000	99.0	51.8	5.1	9.4	5090	4240	4.1		2.0
<i>Virola michellii</i>	Ucuúba-da-terra-firme	m	d		9.9	4.7	14.8	0.66	1.04	12100	97.2	52.2	5.0	10.1	6710	4720	4.9		2.1
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba/Oiticica	m	r	am	7.1	3.7	9.6	0.66	1.17	12400	111.0	65.8	9.5	11.9	7910	6280	2.9	510	1.9
<i>Rollinia exsucca</i>	Envira	m	d	ci	8.8	3.2	12.3	0.66	1.02	12000	91.4	53.3	9.1	8.6	5390	3920		300	2.8
<i>Vochysia melinonii</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	10.8	4.7	14.1	0.66	1.15	12100	99.7	54.9	5.1	12.0	7050	5850	4.3	700	2.3
<i>Cordia bicolor</i>	Freijó	m	d	br	11.7	6.3	18.0	0.67	1.10	12100	82.9	50.9	3.8	7.8	5730	4370	3.4		1.9
<i>Brosimum potabile</i>	Amapá-doce	m	r	ma	6.8	4.1	11.9	0.67	1.13	11000	99.1	56.1	8.4	10.4	7390	5370	3.2		1.7
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitibá-rosa	m	d	ma	8.1	5.1	14.0	0.68	1.06	12800	110.4	51.2	7.4	11.2	4670	4400	5.2	710	1.6
<i>Ocotea bracellensis</i>	Louro-inhamuí	m	r		6.8	3.6	10	0.68		10300	101.3	57.3	9.5	9.5	5510	5150	6.2		1.9
<i>Ocotea neesiana</i>	Louro-canela	m	r	ol	7.7	4.2	10.2	0.69	0.93	12100	110.1	61.2	7.3	12.7	5030	4580	5.6		1.8
<i>Qualea dinizii</i>	Mandioqueira-escamosa	m	i	ci	9.1	4.6	13.5	0.69	1.14	11600	104.4	52.4	8.3	10.0		2710	3.9	540	2.0
<i>Hymenolobium nitidum</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	7.2	4.3	11.8	0.69	1.16	11800	96.2	53.5	8.6	12.7	7400	5700	3.8	510	1.7
<i>Nectandra rubra</i>	Louro-vermelho	m	r	ro	7.9	3.2	11.2	0.69	1.05	10900	79.4	50.9	4.9	7.5	3420	3430	3.0		2.5
<i>Callophyllum brasiliense</i>	Jacareúba	m	r	ma	8.4	5.4	13	0.69		8700	89.4	54.3	9.7	10.8	8020	5780	4.6		1.6
<i>Andira retusa</i>	Andirá-uxi	g	r	ma	7.9	5.6	12.5	0.70	1.18	13600	124.3	62.6	11.3	14.1	9850	8110	4.7		1.4
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r	ma	7.8	4.8	12.6	0.70	1.06	11900	102.0	55.7	7.9	9.9	6940	5080	4.2	550	1.6
<i>Protium heptaphyllum</i>	Breu-sucuruba	mf	d	ma	8.4	4.1	12.6	0.70		10000	86.8	49.0	6.9	10.0	4540	3980	5.5		2.0
<i>Tachigali myrmecophila</i>	Taxizeiro preto	m	r	ol	7.3	4.1	11.1	0.71	1.07	11200	107.0	57.8	9.3	12.2	7620	5620	3.0	360	1.8
<i>Sterculia pilosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	mg	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.71	1.10	12000	99.0	51.8	5.1	9.4	6330	5170	4.1		2.3
<i>Sterculia speciosa</i>	Tacacazeiro/Axixá	g	d	ma	11.0	4.8	15.9	0.71		13900	92.3	47.4	4.9	8.9	6330	5170	2.4	430	2.3
<i>Rauvolfia paraensis</i>	Peroba-d'água	f	d	am	9.0	4.7	13.3	0.71	1.11	12800	113.5	58.3	9.7	13.6			5.9	760	1.9
<i>Hymenolobium petraeun</i>	Angelim-pedra	g	r	ma	6.3	4.1	10.1	0.71	1.19	11800	111.5	53.3	11.5	12.5	7810	5900	3.9		1.5
<i>Hymenolobium cf. pulcherri</i>	Angelim-pedra	g	r	ro	9.0	5.4	13.6	0.71	1.17	12700	114.8	63.9	9.9	12.6	6400	5470	3.6	540	1.7
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r	ma	7.8	3.6	11.1	0.71	1.04	14300	122.1	64.7	9.9	12.6	5340	5360	4.9	710	2.2
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	7.0	4.5	11.8	0.71		10500	96.7	54.5	9.7	9.8	8240	6400			1.5
<i>Copaifera sp.</i>	Copaibarana	m	d	ma	7.5	4.9	12.7	0.72	1.16	11800	93.4	61.4	7.0	11.5	7320	5770	3.0	460	1.5
<i>Ormosia coccinea</i>	Tento	g	r	ro	6.7	3.9	10.9	0.72	1.18	10100	96.5	51.0	11.0	12.5	7640	6250	3.7	500	1.7
<i>Hymenolobium sp.</i>	Angelim-da-mata	g	r	ma	7.2	3.7	9.9	0.72	1.20	12100	114.1	57.4	11.4	13.3	8300	6450	4.8	560	1.9
<i>Tachigali cf. myrmecophila</i>		m	r	ol	7.5	5.2	11.9	0.72	1.12	13200	133.2	58.6	9.0	14.4	8770	8030	3.8	620	1.4
<i>Beilschmiedia brasiliensis</i>	Louro	m	i	ma	9.4	6.2	14.3	0.73	1.14	13800	114.1	48.5	5.9	12.0	5740	5700	3.5	540	1.5
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r		8.6	4.8	13.8	0.73	1.19	10400	82.9	45.3	9.6	12.7	8320	6940	2.3	390	1.8
<i>Ormosia paraensis</i>	Tento	g	r	ro	10.3	4.7	14.7	0.73	1.17	14900	125.2	72.0	10.8	12.7	8830	8370	3.7	500	2.2
<i>Brosimum parinarioides</i>	Amapá-doce	m	r	ma	7.7	4.5	12.6	0.73	1.13	11500	104.3	58.1	8.2	10.2	7340	5670	3.0		1.7
<i>Malouetia duckei</i>	Sorva	f	i	ci	9.2	3.7	12.7	0.73	1.15	12900	114.4	60.4	9.9	14.9	8320	6030	6.5	610	2.5
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Vochysia guianensis</i>	Quaruba-rosa	mg	r	ro	11.5	5.0	17.5	0.73	1.14	14300	123.7	66.6	6.9	12.5	7930	7100	4.9	610	2.3
<i>Ocotea sp.</i>	Louro-canuaru	m	r		6.9	4.3	9.9	0.73	1.06	14000	129.2	63.2	12.3	9.0	5670	5510	3.0	470	1.6
<i>Qualea cf. lancifolia</i>	Mandioqueira	m	r	ci	8.1	3.1	11.5	0.73	1.15	12800	109.7	60.0	7.0	10.5	5860	4860	4.2		2.6
<i>Inga sp.</i>	Ingarana	mg	in	ma	9.6	4.1	12.0	0.74	1.17	15800	161.1	83.7	13.7	20.6	15160	12910	7.8	710	2.3
<i>Maquira sclerophylla</i>	Muiratinga	m	i	br	9.4	4.2	13.7	0.74	1.09	11500	112.9	61.8	8.6	12.2	8420	6300	4.0		2.2
<i>Acacia polyphylla</i>	Espinheiro-preto	m	d	am	10.1	4.9	14.0	0.74	1.20	13200	106.6	59.0	8.7	11.7	6910	4960	3.5	650	2.1
<i>Micropholis mensalis</i>	Abiurana-branca	f	i	ma	9.6	5.2	14.7	0.74	1.11	13700	122.5	58.9	9.6	13.7	9780	7280	4.2	640	1.8
<i>Vataireopsis speciosa</i>	Angelim-amargoso	g	r	ma	6.4	3.0	9.9	0.74	1.17	11800	103.7	54.1	9.4	8.9	4980	4730	2.4	360	2.1
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.1	4.9	14.0	0.74	1.12	14000	126.5	71.0	6.4	10.4	6800	5710	2.9		1.7
<i>Symphonia globulifera</i>	Anani	m	d	ma	7.9	4.5	13.2	0.75	1.12	14000	111.4	62.5	7.3	10.6	6800	5710	3.3	330	1.8
<i>Qualea albiflora</i>	Mandioqueira-lisa	m	r	ci	9.5	5.3	14.7	0.75	1.14	13100	109.5	58.4	7.9	13.3	8460	6130	4.5	530	1.8
<i>Allantoma lineata</i>	Seru	f	i	ci	7.5	5.5	11.6	0.75	1.21	13000	117.1	59.1	11.5	12.3	5040	5230	3.1	510	1.4
<i>Xylopia nitida</i>	Envira	m	d	ol	11.4	6.7	16.6	0.75	1.09	16200	119.3	63.3	5.8	8.6	6690	5070	2.3	480	1.7
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	m	i	ma	8.1	4.4	12.6	0.76	1.03	12000	109.3	60.9	9.0	11.1	8410	6420	4.1		1.8
<i>Caraipa densiflora</i>	Tamaquaré	m	i		9.9	6.5	15.6	0.77	1.21	15100	131.8	66.1	9.3	13.0	8870	6900	3.7	590	1.5
<i>Caryocar sp.</i>	Pequiá	m	r		8.1	5.0	13.2	0.77		10200	103.5	60.5	12.6	10.7	7120	7500	5.6		1.6
<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>	Taxi-vermelho	m	i	ol	8.0	4.2	12.1	0.78	1.07	13800	117.0	57.5	9.0	15.6	8510	6430	4.8	520	1.9
<i>Sclerolobium paraense</i>	Taxi-branco	m	r	ol	8.3	4.0	12.3	0.78	1.17	13700	125.8	65.7	11.5	17.7	10940	8900	4.8	680	2.1
<i>Caryocar glabrum</i>	Pequiarana	m	r	am	8.7	4.0	11.9	0.78	1.16	14100	80.6	59.8	8.6	14.7	8170	7450	5.8	730	2.2
<i>Caryocar villosum</i>	Pequiá	m	r	ci	8.5	4.3	12.6	0.78	1.17	11400	101.8	47.4	9.5	12.4	4960	5140	5.6	580	2.0
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Peroba-mico	f	r	ma	6.2	4.4	11.5	0.78	1.11	14100	139.0	66.4	12.3	15.1	10780	8400	3.3	500	1.4
<i>Sclerobium aff. Chrysophyll</i>	Pinho-cuiabano	m	o	br	7.4	3.7	11.0	0.78	1.12	12500	118.0	60.3	11.2	13.7	7820	6070	4.8		2.0
<i>Alexa grandiflora</i>	Melancieira	mg	o	br	9.9	4.7	14.5	0.79	1.17	13300	111.4	59.4	9.6	12.2	7680	6460	4.8		2.1
<i>Copaifera duckei</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.79	1.11	12300	117.9	60.0	9.9	12.2	8670	6440	4.4		2.0
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaiba	m	d	ma	8.2	4.1	12.5	0.79	1.11	12300	117.9	60.0	9.9	12.2	8670	6440	4.4		2.0
<i>Inga alba</i>	Ingá	mg	o	ma	9.6	4.0	13.3	0.80	1.17	13600	123.1	61.4	8.3	14.6	8630	6430	4.6	720	2.4
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.5	4.6	13.3	0.80	1.14	14500	125.6	63.7	9.4	12.8	9730	8170	4.4	470	2.1
<i>Protium tenuifolium</i>	Breu-preto	mf	o	ma	8.4	4.2	12.0	0.80	1.03	12900	116.4	64.5	9.4	14.9	9160	6880	5.0	610	2.0
<i>Micrandra rossiana</i>	Seringarana	f	d	ma	9.0	5.2	13.8	0.81	1.19	14700	130.7	68.6	9.9	15.3	11350	8730	4.7	640	1.7
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	6.1	4.5	11.1	0.81	1.20	13000	117.6	71.1	13.6	10.8	12680	11210	4.5		1.4
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Conduru	m	r	ve	8.1	5.3	12.0	0.81	1.24	16700	150.4	78.1	12.6	12.8	10860	9530	4.0	580	1.5
<i>Pouteria obscura</i>	Maragonçalo	f	i	ma	7.4	4.4	11.8	0.81	1.21	13300	126.9	63.1	14.3	13.2			3.4	520	1.7
<i>Iryanthera grandis</i>	Ucubarana	mf	d	ma	8.7	5.4	13.5	0.82	1.12	12700	108.5	60.9	8.3	9.8	5280	5420	4.7		1.6
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	Aracanga	m	r	la	9.0	5.8	14.5	0.82	1.22	14900	135.6	69.2	12.1	12.9	9430	7970	3.0	560	1.6
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	Envira-preta	m	d	ol	8.7	3.9	12.7	0.82	1.09	15300	125.2	66.5	6.6	10.4	8220	6950	2.4	510	2.2
<i>Vatairea guianensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.7	4.8	14.8	0.83	1.21	13600	112.9	58.5	8.1	10.2	7500	6950	3.9	540	2.0
<i>Lueheopsis duckeana</i>	Açoita-cavalo	mf	r	ma	9.3	4.7	13.7	0.83	1.12	13800	127.1	61.0	10.9	12.0	9040	7860	4.7		2.0
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Pouteria oppositifolia</i>	Abiu-branco	f	in	ma	7.8	4.6	12.5	0.83	1.20	13818	125.5	67.3	13.0	13.7					1.7
<i>Sclerolobium poeppigianum</i>	Taxi-preto/Taxi-pitomba	m	i	ci	8.1	4.2	12.6	0.83	1.17	13400	131.3	69.0	10.6	18.1	8140	6710	4.9	650	1.9
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	11.3	5.4	17.2	0.84	1.16	15700	122.7	68.2	9.9	13.4	10920	8720	6.4	750	2.1
<i>Buchenavia capitata</i>	Tanibuca	m	r	ol	11.6	5.9	16.7	0.84	1.26	12700	109.8	60.5	13.2	11.6	11330	7440	3.5	540	2.0
<i>Glycydendron amazonicum</i>	Glícia	m	o	ro	7.6	4.9	12.0	0.84	1.11	15200	128.4	66.3	10.4	13.7	8730	7580	3.4	460	1.6
<i>Couratari stellata</i>	Tauari	m	d	am	7.8	5.8	13.4	0.84	1.13	14600	136.7	70.5	11.8	13.1	8950	7100	4.6		1.3
<i>Hymenolobium modestum</i>	Angelim-pedra	g	r	ve	7.7	4.6	13.5	0.84	1.19	13500	120.8	61.1	10.7	14.0	8060	7470	3.9	550	1.7
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	6.8	3.0	10.1	0.85		10800	111.3	56.5	9.7	8.6	5540	5540	5.6		2.3
<i>Guatteria olivacea</i>	Envira-preta	m	d	ol	9.3	4.4	13.0	0.85	1.11	11400	92.0	43.1	3.1	8.9	5920	4850	3.9		2.1
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamatá	m	d	ol	8.0	4.6	14.9	0.85	1.24	14800	138.7	68.6	11.3	12.9	8830	9050	5.6	540	1.7
<i>Buchenavia sp.</i>	Tanibuca	m	o	ol	7.4	3.9	12.7	0.86	1.19	14300	138.9	74.4	14.5	16.1	15740	12830	4.5	580	1.9
<i>Mezilaurus lindaviana</i>	Itaúba	mg	i	ol	8.3	3.3	11.6	0.86	1.09	12800	117.0	57.3	9.7	8.6	4520	4500	4.1		2.5
<i>Cassia fastuosa</i>	Canafistula	mg	r	ma	9.1	6.2	15.3	0.87	1.22	13400	116.2	73.6	13.0	14.7	12500	11340	3.3	470	1.5
<i>Micropholis venulosa</i>	Rosadinho	f	i	ma	9.7	4.7	14.0	0.87	1.21	14200	132.3	66.2	10.2	14.7	10180	7800	4.0	600	2.1
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba-amarela	mg	i	ol	7.9	2.6	10.5	0.88	1.14	12300	114.4	58.3	11.0	10.3	5500	5910	4.7		3.0
<i>Piptadenia communis</i>	Faveira-folha-fina	m	in	ma	7.4	4.5	13.3	0.88	1.12	13700	118.3	70.0	11.7	13.4	7360	7570	3.8		1.6
<i>Buchenavia cf. viridiflora</i>	Tanibuca	m	o	ol	9.3	5.7	11.2	0.88	1.19	13300	120.3	67.4	12.5	17.5	14020	9940	5.7	480	1.6
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r	ma	8.9	5.0	13.1	0.88	1.17	13000	118.4	66.2	12.9	15.5	11510	9740		700	1.8
<i>Apuleia molaris</i>	Garapeira	m	r	ma	10.1	6.5	15.9	0.88	1.25	12900	127.2	64.4	15.8	13.1	7450	8450	5.6	680	1.6
<i>Euxylophora paraensis</i>	Pau-amarelo	m	d	am	7.8	6.5	13.1	0.89	1.20	14000	129.4	70.8	12.2	18.1	10920	8460	4.2	580	1.2
<i>Buchenavia grandis</i>	Tanibuca	m	r	ol	7.4	4.7	12.2	0.89	1.22	11100	97.6	69.7	13.7	16.6	13520	10940	4.0		1.6
<i>Guatteria procera</i>	Envira-preta	mg	d	ol	11.4	7.2	18.5	0.89	1.17	15600	123.9	70.5	5.5	10.7	7590	6660	2.7	500	1.6
<i>Platymiscium sp.</i>	Macacauba				4.6	2.8	6.6	0.90		14675	136.8	73.0	14.6	14.8					1.6
<i>Micropholis guianensis</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	11.2	6.6	16.6	0.90	1.19	15200	132.9	76.1	11.0	8.1	9780	7280	2.5	760	1.7
<i>Andira sp.</i>	Angelim-tinto	g	r	ma	9.5		14.3	0.90	1.22	16400	124.5	67.3	11.8	15.1	9840	9020	4.1	640	
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	mg	in	ma	8.4	4.5	13.9	0.90	1.22	15200	138.1	66.1	11.4	14.1	7800	8050	3.6	500	1.9
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.1	5.7	14.4	0.90	1.25	16300	164.9	85.4	15.7	14.8			4.3	690	1.6
<i>Vatairea sericea</i>	Angelim-amargoso	m-g	i		9.0	6.0	15.0	0.90	1.22	15000	133.6	81.9	14.0	14.3	12090	11610	3.6	620	1.5
<i>Diploptropis purpurea</i>	Sucupira-da-terra-firme	m	r	ma	8.8	6.7	15.6	0.90	1.19	16700	146.3	96.1	12.7	16.6	10060	8460	6.0	740	1.3
<i>Chrysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.4	6.3	15.2	0.90	1.22	16200	164.9	85.4	15.7	19.3	14630	11670	4.3	690	1.5
<i>Astronium ulei</i>	Muiracatiara	m	in	ma	8.1	4.3	12.2	0.91	1.06	13700	117.5	70.5	13.9	17.1	8300	7640	5.5	800	1.9
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	11	4.3	14.9	0.91	1.21	14100	127.1	59.8	9.8	12.6	12400	11360	3.8		2.5
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	7.1	4.9	11.3	0.91	1.10	15700	149.8	79.8	14.2	16.2	8980	9790	5.4	680	1.4
<i>Brosimum acutifolium</i>	Mururé	m	r		9.1	5.0	14.1	0.91	1.18	14500	140.2	78.5	15.0	16.3			4.0		1.8
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	m	r	la	5.9	3.2	9.4	0.91	1.22	12900	156.5	87.8	22.8	15.9	11640	10820	5.4	700	1.8
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.5	5.5	14.9	0.91	1.24	14900	152.2	78.2	12.9	11.2	13130	11180	9.0	1030	1.7
<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	m	r		8.4	4.5	13.2	0.92	1.13	14900	134.0	68.9	14.8	14.8	10190	8300	4.2	560	1.9
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Laetia procera</i>	Pau-jacaré	mf	i	am	12.0	5.1	17.1	0.92	1.20	15600	129.6	66.0	10.0	16.5	11450	9900	5.0		2.4
<i>Pouteria sp.</i>	Jará	f	d	ma	9.7	5.9	15.2	0.92	1.24	17200	158.3	80.4	13.1	13.4	12250	10970	4.9	700	1.6
<i>Parinari excelsa</i>	Parinari	m	d	ma	10.2	5.3	14.8	0.92	1.25	16500	148.8	83.1	15.7	15.0	13340	11440	5.7	540	1.9
<i>Swartzia recurva</i>	Urucurana	m	d	am	8.5	6.2	15.0	0.92	1.22	17000	157.1	74.5	15.3	17.4	12820	1120	4.6	690	1.4
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.9	5.1	15.0	0.92	1.20	13500	124.9	70.1	14.4	20.5	14150	12920	5.4	810	1.9
<i>Myrocarpus frondosus</i>	Cabreúva-parda	m	i	ma	7.0	4.4	11.3	0.92	1.18	15400	157.2	87.6	13.8	18.2	15590	13950	4.1	580	1.6
<i>Astronium gracile</i>	Muiracatiara	m	r	ma	8.0	5.3	11.9	0.93	1.14	16300	133.3	71.5	10.0	17.1	8410	7900	4.7	710	1.5
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	11.2	6.2	16.5	0.93	1.19	17200	164.8	84.2	11.2	18.5	15520	13070	4.7	820	1.8
<i>Licania oblongifolia</i>	Mucucurana	m	r	ci	11.7	5.9	19.6	0.94	1.24	15400	136.6	76.6	14.8	19.0	15690	14300	4.4	580	2.0
<i>Pouteria guianensis</i>	Abiurana	m	o	ve	9.0	5.1	13.3	0.94	1.28	15192	143.3	69.4	15.5	12.9	12030	13250	6.1		1.8
<i>Brosimum rubescens</i>	Amapá-amargoso/Conduru	m	r	ve	7.8	5.3	13.2	0.94		14900	139.4	72.7	12.5	13.7	10700	9180	4.2		1.5
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.2	4.1	11.0	0.94		13200	148.5	85.8	14.9	12.0	7840	8830			1.8
<i>Licaria rigida</i>	Louro/Louro-amarelo	m	in	am	9.1	5.3	13.5	0.95	1.11	17900	168.8	87.2	13.0	17.1	10770	9160	5.4	570	1.7
<i>Drypetes variabilis</i>	Pau-branco	f	r	ol	11.3	5.8	15.9	0.95	1.24	16200	146.7	73.9	12.6	16.5	13150	11420	4.3	690	1.9
<i>Pouteria gongrijpii</i>	Abiurana-branca	f	d	ma	10.1	4.5	15.0	0.95	1.24	15600	147.3	77.0	12.8	18.0	11900	10870	4.9	800	2.2
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-manga	m	r	ma	9.0	4.6	13.0	0.95	1.04	14600	137.3	77.9	15.5	18.3	12250	9840	6.6	700	2.0
<i>Chysophyllum anomalum</i>	Rosadinho/Mangarana	f	d	ma	9.1	5.7	14.4	0.96	1.25	16200	165.9	86.8	14.3	14.5	12800	10760	4.6	710	1.6
<i>Qualea brevipedicellata</i>	Mandioqueira-áspera	mg	r	ma	8.6	4.4	13.6	0.96	1.17	15900	134.6	81.4	14.5	13.4	11250	9820	2.3	490	2.0
<i>Sloanea sp.</i>	Urucurana	m	d	ma	8.7	5.6	15.5	0.96	1.21	16300	152.9	78.3	16.1	22.8	18990	19080	3.4		1.6
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r		8.5	5.8	14.2	0.96	1.20	17000	156.4	102.9	16.4	15.8			5.3	700	1.5
<i>Pouteria oblancaolata</i>	Tuturubá	f	d	ma	8.9	5.2	13.8	0.96	1.27	15700	156.2	79.4	14.0	16.3			4.1	510	1.7
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	9.0	6.0	14.7	0.96	1.22	17000	156.4	102.9	16.4	19.4	15140	12470	4.2	670	1.5
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	m	in	ma	7.7	3.4	11.4	0.96	1.24	15900	139.9	77.3	14.1	19.4	12530	11160	6.8	760	2.3
<i>Acioa sp.</i>	Castanha-de-cutia	m	o	ma	9.7	5.3	15.1	0.97	1.20	14900	142.9	75.7	13.4	17.0	14170	12170	5.0	900	1.8
<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	d	rx	8.7	5.0	13.4	0.97	1.26	16000	161.5	120.7	17.8	15.8	13020	13340	6.0	890	1.7
<i>Terminalia cf. argentea</i>	Cuia	m	i	ol	9.8	5.8	15.2	0.97	1.25	15700	144.8	86.3	13.1	14.0	15720	1424	4.5	600	1.7
<i>Zizyphus itacaiunensis</i>	Maria-preta	f	r	ma	9.9	6.9	15.7	0.97	1.26	16500	159.7	89.2	14.8	19.8	16680	15110	5.9	730	1.4
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana	m	in	ma	8.3	5.1	13.1	0.98	1.17	13400	128.5	69.7	11.5	12.6	7330	7850	5.1		1.6
<i>Eschweilera longipes</i>	Matamatá	m	d	ol	9.6	5.6	14.5	0.98	1.20	16100	136.7	68.0	10.1	18.1	11810	10930	4.4	550	1.7
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matamatá-preto	m	d	ol	9.7	5.6	16.4	0.98	1.24	15600	140.1	69.3	13.0	11.4	9630	11020	3.9	740	1.7
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira-preta	m	r	ma	7.4	4.5	12.3	0.98		13800	157.0	88.5	16.3	12.8	13010	11530	4.3		1.6
<i>Brosimum alicastrum</i>	Janitá	m	d	ma	9.4	5.6	16.0	0.99	1.23	16300	155.7	87.9	11.4	15.1	11510	9340	4.5	700	1.7
<i>Tetragastris panamensis</i>	Breu-preto	mf	in	ma	9.8	5.0	14.9	0.99	1.23	14300	126.0	61.7	13.1	19.3	13850	11510	5.1	630	2.0
<i>Marmaroxylon racemosum</i>	Angelim-rajado	m	d	am	9.3	5.9	15.2	0.99	1.26	16700	166.8	80.7	19.3	17.6	15180	14410	2.9		1.6
<i>Priourella priourii</i>	Abiu-de-casca-fina	m	d	ma	13.0	7.7	20.3	0.99		17500	177.4	76.0	15.3	20.0	12120	12360	4.3		1.7
<i>Pouteria anomala</i>	Rosadinho	f	d		9.4	6.3	15.2	0.99	1.22	16200	165.9	86.8	14.3	16.3			4.6	710	1.5
<i>Protium sp.</i>	Breu	m	in	ma	9.8	5.1	15.0	1.00	1.12	15800	140.7	80.5	11.8	18.2	12480	10510	4.8	670	1.9
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR
					%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara-rajada	mf	r	ma	7.6	4.6	11.9	1.00	1.19	15300	139.1	84.0	14.1	17.1	8910	9780	5.5	630	1.7
<i>Lecythis idatinon</i>	Matamatá-vermelho	m	in	ma	10.3	4.9	15.3	1.00	1.26	15000	143.8	70.7	11.6	14.7	11110	10620	4.1	770	2.1
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão	mf	i	am	12.6	6.5	18.1	1.01	1.17	16700	158.6	75.5	11.8	17.1	12330	10930	5.9	640	1.9
<i>Vatairea paraensis</i>	Angelim-amargoso	g	i	ma	9.8	4.8	14.0	1.02	1.24	15300	151.3	79.3	13.1	16.1	9340	9860	4.2	650	2.0
<i>Licania gracilipes</i>	Caraiperana	m	i	ci	12.5	5.5	18.1	1.02	1.23	16500	161.6	86.1	15.4	16.1	15100	14940	4.2	640	2.3
<i>Dialium guianense</i>	Jutaípeba	f	r	ma	9.2	5.0	13.7	1.02	1.28	17500	192.3	92.2	22.3	22.8	17220	16670	4.5	730	1.8
<i>Tabebuia sp.</i>	Ipê	m	r	ol	6.8	6.1	12.4	1.02	1.24	16200	187.7	103.8	21.3	17.4	14050		4.5	760	1.1
<i>Terminalia amazonica</i>	Cuiarana	m	o	ol	7.8	5.2	12.8	1.03	1.24	14300	148.9	79.5	14.3	14.2	11660	10140	5.3		1.5
<i>Peltogyne paniculata</i>	Roxinho/Pau-roxo	m	r	rx	8.1	5.1	12.7	1.03	1.27	18100	190.8	92.3	20.3	18.5	16500	15360	2.9	490	1.6
<i>Couepia robusta</i>	Castanha-de-cutia	m	i	ma	11.0	5.8	15.7	1.03	1.21	15900	157.6	80.4	19.4	13.3	13610	14540	4.0	590	1.9
<i>Endopleura uchi</i>	Uchi-liso	m	d	ma	9.6	6.4	15.6	1.04	1.18	15600	156.7	16.3	13.3	19.1	13370	10590	6.3	480	1.5
<i>Buchenavia huberi</i>	Cuiarana	mf	d	ol	9.1	6.0	14.7	1.04	1.24	15600	158.0	85.3	17.7	16.7	13580	11860	4.6		1.5
<i>Acioa edulis</i>	Castanha-de-cutia	m	r	ma	10.3	8.0	17.5	1.04	1.23	16600	153.6	82.6	16.0	15.8	10740	12230	4.4	620	1.3
<i>Licania octandra</i>	Caraipé	m	d	ci	11.9	6.1	17.4	1.04	1.25	17400	164.2	85.0	11.7	15.5	12440	12490	4.1	490	2.0
<i>Tabebuia cf. incana</i>	Ipê-amarelo	m	r	ma	8.4	5.9	13.3	1.05	1.21	16800	177.0	105.4	21.7	15.8			4.5	690	1.4
<i>Roupala montana</i>	Louro/Faeira	g	d	ma	12.3	6.3	18.0	1.05	1.24	17300	161.4	84.6	11.2	15.7	9760	9840	6.3	870	2.0
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumaru	m	r	am	8.4	5.4	13.5	1.07	1.28	18300	176.4	98.7	21.0	22.4	13390	16010	4.9	870	1.6
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.3	7.1	16.4	1.07	1.27	17400	179.7	110.9	17.3	17.1	15150	13820	5.1	880	1.3
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Sucupira amarela	mg	r	am	9.3	4.2	12.7	1.08	1.21	17100	164.8	80.2	15.1	17.7	9460	10640	5.6	810	2.2
<i>Manilkara bidentata</i>	Maparajuba/Maçaranduba	f	d	ma	8.3	5.9	13.8	1.08	1.26	13800	130.7	64.8	15.5	16.3	8870	9280	5.7	440	1.4
<i>Sloanea nitida</i>	Urucurana	m	d	ma	11.2	5.3	18.6	1.08	1.30	18100	174.9	97.4	20.0	16.3	16860	1840	8.6	820	2.1
<i>Eschweilera sp.</i>	Matamatá	m	d	ol	10.7	6.0	16.1	1.08	1.26	19300	175.1	88.1	18.3	20.9	14920	13900		890	1.8
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim-vermelho	m	r	ma	9.5	5.7	14.5	1.09	1.26	17300	160.0	87.3	15.1	18.0	14600	13810	3.9	670	1.7
<i>Mouriri callocarpa</i>	Miraúba	f	i	ol	11.1	7.1	17.4	1.09	1.28	17500	192.0	96.3	22.4	19.0	17950	18290	5.9	650	1.6
<i>Inga paraensis</i>	Ingá/Ingarana	mg	in	ma	10.7	5.3	15.9	1.09	1.26	18300	186.6	85.0	14.7	21.8	15180	13900			2.0
<i>Lecythis pisonis</i>	Castanha-sapucaia	m	r	ve	8.0	5.6	13.9	1.09	1.25	15100	152.9	71.6	15.2	17.5	13250	12840	4.3	590	1.4
<i>Pouteria egregia</i>	Abiu-pitomba	mf	i	ma	11.2	6.8	15.7	1.12	1.23	17900	175.2	90.7	15.0	19.4	14810	13380	5.8	900	1.6
<i>Diploon venezuelana</i>	Abiurana	f	d	ma	10.1	7.1	15.7	1.13	1.20	18100	190.6	98.3	19.8	20.0	12060	13360	3.2	550	1.4
<i>Pouteria caimito</i>	Abiurana-vermelha	mf	in	ve	9.4	5.3	14.5	1.15	1.28	17900	171.8	89.4	16.6	16.7	13500	10300	5.0	580	1.8
<i>Trichilia lecointei</i>	Pracuúba-da-terra-firme	mf	in	ma	8.2	4.4	13.2	1.16	1.27	16700	160.8	88.1	18.6	18.9	13320	14330	5.3	640	1.9
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jatobá/Jutaí-mirim	m	in	ve	9.7	3.7	13.4	1.16	1.30	17300	173.2	96.6	19.2	23.6	16710	17200	6.6	730	2.6
<i>Vantanea parviflora</i>	Uxirana	m	i	ma	10.3	8.2	17.6	1.17	1.20	17900	173.2	88.1	15.5	18.1	15740	13370	4.8	580	1.3
<i>Manilkara sp.</i>	Maçaranduba	f	d	ma	9.4	6.7	15.0	1.17		14200	172.9	84.1	19.8	15.8	15320	14640	6.9		1.4
<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê	m	r	ol	8.0	6.6	13.2	1.19	1.2	13100	172.6	86.9	25.3	13.7	14800	14060	3.9		1.2
<i>Aniba canelilla</i>	Preciosa	m	in	pr	8.2	6.4	13.6	1.19	1.30	17900	187.5	99.7	20.6	18.8	15000	15280	2.9	550	1.3
<i>Zollernia paraensis</i>	Pau-santo	f	r	pr	9.6	5.0	16.8	1.26	1.32	18200	191.5	97.4	27.5	18.8	14900	14790	4.7	510	1.9
<i>Cassia scleroxylon</i>	Muirapixuna	m	i	pr	8.2	3.6	11.5	1.28	1.34	16700	184.4	98.2	23.2	20.3	14830	15580	3.3	740	2.3
NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM				%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/cm	
		Textura	Grã	Cor	CT	CR	CV	Dap.	Dv	MOE	MOR	CPA	CPE	CIS	DE	DF	TPER	FEND	CT/CR

10.7 APÊNDICE B1: Tabelas de Espécies de Madeiras Tropicais Verde e Seca da África por Ordem de Densidade Básica

ÁFRICA										
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	PROPIEDADES MECÂNICAS					CONTRAÇÃO (%)			Dureza Janka (Kgf)
		UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	
AFRICAN CORKWOOD / UMBRELLA TREE - MUSANGA CECROPIOIDES	Parasolier (Ivory Coast), N'Govoge (Sierre Leone), Doe, Govwi (Liberia).	seca 12%	0.18	31.7	7446.3	18.1	2.2	7.0	9.8	-
		verde		8.4	4629.9	3.0				-
ERIMADO - RICINODENDRON HEUDELII	Munguella (Angola), Essessang (Cameroon), Bofeko (Zaire), Wama (Ghana), Okhuen (Nigeria), Kishongo (Uganda).	seca 12%	0.20	31.4	4688.4	19.3	2.0	4.8	7.0	-
		verde		11.7	4935.9	4.7				-
CEIBA PENTANDRA - CEIBA/SILK-COTTON-TREE	Fromager, Enia (Ivory Coast), Ngwe, Banda (Sierra Leone), Ghé (Liberia), Araba, Okha (Nigeria), Doum, Bouma, Odouma (Cameroon, Gabon), Fuma	seca 12%	0.26	40.0	4136.9	21.7	2.8	6.4	10.4	109
		verde		21.6	5853.8	9.6				100
ONZANG / MBANKO - ODYENDEA SPP.	Mbanko (O. zimmermanii) reported in Tanzania and Kenya; Onzang (O. gabonensis)	seca 12%	0.32	43.8	5688.2	27.9	3.2	5.4	8.8	-
		verde		31.6	6771.7	14.6				-
OBECHÉ - TRIPLOCHITON SCLEROXYLON	Arere, Obeche (Nigeria), Samba (Ivory Coast), Ayous (Cameroon), Wawa (Ghana), Abachi (Germany, Holland).	seca 12%	0.32	54.5	6481.1	29.6	3.0	5.4	9.2	195
		verde		37.2	4550.5	18.5				191
ALSTONIA - ALSTONIA CONGENSIS	Mujwa, Mujua (Uganda), Emien (Ivory Coast), Sindru (Ghana), Ahun, Awun, (Nigeria), Bokuk, Kanja (Cameroon), Kaiwi, Kauwi (Sierra Leone).	seca 12%	0.33	59.0	8273.7	36.1	4.0	5.4	12.4	186
		verde		36.0	6412.1	20.1				168
WEST AFRICAN CORDIA - CORDIA MILLENII	Omo (Nigeria), Ébé (Cameroon).	seca 12%	0.34	66.9	6894.8	35.9	3.4	4.6	7.5	268
		verde		53.8	6894.8	26.3				249
OVOGA - POGA OLEOSA	Inoi (Nigeria), Ngalé (Cameroon), Ovoga, Afo (Gabon).	seca 12%	0.36	62.4	7170.5	36.2	2.8	8.0	13.1	-
		verde		38.2	7383.7	17.9				-
OKOUMÉ - AUCOUMEA KLAINIANA	Gaboon (U.K.), Angouma, Moukoui, N'Koumi (Gabon).	seca 12%	0.37	86.9	7894.5	36.9	4.1	6.1	11.3	109
		verde		39.9	7536.7	18.7				-
ANTIARIS - ANTIARIS SPP.	Kyenkyen, Chenchen (Ghana), Mkuzu, Mlulu (Tanzania), Oro, Ogiou (Nigeria), Kirundo, Mumaka (Uganda), Ako (Dahomey,	seca 12%	0.38	59.0	7170.5	35.1	4.2	6.8	12.4	227
		verde		32.9	5584.8	20.2				172
ADOUNG - MONOPETALANTHUS HEITZII	Adoung de heitz (Gabon).	seca 12%	0.39	98.6	8963.2	49.6	4.0	6.8	10.8	-
		verde		43.2	7842.6	20.4				-
ANINGERIA - ANINGERIA SPP.	Agnegre, Anegre (Ivory Coast), Landosan (Nigeria), Mukali, Kali (Angola), Osan, Mutoke (Uganda), Mukangu, Muna (Kenya).	seca 12%	0.43	89.6	11100.6	36.3	3.8	7.0	11.8	567
		verde		54.7	7584.2	29.3				336
BOMBAX - BOMBAX SPP.	Alone, Ogoumalanga (Gabon), Msufi-mwitu, Mfume (Tanzania), Meguza (Mozambique), Kapokier (Senegal).	seca 12%	0.40	74.5	7239.5	37.2	4.9	8.1	-	181
		verde		29.7	5033.2	16.4				177
AFRICAN CANARIUM-CANARIUM SCHWEINFURTHII	Abel (Cameroon), Aiélé (Ivory Coast), Elemi (Nigeria), Bediwunua, Eyere (Ghana), Mwafu (Uganda).	seca 12%	0.40	69.6	9032.1	42.5	2.5	4.5	-	304
		verde		40.7	6205.3	21.6				236
OGEA - DANIELLIA OGEA	Ehyedua, Shedua (Ghana), Oziya, Daniellia (Nigeria), Fara (Ivory Coast), Nsou (Cameroon), Faro (France), Incenso (Portuguese Guinea).	seca 12%	0.40	66.5	9101.1	41.6	3.0	9.0	11.7	322
		verde		44.9	7995.6	21.2				-
AGBA - GOSSWEILERODENDRON BALSAMIFERUM	Achi, Egba, Emongi (Nigeria), Tola blanc (Congo-Brazzaville), Tola branca (Angola), N'Tola (Zaire).	seca 12%	0.40	65.5	7584.2	43.2	1.5	3.0	-	336
		verde		51.7	5998.4	24.3				281
ILOMBA - PYCNANTHUS ANGOLENSIS	Gboyei (Sierra Leone, Liberia), Oualélé, Walele (Ivory Coast), Otie (Ghana), Akomu (Nigeria), Eteng (Cameroon), Lolako	seca 12%	0.40	71.7	8342.7	39.3	4.6	8.4	12.8	-
		verde		44.9	7995.6	21.2				-
VITEX / MERU - OAK - VITEX DONIANA	Mfuru, Mgwobe (Tanzania), Munyamazi, Muhomozi (Uganda).	seca 12%	0.40	41.0	5171.1	26.9	1.1	3.3	-	308.4
		verde		44.9	7995.6	21.2				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza
		PROPIEDADES MECÂNICAS					CONTRAÇÃO (%)			Janka (Kgf)
MUSIZI - MAESOPSIS EMINII	Muhumula, Musira (Tanzania), Muhongera, Muguruka (Uganda), Muhunya (Kenya), Manasati (Ivory Coast).	seca 12%	0.41	75.8	9239.0	46.0	2.5	4.0	-	226-318
		verde		55.2	8066.9	20.8				209-308
PODO - PODOCARPUS SPP.	Yellowwood (South Africa), Wiriwiri, Mse, Mushunga (Tanzania), Musenene, Sapta (Uganda).	seca 12%	0.43	82.0	9549.2	43.1	2.8	5.1	-	376
		verde		47.9	6067.4	22.1				254
IDIGBO - TERMINALIA IVORENSIS	Black Afara, Idigbo (Nigeria), Emeri (Ghana), Framiré (Ivory Coast).	seca 12%	0.43		9376.9	44.1	3.5	5.2	9.0	383
		verde		49.9	8454.6	23.7				-
AFRICAN MAHOGANY - KHAYA IVORENSIS	K. ivorensis Munyama (Uganda), Acajou d'Afrique (Ivory Coast), Dubini, Dukuma fufu (Ghana), Ogwango	seca 12%	0.44	77.9	9032.1	44.3	2.5	4.5	-	612
		verde		53.1	7446.3	25.4				531
GEDU NOHOR - ENTANDROPHRAGMA ANGOLENSE	Mukusu (Uganda), Tiama (Ivory Coast), Edinam (Ghana), Kalungi (Zaire).	seca 12%	0.45	77.2	11031.6	45.2	4.7	6.6	11.8	426
		verde		51.7	6894.8	25.4				349
ALBIZZIA - ALBIZZIA SPP.	Okuro (Ghana), Ayinre, Uwowe (Nigeria), Mugavu, Nongo (Uganda), Mtanga, Mduyasi (Tanzania).	seca 12%	0.45	84.9	11307.4	42.3	2.4	3.8	-	340-526
		verde		49.9	5860.5	29.6				-
AFRICAN-WALNUT / LOVOA / TIGERWOOD - LOVOA TRICHILIOIDES	Mpengwa (Ghana), Anamemila, Apopo, Sida (Nigeria), Bombulu (Zaire), Dibétou (Gabon, Ivory Coast), Congowood, Tigerwood (USA).	seca 12%	0.45	82.0	9239.0	44.1	2.0	5.0	-	426
		verde		56.5	7308.4	29.8				313
ABURA - MITRAGYNA CILIATA	M'Boy (Sierra Leone, Liberia), Bahia (Ivory Coast), Baya, Subaha (Ghana), Elolom (Cameroon), Elelom (Gabon), Vuku, M'Voukou (Zaire), Nzingu (Zambia),	seca 12%	0.45	83.4	9307.9	46.5	4.1	9.0	12.0	354
		verde		54.5	8135.8	27.4				318
AFARA / LIMBA - TERMINALIA SUPERBA	Ofram (Ghana), Fraké (Ivory Coast), Afara (Nigeria), Akom (Cameroon), Limba (Zaire, Angola).	seca 12%	0.45	83.4	10549.0	47.6	3.5	5.2	9.0	383
		verde		53.2	8760.5	25.3				-
MTAMBARA - CEPHALOSPHAERA USAMBARENSIS	Mtambao (Tanzania).	seca 12%	0.48	93.1	16892.2	44.3	3.0	6.5	-	336
		verde		58.2	9219.5	27.8				-
GUAREA - GUAREA CEDRATA	Bossé (Ivory Coast), Kwabohoro (Ghana), Obobo (Nigeria), Édoucié (Cameroon).	seca 12%	0.48	101.4	10824.8	53.2	2.0-2.5	3.5-4.0	-	454
		verde		74.5	8894.2	35.4				-
AFRICAN PENCIL CEDAR - JUNIPERUS PROCERA	01 tarakwa, Mtarakwa, Mwangati (Tanzania).	seca 12%	0.48	87.7	10932.0	48.1	2.0	3.0	-	-
		verde		76.5	8825.3	40.0				347
SORRO - SCYPHOCEPHALIUM OCHOCOIA	Sogho, Ossoko (Gabon)	seca 12%	0.48	80.0	9307.9	48.3	33.6	4.8	6.8	-
		verde		58.2	9219.5	27.8				-
AVODIRÉ - TURREANTHUS AFRICANUS	Blimah-pu (Liberia), Apapaye (Ghana), Lusamba (Zaire), Apaya (Nigeria).	seca 12%	0.48	92.4	12065.8	51.4	4.6	6.7	12.0	490
		verde		58.2	9219.5	27.8				-
EKEBERGIA - EKEBERGIA RUEPELLIANA	01 Mokuna, Msisi (Tanzania), Mufumba (Uganda).	seca 12%	0.50	55.2	11252.9	27.6	1.7	4.3	-	408
		verde		61.5	9525.5	29.5				-
LANDA - ERYTHROXYLUM MANII	Bmini (Sierra Leone), Dabé, Ndabé (Ivory Coast), Ditsumi (Gabon), Lukiènzo (Zaire).	seca 12%	0.50	89.6	11252.9	51.4	-	-	11.6	-
		verde		61.5	9525.5	29.5				-
EAST AFRICAN CAMPHORWOOD - OCOTEA USAMBARENSIS	Muwong, Maasi, Mkulo (Tanzania), Mwiha (Uganda).	seca 12%	0.51	91.7	9928.5	52.3	2.5	4.0	-	422
		verde		58.6	8135.8	30.6				345
MUIRUNGI - CASEARIA BATTISCOMBEI	Casearia, Mlikawandu, White Matua (Tanzania).	seca 12%	0.52	80.7	10342.1	45.6	1.9	4.9	-	327
		verde		64.8	9831.4	31.1				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza
		PROPIEDADES MECÂNICAS					CONTRAÇÃO (%)			Janka (Kgf)

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
KOSIPO - ENTANDROPHRAGMA CANDOLLEI	Omu (Nigeria), Candollei (Ghana).	seca 12%	0.52	91.0	12686.4	51.7	4.0	6.0	-	-
		verde		64.8	9831.4	31.1				-
SAPO - DIDELOTIA BREVIPANICULATA	Sapo, Bondu (Liberia), Ekop Zing (Cameroon).	seca 12%	0.53	101.4	11652.2	52.4	3.8	9.0	12.8	-
		verde		66.4	9984.4	32.0				-
UTILE - ENTANDROPHRAGMA UTILE	Efuodwe (Ghana), Sipo (Ivory Coast), Okeong (Nigeria), Assié (Cameroon), Kosi-Kosi (Gabon), Mufumbi (Uganda).	seca 12%	0.53	94.5	11100.6	54.5	4.6	6.4	11.0	572
		verde		78.6	9583.7	38.2				490
TCHITOLA - OXYSTIGMA OXYPHYLLUM	Lolagbola (Nigeria), M'Babou (Gabon), Tshibudimbu (Zaire), Tola mafuta (Angola).	seca 12%	0.53	103.4	11583.2	55.8	5.1	10.7	-	567
		verde		80.7	10480.0	39.3				499
NIANGON - TARRIETIA UTILIS	Nyankom (Ghana), Ogoué (Cameroon), De-orh (Liberia), Yawe (Sierra Leone).	seca 12%	0.54	89.6	12617.4	51.7	2.5	4.5	-	499
		verde		70.3	8411.6	36.5				476
SUGAR-PLUM - UAPACA SPP.	Abo emido, Yeye (Nigeria), Rikio, Borikio, Rikio riviére (Ivory Coast, Cameroon).	seca 12%	0.54	105.5	11031.6	55.5	4.6-6.0	9.3-11.4	13.2-16.0	-
		verde		68.1	10137.4	32.8				-
IROKO - CHLOROPHORA EXCELSA	Semli (Sierra Leone, Liberia), Odoum (Ghana, Ivory Coast), Rokko, Oroko (Nigeria), Abang, Mandji (Cameroon, Gabon), Mereira (Angola),	seca 12%	0.55	95.1	9376.9	54.5	2.8	3.8	8.8	481
		verde		73.8	8273.7	35.3				490
SAPELE - ENTANDROPHRAGMA CYLINDRICUM	Aboudikro (Ivory Coast), Penkwa (Ghana), Muyovu (Uganda), Sapelli (Cameroon), Libuyu (Zaire).	seca 12%	0.55	111.0	11721.1	58.6	4.6	7.4	14.0	680
		verde		73.8	9583.7	36.0				463
EAST AFRICAN SATINWOOD - FAGARA MACROPHYLLA	Olon dur (Gabon), Munyenye (Uganda).	seca 12%	0.55	103.4	13720.6	55.3	-	-	11.5	-
		verde		78.6	10824.8	42.1				-
AFRICAN MAHOGANY / BENIN MAHOGANY / SENEGAL MAHOGANY - KHAYA	Diala-iri (Ivory Coast, Ghana), Akuk, Ogwango (Nigeria), Eri Kirée (Uganda), Bandoro (Sudan)	seca 12%	0.55	97.2	10617.9	55.2	2.5	4.5	-	612
		verde		68.9	9101.1	35.9				531
AFRICAN PADAUK - PTEROCARPUS SOYAUXXII	Mbé, Mbil (Cameroon), Ngula, Bosulu (Zaire).	seca 12%	0.55	95.8	12065.8	53.8	3.3	5.2	7.6	-
		verde		69.8	10290.4	33.6				-
MAKORÉ / DOUKA - TIEGHEMELLA HECKELII E TIEGHEMELLA AFRICANA	(T. heckelii) Baku (Ghana), Makoré (Ivory Coast); (T.africana) Douka, Ukola (Gabon).	seca 12%	0.55	101.4	11238.5	55.8	4.7-6.2	6.8-8.0	10.6-11.0	503
		verde		75.2	8204.8	36.5				422
MAFU - FAGAROPSIS ANGOLENSIS	Mfu, Mkunguni, Mtongoti (Tanzania), Muyinja (Kenya).	seca 12%	0.56	104.8	14479.0	59.2	2.1	3.7	-	621
		verde		71.4	10443.4	34.4				-
DAHOMA - PIPTADENIASTRUM AFRICANUM	Mbeli (Liberia), Dabéma (Ivory Coast), Dahoma (Ghana), Agboin, Ekhimi (Nigeria), Atui (Cameroon), Bokungu (Zaire), Mpewere (Uganda).	seca 12%	0.56	108.9	12341.6	56.9	3.9	8.7	12.5	699
		verde		75.8	9859.5	36.7				599
PTERYGOTA - PTERYGOTA SPP.	Kyere, Awari, Okyere (Ghana), Koto (Ivory Coast), Poroposo, Kefe (Nigeria).	seca 12%	0.56	111.0	11514.2	58.3	5.7	11.4	15.0	426-435
		verde		73.1	8756.3	35.4				304-359
ODOKO - SCOTTELLIA CORIACEA	Koroko, Dein (Ghana), Mehr-chu (Liberia), Aburuhi (Ivory Coast), Emwenfuohai (Nigeria)	seca 12%	0.56	116.5	12824.2	63.6	2.5	5.0	-	494
		verde		83.4	11307.4	38.6				449
MUSINE - CROTON MEGALOCARPUS	Mlalai, Muhande (Tanzania).	seca 12%	0.57	96.5	12376.3	51.7	-	-	-	612
		verde		79.3	10596.4	45.5				590
AFRORMOSIA - PERICOPSIS ELATA	Kokrodua (Ghana), Assamela (Ivory Coast).	seca 12%	0.57	133.8	12479.5	62.7	3.0	6.4	10.7	708
		verde		107.6	11376.3	53.8				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
BERLINIA - BERLINIA SPP.	Ekpogoi (Nigeria), Ebiara (Gabon), Melegba (Ivory Coast), Essaben, Abem (Cameroon).	seca 12%	0.58	105.5	10824.8	53.0	4.4	8.9	12.4	617
		verde		72.4	9101.1	34.0				454
OKWEN - BRACHYSTEGIA SPP.	Achi, Ngu, Akolodo (Nigeria), Meblo (Ivory Coast), Naga (Cameroon), Mendou (Gabon).	seca 12%	0.58	104.8	10549.0	57.0	2.5	3.5	-	422-649
		verde		78.6	8825.3	39.4				-
AYAN - DISTEMONANTHUS BENTHAMIANUS	Movingui (Gabon), Barré (Ivory Coast), Bonsamdua (Ghana), Eyèn (Cameroon), Ayanran (Nigeria).	seca 12%	0.58	108.2	11376.3	57.3	3.1	5.2	10.7	558
		verde		74.7	10749.4	36.1				-
MANSONIA - MANSONIA ALTISSIMA	Aprono (Ghana), Bété (Ivory Coast), Ofun (Nigeria), Koul (Cameroon).	seca 12%	0.58	102.7	11583.2	58.6	4.4	7.3	10.2	585
		verde		89.6	9652.7	44.1				549
MUERI - PYGEUM AFRICANUM	Mkomohoyo, Mseneo (Tanzania), Ntasesa (Uganda), Tenduet, Mueri (Kenya).	seca 12%	0.58	122.0	11307.4	62.7	-	-	9.1	390
		verde		74.7	10749.4	36.1				-
PILLARWOOD - CASSIPOUREA MALOSANA	Ndiri, Msengera, Fuzare (Tanzania), Musaisi (Kenya).	seca 12%	0.59	106.9	12410.6	61.4	3.5	8.0	-	567-748
		verde		80.7	11376.3	33.4				408-449
MUNINGA - PTEROCARPUS ANGOLENSIS	Mutete (Angola), Mukwa (Rhodesia), Mtumbati (Tanzania), Kiatt, Kajat (South Africa).	seca 12%	0.59	94.5	8411.6	57.1	1.0	1.5	-	671
		verde		84.8	7584.2	40.6				590
IZOMBÉ - TESTULEA GABONENSIS	Aké, Akewe (Gabon).	seca 12%	0.60	120.7	12617.4	55.5	3.4	6.0	10.4	-
		verde		78.1	11055.3	37.8				-
YELLOW STERCULIA - STERCULIA OBLONGA	Okoko (Nigeria), Bi (Ivory Coast), Eyong, Bongele (Cameroon), N'chong (Gabon).	seca 12%	0.61	122.0	13306.9	64.8	4.5	10.8	14.2	508
		verde		80.7	10342.1	38.7				399
SOUGUÉ - PARINARI EXCELSA	Mubura (Tanzania, Uganda), Kpar (Liberia), Esagko, Inyi (Nigeria), Mampata (Senegal).	seca 12%	0.62	122.7	13375.8	65.5	6.6	10.2	16.0	780
		verde		81.4	11361.3	39.4				-
LONGUI - SYN. CHRYSOPHYLLUM AFRICANUM	Longui rouge (Congo-Brazzaville).	seca 12%	0.63	125.5	12548.5	67.9	5.8	8.1	14.0	-
		verde		83.0	11514.3	40.2				-
OPEPE - NAUCLEA DIDERRICHII	Kusia (Ghana), Badi (Ivory Coast), Bilinga (Gabon), Akondoc (Cameroon), N'Gulu-maza (Zaire), Kilingi (Uganda).	seca 12%	0.63	120.0	13375.8	59.3	4.5	8.4	12.6	739
		verde		94.5	11859.0	51.6				689
NIANGON - TARRIETIA DENSIFLORA	Nyankom (Ghana), Ogoúé (Cameroon), De-orh (Liberia), Yawe (Sierra Leone).	seca 12%	0.63	121.3	12617.4	58.6	2.5	4.5	-	499
		verde		70.3	8411.6	36.5				476
MUTENYE/BENGE - GUIBOURTIA ARNOLDIANA	Benge, Mbenge (Zaire).	seca 12%	0.64	147.5	14065.3	78.6	4.6-5.8	8.0-9.2	10.5-14.7	-
		verde		84.7	11667.3	41.1				-
BROWN STERCULIA - STERCULIA RHINOPETALA	Wawabima (Ghana), Lotofa (Ivory Coast), Aye (Nigeria).	seca 12%	0.64	144.8	14065.3	71.0	5.0	9.5	-	821
		verde		86.9	10755.8	42.5				640
AFRICAN CELTIS - CELTIS SPP.	Esa (Ghana), Ba (Ivory Coast), Akasinsa (Uganda), Ita, Ohia (Nigeria), Mrinde, Mrunde (Tanzania).	seca 12%	0.65	144.1	15857.9	72.7	5.6	10.4	15.4	-
		verde		90.0	12755.3	44.8				630
NKOKAKOBA - BAIKIAEA INSIGNIS SUBSP. MINOR	Nkoba (Uganda).	seca 12%	0.65	117.5	18029.8	65.2	2.3	4.5	-	803
		verde		86.4	11820.3	41.9				-
MBARIKA - ISOBERLINIA SCHEFFLERI	-	seca 12%	0.65	102.7	14616.9	56.4	2.5	5.9	-	644
		verde		86.4	11820.3	41.9				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
PANGA PANGA / WENGE - MILLETTIA SPP.	Millettia laurentii: Wenge (Zaire), Awong (Cameroon). Millettia stuhlmannii: Panga panga, Mpande (Tanzania).	seca 12%	0.65	122.0	13582.7	68.6	3.1	5.8	-	739
		verde		86.4	11820.3	41.9				-
DANTA - NESOGORDONIA PAPAVERIFERA	Kotibé (Ivory Coast), Otutu (Nigeria), Owoé (Cameroon), Arborbora (Gabon), Kondofindo (Zaire), Naouya (Angola), Abumana, Akumaba, Epro (Ghana).	seca 12%	0.65	128.2	11652.1	65.2	5.4	8.2	12.4	971
		verde		86.4	11820.3	41.9				-
AFZELIA - AFZELIA SPP.	Doussié (Cameroon), Apa, Aligna (Nigeria), Mkora, Mkola, Mbambakofi (Tanzania), Chanfuta, Mussacossa (Mozambique), Beyo, Meli,	seca 12%	0.67	124.8	13100.0	79.2	1.0	1.5	-	803-839
		verde		89.7	12126.2	43.5				-
MTUNDU - BRACHYSTEGLIA SPICIFORMIS	Messassa (Mozambique), Mundu, Myombo, Mtondo (Tanzania), Muputu (Zambia).	seca 12%	0.67	119.3	14341.1	66.0	3.0	4.4	-	830
		verde		89.7	12126.2	43.5				-
ADJOUABA - DACRYODES SPP.	Ozigo, Assia, Igaganga, Ossabel (Gabon), Safoukala (Congo-Brazzaville), Mouguengueri (Zaire).	seca 12%	0.67	128.2	12686.4	69.6	4.4-7.5	5.8-8.2	13.0-15.6	-
		verde		89.7	12126.2	43.5				-
OVANGKOL/AMAZOUE - GUIBOURTTIA EHIE	Ehie, Anokye (Ghana), Amazoué, Amazakoue (Ivory Coast). Frequentemente comercializada nos EUA como "Moçambique"	seca 12%	0.67	137.9	15513.2	61.7	3.6-5.3	6.6-9.8	10.0-12.0	-
		verde		89.7	12126.2	43.5				-
BUBINGA - GUIBOURTTIA SPP.	Essingang (Cameroon), Ovang, Kevazingo (Gabon), Waka (Zaire).	seca 12%	0.67	132.4	15168.5	66.2	4.0-7.6	6.6-10.2	9.4-16.6	-
		verde		89.7	12126.2	43.5				-
ESSIA - COMBRETODENDRON MACROCARPUM	Abalé (Ivory Coast), Owewe (Nigeria), Abing (Cameroon), Abin (Gabon), Minzu (Zaire).	seca 12%	0.70	140.0	14479.0	74.8	5.4	10.4	14.2	989
		verde		94.7	12585.2	46.0				-
CORDYLA - CORDYLA AFRICANA	Mroma, Mpachamu, Mgwata (Tanzania).	seca 12%	0.70	80.0	11996.9	57.4	3.8	5.3	-	717
		verde		94.7	12585.2	46.0				-
AFRICAN HOMALIUUM - HOMALIUUM SPP.	Melefoufou (Ivory Coast), Bro-kpah (Liberia).	seca 12%	0.70	127.6	14961.6	69.6	7.0	9.6	17.2	930
		verde		94.7	12585.2	46.0				-
OBOTO - MAMMEA AFRICANA	Bompegya (Ghana), Kaikumba (Liberia, Sierra Leone), Ologbomodu (Nigeria), Aborzok (Cameroon), Bokoli (Zaire).	seca 12%	0.70	138.6	14341.1	68.3	6.5	10.0	14.1	-
		verde		94.7	12585.2	46.0				-
ZEBRANO / ZEBRAWOOD - MICROBERLINIA BRAZZAVILLENSIS	Zingana (Gabon), Allen élé (Cameroon).	seca 12%	0.70	118.6	16133.7	73.8	6.8	11.5	16.5	-
		verde		94.7	12585.2	46.0				-
DIFOU - MORUS MESOZYGIA	Wonton (Ghana), Aye (Nigeria), Kankate (Zaire).	seca 12%	0.70	165.5	15582.2	88.3	3.3	5.8	8.0	-
		verde		94.7	12585.2	46.0				-
MISSANDA - ERYTHROPHLEUM IVORENSE	Tali (Ivory Coast), Erun, Sasswood (Nigeria), Potrodom (Ghana), Kassa (Zaire), Muave (Zambia), Mwavi	seca 12%	0.72	150.3	15444.3	81.4	5.8	8.6	11.5	1329
		verde		124.1	13306.9	71.0				1052
MECRUSSE - ANDROSTACHYS JOHNSONII	Lebombo ironwood, Nsimbitsi (Transvaal-South Africa), Cimbirre (Mozambique).	seca 12%	0.72	128.9	14783.4	65.5	5.8	6.2	11.6	1152
		verde		98.0	12891.2	47.7				-
EAST AFRICAN OLIVE - OLEA HOCHSTETTERI	Olmasi, Ngwe (Tanzania), Musharagi (Kenya).	seca 12%	0.72	174.4	17443.7	84.1	4.0	6.5	-	1243
		verde		105.5	13651.6	48.8				835
ANGUEUK - ONGOKEA GORE	Kouéro (Ivory Coast), Andjek, Angueuk (Gabon, Cameroon), Boleko (Zaire).	seca 12%	0.72	143.4	16133.7	74.5	4.0	7.0	-	-
		verde		98.0	12891.2	47.7				-
RHODESIAN-TEAK - BAIKIAEA PLURIJUGA	Zambesi redwood, Umgusi, Mukushi (Rhodesia).	seca 12%	0.73	84.3	8480.6	66.2	1.5	2.5	-	1356
		verde		99.6	13044.1	48.5				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
		PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)					

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
MUHIMBI - CYNOMETRA ALEXANDRI	Muhindi (Uganda).	seca 12%	0.74	151.0	16064.8	85.4	2.5	4.5	-	-
		verde		101.4	12755.3	56.7				-
MUHUHU - BRACHYLAENA HUTCHINSII	Muhugwe, Mkarambaki, 01 Magogo (Tanzania).	seca 12%	0.75	111.7	10066.3	70.3	2.0	3.0	-	993
		verde		91.7	8618.4	53.6				853
KAMASSI - GONIOMA KAMASSI	Cape boxwood, Kamassihout, Knysna boxwood, Kamassi boxwood (South Africa).	seca 12%	0.75	144.6	17533.4	72.6	-	-	-	1238
		verde		103.0	13350.1	50.2				-
OBA - IRVINGIA GABONENSIS	Bobo (Sierra Leone), Boboru, Wanini (Ivory Coast), Andok (Cameroon), Meba, Mueba (Zaire), Oro, Oba (Nigeria).	seca 12%	0.75	162.7	18684.8	78.6	6.8	11.4	18.0	-
		verde		103.0	13350.1	50.2				-
NIOVÉ - STAUDTIA STIPITATA	M'bonda (Cameroon), Niové, M'boun (Gabon), Kamashi, Nkafi (Zaire).	seca 12%	0.75	162.0	15857.9	77.9	5.5	7.2	12.5	-
		verde		103.0	13350.1	50.2				-
MOABI - BAILLONELLA TOXISPERMA	Njabi (Nigeria, Cameroon), Adza (Gabon), African Pearwood (U.K.), Dimpampi (Congo).	seca 12%	0.77	174.4	15168.5	84.1	5.9	7.5	12.6	-
		verde		106.3	13656.1	51.8				-
EYOUM - DIALIUM DINKLAGEI	Dina (Gabon)	seca 12%	0.77	139.3	15236.9	86.9	3.5-4.6	7.8-8.0	11.6-14.0	-
		verde		106.3	13656.1	51.8				-
MUKULUNGU - AUTRANELLA CONGOLENSIS	Elanzok, Elang (Cameroon), Kabulungu (Zaire).	seca 12%	0.78	150.3	14823.7	82.0	5.8	7.4	14.8	-
		verde		107.9	13809.1	52.6				-
MUWA - JULBERNARDIA GLOBIFLORA	Mchenga, Mgombo, Msima (Tanzania).	seca 12%	0.78	146.9	15582.2	80.7	2.9	3.6	-	1120
		verde		107.9	13809.1	52.6				-
OKAN - CYLICODISCUS GABUNENSIS	Denya (Ghana), Edum (Gabon), Adoum, Bokoka (Cameroon), Bouémon (Ivory Coast).	seca 12%	0.80	140.0	16064.8	85.4	6.0	8.8	12.6	1261
		verde		101.4	12755.3	56.7				1152
AFINA - STROMBOSIA GLAUDESCENS	Poé (Ivory Coast), Itako, Otinbgo (Nigeria).	seca 12%	0.80	194.4	16340.6	90.3	7.2	10.2	15.0	-
		verde		111.3	14115.0	54.3				-
AFRICAN EBONY - DIOSPYROS SPP.	Mgiriti, Msindi (Tanzania), Omenowa (Ghana), Kanran, Nyareti (Nigeria), Kukuó (Gambia).	seca 12%	0.82	146.2	17650.6	92.0	5.5	6.5	-	1461
		verde		114.6	14421.0	56.0				-
DINA - SWARTZIA FISTULOIDES	Oken, Ndina, Awong (Gabon), Kíela Kusu (Congo-Brazzaville).	seca 12%	0.82	154.4	16409.5	90.3	4.2	5.8	10.7	-
		verde		114.6	14421.0	56.0				-
EVEUSS - KLAINEDOXA GABONENSIS	Kroma (Ivory Coast), Odudu (Nigeria), Mututtu (Uganda).	seca 12%	0.87	179.3	21235.9	90.3	6.6	10.0	16.0	-
		verde		122.9	15185.9	60.1				-
EKKI / AZOBÉ - LOPHIRA ALATA	Bongossi, Bakundu (Cameroon), Kaku (Ghana), Esore (Ivory Coast), Aba (Nigeria), Endwi (Sierra Leone).	seca 12%	0.90	177.9	16892.2	90.5	8.4	11.0	17.0	1520
		verde		122.7	13858.5	68.4				1315
AFRICAN BLACKWOOD - DALBERGIA MELANOXYLON	Mufunjo (Uganda), Mpingo, Mugembe (Tanzania), Babanus (Sudan), Mukelete (Rhodesia), Grenadilla (Mozambique).	seca 12%	1.08	213.7	20546.4	74.5	-	-	7.6	-
		verde		157.7	18398.6	77.5				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

10.8 APÊNDICE B2: Tabelas de Espécies de Madeiras Tropicais Verde e Seca da Ásia e Oceania por ordem de Densidade Básica

SUDESTE DA ÁSIA E OCEANIA										
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	PROPIEDADES MECÂNICAS					CONTRAÇÃO (%)			Dureza Janka (Kgf)
		UMIDADE	Db	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	
						OBTIDO				
CANANGA - CANANGIUM ODORATUM	Fereng (Thailand), Ilang-Ilang (Philippines).	seca 12%	0.30	45.7	7308.4	23.30	3.3	8.0	-	150
		verde		32.1	5929.5	13.79				141
MOLUCCA ALBIZZIA - ALBIZIA FALCATA	Puah (Brunei), Moluccan sau (Philippines).	seca 12%	0.32	57.9	8825.3	30.96	3.2	6.2	9.5	204
		verde		36.5	7446.3	18.00				163
BINUANG - OCTOMELES SUMATRANA	Erima, Ilimo (New Guinea), Benuang (Indonesia).	seca 12%	0.32	53.1	8204.8	36.34	3.0	7.0	-	161-168
		verde		36.2	6550.0	22.75				204
BATAI / MOLUCCA ALBIZZIA - ALBIZIA FALCATA	Puah (Brunei), Moluccan sau (Philippines).	seca 12%	0.32	57.9	8825.3	30.96	3.2	6.2	9.5	163
		verde		36.5	7446.3	18.00				141-275
MAGAS / LAMPATI - DUABANGA SPP.	Loktob (Philippines), Myaukngo (Burma), Berembang bukit (Malaya), Lamphu (Thailand).	seca 12%	0.33	49.0	8756.3	32.13	1.5	3.0	-	-
		verde		36.1	8204.8	17.03				209
PULAI - ALSTONIA SPP.	Milkwood (Papua New Guinea), Dita (Philippines), Shaitan wood (India), Mo Cua (Vietnam), Basong (Malaya), Mergalang (Sarawak), Milky pine, White cheesewood (Australia).	seca 12%	0.36	62.5	9006.3	35.31	3.4	6.1	-	172
		verde		35.4	6619.0	19.24				-
JELUTONG - DYERA COSTULATA	Jelutong bukit (Sarawak).	seca 12%	0.36	62.5	9006.3	35.31	2.3	5.5	6.2	150
		verde		38.4	7963.4	21.03				-
TOTARA / THITMIN - PODOCARPUS SPP.	Malaalmaciga, Dilang butiki (Philippines), Totara, Miro, Matai (New Zealand), Setada (Malaya), Rempayan (Sabah), Landin (Sarawak), Paya (Thailand), Djamudju (Indonesia), Amunu (Fiji).	seca 12%	0.39	64.5	9239.0	40.33	3.3	5.7	10.4	204-390
		verde		43.9	8411.6	21.17				202-263
KADAM - ANTHOCEPHALUS CHINENSIS	Kalempayan (Malaya), Laran (Sabah), Kaatoan Bangkal (Philippines), Kelempajan (Indonesia), Mau-lettan-she (Burma), Kadam (India).	seca 12%	0.40	75.7	8756.3	39.64	2.5	5.9	-	272
		verde		47.4	8066.9	23.24				213
GERONGGANG - CRATOXYLON ARBORESCENS	Serungan (Sabah, Northern Sarawak, Brunei).	seca 12%	0.40	70.9	9648.2	39.57	2.6	4.7	-	-
		verde		39.6	7997.9	18.34				191
RIMU - DACRYDIUM SPP.	Huon Pine (Australia), Sempilor (Sabah), Melor (Sarawak), Ru Bukit, Ekor Kuda (Malaya).	seca 12%	0.40	76.5	9032.1	37.44	3.0	4.2	6.2	356
		verde		44.4	8411.6	21.03				283
MEDANG - LITSEA SPP.	Boi loi (Vietnam), Medang padang (Sarawak), Batikuling (Philippines), Ondôn (Burma), Bollywood (Australia).	seca 12%	0.40	75.2	11721.1	40.40	3.6	7.0	10.1	238-272
		verde		50.8	9445.8	24.13				-
DEGLUPTA - EUCALYPTUS DEGLUPTA	Bagras (Philippines), Mindanao gum (Australia), Komo, Kamarere (New Guinea).	seca 12%	0.41	72.7	10549.0	38.96	3.9	7.8	-	213
		verde		46.5	8148.6	22.03				-
GMELINA / GUMHAR - GMELINA ARBOREA	Yemane (Burma, Malaya).	seca 12%	0.41	64.6	8894.2	33.78	2.4	4.9	8.8	238-327
		verde		47.4	7722.1	22.27				-
MACHILUS - MACHILUS SPP.	Kulilisiau (Philippines), Seiknangyi (Burma), Pau hoi (China).	seca 12%	0.41	57.9	8687.4	33.37	2.8	6.0	10.2	286
		verde		50.0	7515.3	24.72				-
HOOP-PINE / KLINKI-PINE - ARAUCARIA SPP.	Pin colonnaire, Sapin de montagne (New Caledonia), Norfolk Island Pine (Norfolk Island), Bunya-bunya, Hoop Pine (Australia).	seca 12%	0.42	75.8	10755.8	40.27	3.5	5.3	8.9	295
		verde		49.0	9721.6	21.86				-
TOON / AUSTRALIAN RED-CEDAR - CEDRELA SPP.	Toon (India), Thitkado (Burma), Youhom (Thailand), Soeren (Indonesia), Epi, Kapere (Papua-New Guinea).	seca 12%	0.42	73.1	8963.2	23.99	3.8	6.3	10.8	249-469
		verde		57.2	8618.4	19.24				-
JONGKONG - DACTYLOCLADUS STENOSTACHYS	Merebong (Sarawak), Sampinur (Indonesia), Medang Tabak (Sabah).	seca 12%	0.42	91.4	9969.1	52.06	2.1	4.1	-	327
		verde		44.9	9273.4	23.92				0
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica
CHAMPACA - MICHELIA SPP.	Saga, Sagawa, Sanga (Burma), Chempaka (Malaya), Sandit, Hangilo (Philippines).	seca 12%	0.43	79.0	11376.3	41.09	3.2	5.2	8.2
		verde		52.8	9928.5	26.37			
TASMANIAN-MYRTLE - NOTHOFAGUS SPP.	Myrtle Beech, Tasmanian Beech (Australia), Mountain Beech, Silver Beech (New Zealand).	seca 12%	0.43	79.3	10204.2	37.92	3.1	5.7	9.3
		verde		48.3	7791.1	24.82			
WHITE LAUAN - PENTACME CONTORTA	Bayokan, Lauan-blanco, Tiaong (Philippines).	seca 12%	0.43	80.0	11652.1	41.37	4.0	7.7	-
		verde		52.1	9514.8	25.51			
BENGUET PINE - PINUS INSULARIS	Saleng (Philippines), Tinyu, Tinshu (Burma), Dingsa (India).	seca 12%	0.43	73.5	9928.5	41.85	4.4	7.8	-
		verde		52.7	9928.5	24.27			
KAURI - AGATHIS SPP.	Dakua makadre (Fiji), Kauri pine (New Zealand), Bindang (Sarawak), Menghilan (Sabah), Damar minyak (Malaya), Tolong (Brunei), Almaciga (Philippines).	seca 12%	0.44	81.0	11031.6	40.68	4.2	6.0	-
		verde		53.7	9170.0	23.24			
WHITE SERAYA - PARASHOREA SPP.	Bagtikan (Philippines), Urat mata (Sabah).	seca 12%	0.44	80.7	9652.7	48.26	1.6	4.2	-
		verde		61.0	9101.1	31.92			
QUEENSLAND-MAPLE - FLINDERSIA SPP.	Silkwood, Maple silkwood (Australia), New Guinea silkwood (New Guinea), Australian-maple (Great Britain).	seca 12%	0.45	85.5	11445.3	49.50	3.5	5.0	-
		verde		49.9	9170.0	25.37			
BISHOPWOOD - BISCHOFIA JAVANICA	Gintungan, Paniala (India), Aukkyu, Ye-Padauk (Burma), Nhoi (Vietnam), Term (Thailand), Tuai (Philippines), Koka (Fiji).	seca 12%	0.45	110.3	11238.5	49.16	4.4	9.8	-
		verde		48.1	8687.4	24.89			
DURIAN - DURIO SPP.	Punggai, Apa apa, Bengang (Malaya).	seca 12%	0.45	81.4	10450.6	44.90	4.3	7.2	12.3
		verde		50.6	8687.4	26.54			
MANGO / MACHANG - MANGIFERA SPP.	Thayet (Burma), Mambatjang, Mangga (Indonesia), Xoai (Indochina), Asam (Sabah), Malapaho, Pahutan (Philippines).	seca 12%	0.46	87.4	10893.7	42.92	3.0	4.9	7.3
		verde		60.1	8963.2	28.82			
PERSIAN LILAC / CHINABERRY TREE - MELIA AZEDARACH	Tamaga (Burma), Bois rouge (New Caledonia), Chinaberry tree (U.S.A.)	seca 12%	0.47	110.3	8963.2	55.85	5.0	8.5	13.5
		verde		58.6	7929.0	27.03			
YELLOW MERANTI GROUP - SHOREA SPP.	Yellow Seraya, Seraya Kuning (Sabah), Meranti Damar Hitam (Malaya), Meranti Kuning (Indonesia).	seca 12%	0.47	66.2	9997.4	50.68	3.4	8.0	10.4
		verde		54.7	9652.7	29.51			
KELEDANG - ARTOCARPUS SPP.	Ainee, Lakuch (India), Antipolo, Anubing (Philippines), Beruni, Terap (Sabah), Selangking (Sarawak), Mahat (Thailand).	seca 12%	0.48	84.8	8687.4	45.16	2.9	5.5	-
		verde		57.2	6756.9	30.34			
PALDAO / SENGKUANG - DRACONTOMELUM SPP.	New Guinea Walnut (New Guinea, Australia), Lamio, Dao (Philippines), Damoni, Dorea, Loup (New Guinea and Papua), New Guineaawood (USA).	seca 12%	0.48	81.4	11445.3	46.19	3.9	7.5	-
		verde		58.9	9307.9	29.65			
MERSAWA / PALOSAPIS - ANISOPTERA SPP.	Pengiran (Sabah), Palosapis (Philippines), Kaunghmu (Burma), Phdiek (Cambodia), Mersawa (Malaysia), Krabak (Thailand), Ven-ven (Indochina).	seca 12%	0.49	93.1	11859.0	49.78	4.0	9.0	14.6
		verde		56.1	10893.7	26.75			
BINTANGOR - CALOPHYLLUM SPP.	Poon (India), Bitanghol, Bitaog (Philippines), Tamanou (New Caledonia), Penaga (Sabah), Ka thang han, Ka thang lan, Tang hon (Thailand), Damanu (Fiji Islands).	seca 12%	0.50	91.4	11755.6	49.40	3.9	5.7	-
		verde		58.3	9170.0	28.20			
KEDONDONG - CANARIUM SPP.	Dhup, White Dhup (India), Kedondong (Malaya), Merdongdong (Indonesia), Pagsahingin (Philippines), Kaunicina-Kaunigai (Fiji Islands).	seca 12%	0.50	91.9	11252.9	50.23	5.1	6.6	-
		verde		59.4	9525.5	29.51			
BERANGAN - CASTANOPSIS SPP.	Philippine chestnut (Philippines), Indian chestnut (India), Thitè (Burma).	seca 12%	0.50	72.9	8894.2	39.68	-	-	-
		verde		61.5	9525.5	29.48			
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica
				PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)		

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica
CHAMPACA - MICHELIA SPP.	Saga, Sagawa, Sanga (Burma), Chempaka (Malaya), Sandit, Hangilo (Philippines).	seca 12%	0.43	79.0	11376.3	41.09	3.2	5.2	8.2
		verde		52.8	9928.5	26.37			
TASMANIAN-MYRTLE - NOTHOFAGUS SPP.	Myrtle Beech, Tasmanian Beech (Australia), Mountain Beech, Silver Beech (New Zealand).	seca 12%	0.43	79.3	10204.2	37.92	3.1	5.7	9.3
		verde		48.3	7791.1	24.82			
WHITE LAUAN - PENTACME CONTORTA	Bayokan, Lauan-blanco, Tiaong (Philippines).	seca 12%	0.43	80.0	11652.1	41.37	4.0	7.7	-
		verde		52.1	9514.8	25.51			
BENQUET PINE - PINUS INSULARIS	Saleng (Philippines), Tinyu, Tinsu (Burma), Dingsa (India).	seca 12%	0.43	73.5	9928.5	41.85	4.4	7.8	-
		verde		52.7	9928.5	24.27			
KAURI - AGATHIS SPP.	Dakua makadre (Fiji), Kauri pine (New Zealand), Bindang (Sarawak), Menghilan (Sabah), Damar minyak (Malaya), Tolong (Brunei), Almaciga (Philippines).	seca 12%	0.44	81.0	11031.6	40.68	4.2	6.0	-
		verde		53.7	9170.0	23.24			
WHITE SERAYA - PARASHOREA SPP.	Bagtikan (Philippines), Urat mata (Sabah).	seca 12%	0.44	80.7	9652.7	48.26	1.6	4.2	-
		verde		61.0	9101.1	31.92			
QUEENSLAND-MAPLE - FLINDERSIA SPP.	Silkwood, Maple silkwood (Australia), New Guinea silkwood (New Guinea), Australian-maple (Great Britain).	seca 12%	0.45	85.5	11445.3	49.50	3.5	5.0	-
		verde		49.9	9170.0	25.37			
BISHOPWOOD - BISCHOFIA JAVANICA	Gintungan, Paniala (India), Aukkyu, Ye-Padauk (Burma), Nhoi (Vietnam), Term (Thailand), Tuai (Philippines), Koka (Fiji).	seca 12%	0.45	110.3	11238.5	49.16	4.4	9.8	-
		verde		48.1	8687.4	24.89			
DURIAN - DURIUM SPP.	Punggai, Apa apa, Bengang (Malaya).	seca 12%	0.45	81.4	10450.6	44.90	4.3	7.2	12.3
		verde		50.6	8687.4	26.54			
MANGO / MACHANG - MANGIFERA SPP.	Thayet (Burma), Mambatjang, Mangga (Indonesia), Xoai (Indochina), Asam (Sabah), Malapaho, Pahutan (Philippines).	seca 12%	0.46	87.4	10893.7	42.92	3.0	4.9	7.3
		verde		60.1	8963.2	28.82			
PERSIAN LILAC / CHINABERRY TREE - MELIA AZEDARACH	Tamaga (Burma), Bois rouge (New Caledonia), Chinaberry tree (U.S.A.)	seca 12%	0.47	110.3	8963.2	55.85	5.0	8.5	13.5
		verde		58.6	7929.0	27.03			
YELLOW MERANTI GROUP - SHOREA SPP.	Yellow Seraya, Seraya Kuning (Sabah), Meranti Damar Hitam (Malaya), Meranti Kuning (Indonesia).	seca 12%	0.47	66.2	9997.4	50.68	3.4	8.0	10.4
		verde		54.7	9652.7	29.51			
KELEDANG - ARTOCARPUS SPP.	Ainee, Lakuch (India), Antipolo, Anubing (Philippines), Beruni, Terap (Sabah), Selangking (Sarawak), Mahat (Thailand).	seca 12%	0.48	84.8	8687.4	45.16	2.9	5.5	-
		verde		57.2	6756.9	30.34			
PALDAO / SENGKUANG - DRACONTOMELUM SPP.	New Guinea Walnut (New Guinea, Australia), Lamio, Dao (Philippines), Damoni, Dorea, Loup (New Guinea and Papua), New Guinea wood (USA).	seca 12%	0.48	81.4	11445.3	46.19	3.9	7.5	-
		verde		58.9	9307.9	29.65			
MERSAWA / PALOSAPIS - ANISOPTERA SPP.	Pengiran (Sabah), Palosapis (Philippines), Kaunghmu (Burma), Phdiek (Cambodia), Mersawa (Malaysia), Krabak (Thailand), Ven-ven (Indochina).	seca 12%	0.49	93.1	11859.0	49.78	4.0	9.0	14.6
		verde		56.1	10893.7	26.75			
BINTANGOR - CALOPHYLLUM SPP.	Poon (India), Bitanghol, Bitaog (Philippines), Tamanou (New Caledonia), Penaga (Sabah), Ka thang han, Ka thang lan, Tang hon (Thailand), Damanu (Fiji Islands).	seca 12%	0.50	91.4	11755.6	49.40	3.9	5.7	-
		verde		58.3	9170.0	28.20			
KEDONDONG - CANARIUM SPP.	Dhup, White Dhup (India), Kedondong (Malaya), Merdongdong (Indonesia), Pagsahingin (Philippines), Kaunicina-Kaunigai (Fiji Islands).	seca 12%	0.50	91.9	11252.9	50.23	5.1	6.6	-
		verde		59.4	9525.5	29.51			
BERANGAN - CASTANOPSIS SPP.	Philippine chestnut (Philippines), Indian chestnut (India), Thitè (Burma).	seca 12%	0.50	72.9	8894.2	39.68	-	-	-
		verde		61.5	9525.5	29.48			
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica
				PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)		

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
PUTAT PAYA - PLANCHONIA SPP.	Lamog (Philippines).	seca 12%	0.59	104.1	13100.0	53.09	4.5	8.0	-	594-635
		verde		64.1	11238.5	34.27				476-590
BLACK WATTLE - ACACIA MOLLISSIMA	-	seca 12%	0.60	120.7	14341.1	60.67	-	-	-	794
		verde		79.6	11169.5	35.65				581
EAST INDIAN EBONY - DIOSPYROS SPP.	Kayu Malam (Sabah), Kaya Arang (Malaya), Trayung (Cambodia), Marblewood (Andaman Islands), Kamagong (Philippines).	seca 12%	0.60	127.6	14065.3	61.36	5.4	8.8	-	739
		verde		69.9	10273.2	32.06				-
RENGAS - GLUTA SPP.	Thitsi, Thayet-thitsi (Burma), Rak (Thailand), Lingas (Philippines), Gluta, Thitsi (India).	seca 12%	0.60	111.1	9514.8	59.47	2.9	5.3	-	635-925
		verde		81.5	9514.8	36.71				-
KERUING / APITONG - DIPTEROCARPUS SPP.	Eng, In (Burma), Yang, Heng (Thailand), Lagan, Keroeing (Indonesia), Dau (Vietnam, Cambodia), Gurjun (India).	seca 12%	0.61	115.1	14341.1	59.29	2.5-5.5	7.5-11.5	-	689
		verde		82.0	11790.0	39.23				-
RESAK - COTYLELOBIUM SPP.	Láu táu (Cambodia), Chan thip (Thailand), Narig (Philippines), Mascal wood (India), Taungsagaing (Burma).	seca 12%	0.62	117.2	17512.7	62.05	4.0	9.3	-	703
		verde		75.2	13100.0	38.33				508
KAPUR - DRYOBALANOPS SPP.	Keladan, Kapur (Malaya), Kapoer (Indonesia), Borneo camphorwood (Great Britain).	seca 12%	0.62	116.5	13306.9	66.40	4.6	10.2	-	558
		verde		80.7	10893.7	41.23				-
THINGAN / MERAWAN - HOPEA SPP.	Gagil (Sabah), Luis, Selangan (Sarawak), Manggachapui (Philippines), Koki (Cambodia), Mai Takien (Thailand).	seca 12%	0.64	116.2	12893.2	60.40	3.4	6.5	9.3	476-662
		verde		90.3	11514.2	41.02				-
KELAT - EUGENIA SPP.	Obar (Sabah), Makaasim (Philippines), Obah (Sarawak), Jaman (India), Thabye (Burma), Dangkhao, Mao (Thailand), Yasiyasi (Fiji Islands).	seca 12%	0.65	97.2	12548.5	52.95	4.5	7.8	14.8	415-671
		verde		66.9	10755.8	34.47				-
BLUEGUM - EUCALYPTUS GLOBULUS	-	seca 12%	0.67	114.5	16340.6	68.53	8.0	12.0	-	699-1170
		verde		84.1	13858.5	42.61				-
MOLAVE - VITEX SPP.	Leban (Malaya), Kulim Papa (Sabah), Teen-nok (Thailand), Milla (India), Bitum (New Guinea), Gupasa (Indonesia).	seca 12%	0.67	119.3	13789.5	64.81	4.5	6.5	-	569
		verde		86.2	11790.0	46.88				524
JARRAH - EUCALYPTUS MARGINATA	-	seca 12%	0.68	111.7	12962.1	61.16	4.6	6.6	-	869
		verde		67.6	10204.2	35.78				583
MERBAU / IPIL - INTSIA BIJUGA	Tat-talun (Burma), Lumpha, Lumpho (Thailand), Kwila (New Guinea), Vesi (Fiji Islands), Ipil (Philippines), Merbau (Malaya).	seca 12%	0.68	137.9	15995.8	65.50	2.7	4.6	7.8	680-873
		verde		88.6	13927.4	46.68				-
INDIAN ROSEWOOD - DALBERGIA LATIFOLIA	Shisham (India).	seca 12%	0.70	116.7	12272.7	63.57	2.7	5.8	8.5	1438
		verde		63.4	8204.8	31.23				708
KARRI - EUCALYPTUS DIVERSICOLOR	-	seca 12%	0.70	132.4	19029.5	71.71	7.2	10.7	-	921
		verde		73.1	14272.1	36.20				617
ROSE-MAPLE - CRYPTOARYA SPP.	Rose-Maple, White Laurel (Australia), Tawenna (Ceylon), Dugkatan, Lamot (Philippines), Moustiquaire (New Caledonia), Medang (Malaya).	seca 12%	0.70	133.1	17167.9	66.74	4.2	7.6	12.2	687-950
		verde		135.1	12585.2	41.99				-
OHIA - METROSIDEROS COLLINA	Vuga (Fiji Islands), Anume (Samoa).	seca 12%	0.70	126.2	16340.6	61.36	6.9	12.1	19.1	948
		verde		69.6	12410.6	32.54				576
BALAU GROUP - SHOREA SPP.	Red Selangan Batu (Sabah), Guijo (Philippines), Balau Merah, Membatu (Malaya), Balau Merah (Indonesia).	seca 12%	0.70	126.9	17650.6	68.95	6.2	11.4	-	671-744
		verde		105.8	14065.3	53.16				558-644
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
				PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)			

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
TURPENTINE - SYNCARPIA GLOMULIFERA	Luster (Australía).	seca 12%	0.70	135.8	15582.2	78.60	5.7	10.4	16.7	1179-1315
		verde		79.3	11927.9	43.02				621-678
RANGGU - KOORDERSIODENDRON PINNATUM	Amugis (Philippines).	seca 12%	0.72	154.6	15513.2	77.29	3.5	6.5	-	844
		verde		107.4	13100.0	56.05				773
BURMA PADAUK - PTEROCARPUS MACROCARPUS	Mai Pradoo, Pradoo (Thailand).	seca 12%	0.75	142.3	14341.1	75.46	3.4	5.8	8.4	984
		verde		110.1	13100.0	56.54				925
CHENGAL / PENAK - BALANOCARPUS SPP.	Takien-chan (Thailand), Kong, Karakong (India), Mindanao Narek, Narek (Philippines).	seca 12%	0.76	146.6	15425.3	77.95	-	-	-	966
		verde		121.9	18133.2	68.95				946
KERANJI - DIALIUM SPP.	Khleng (Thailand), Xoay, Kralanh (Cambodia), Kerandji (Indonesia).	seca 12%	0.80	187.5	16067.2	74.46	3.7	6.6	-	-
		verde		128.9	21098.0	68.74				1154-1699
EAST INDIAN SATINWOOD - CHLOROXYLON SWIETENIA	Satinwood, Billu, Mashwal, Mududad (India), Ceylon Satinwood (Ceylon).	seca 12%	0.80	155.0	16067.2	82.21	5.5	7.1	-	1179
		verde		87.0	11376.3	44.95				835
TEMBUSU / ANAN - FAGRAEA SPP.	Buabua (Fiji Islands), Urung (Philippines), Temasuk (Sabah), Tatrao, Trai (Cambodia), Tam Sao (Thailand), Tembesu (Indonesia), Anan, Ananma (Burma).	seca 12%	0.80	147.5	20822.2	83.43	1.1	1.6	-	962
		verde		108.9	18340.1	50.61				803
GANGAW - MESUA FERREA	Mesua (India), Penaga (Malaya), Bosnéak (Cambodia).	seca 12%	0.80	159.3	19753.5	85.70	6.0	9.5	15.8	1311
		verde		114.3	15995.8	60.92				993
PYINKADO - XYLIA XYLOCARPA	Pyin (Burma), Cain xe, Sokram (Cambodia).	seca 12%	0.80	146.2	16067.2	84.81	3.3	6.7	11.1	1007-1032
		verde		107.2	15616.6	55.26				871-885
CASUARINA - CASUARINA SPP.	She-Oak (Australia), Aru (Sabah), Ru (Malaya), Surra, Serva (India), Agoho (Philippines), Velau (Fiji Islands), Tjemara (Indonesia), Bois de fer de riviére (New Caledonia).	seca 12%	0.83	172.4	22821.6	75.84	6.4	11.7	17.6	1451
		verde		98.6	13031.1	45.51				898
BRUSH BOX - TRISTANIA SPP.	Pelawan Pelawan (Sabah), Keruntum, Pelawan (Malaya), Selunsur, Melaban (Sarawak), Malabayabas (Philippines).	seca 12%	0.90	180.6	18477.9	80.67	5.0	9.5	-	928-1873
		verde		117.2	14479.0	47.92				798-1188
BELIAN / BORNEO IRONWOOD - EUSIDEROXYLON ZWAGERI	Tambulian (Philippines), Onglen, Ulin (Indonesia).	seca 12%	0.92	180.2	17992.9	95.00	4.3	7.5	-	1370
		verde		134.4	17719.5	79.77				1290
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.

10.9 APÊNDICE B3: Tabelas de Espécies de Madeiras Tropicais Verde e Seca da América Por Ordem de Densidade Básica

AMÉRICA TROPICAL										
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	PROPIEDADES MECÂNICAS					CONTRAÇÃO (%)			Dureza Janka (Kgf)
		UMIDADE	Db	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	
DURU - APEIBA SPP.	Peine de mico (Mexico), Burillo (Nicaragua), Corcho (Colombia), Cortezo (Panama), Alastioelan, Borredaballi (Suriname), Maqui-sapa (Peru), Cortica, Gargauba	seca 12%	0.20	27.6	4619.5	21.0	2.1	6.3	7.8	113
		verde		10.9	4859.4	4.2				-
TRUMPET-WOOD - CECROPIA PELTATA	Yagrumo (Cuba, Venezuela), Guarumo (Mexico, Colombia), Boessi papaja (Surinam), Imbaúba (Brazil), Cetico, Tacuna (Peru), Ambahú (Argentina).	seca 12%	0.29	44.7	7515.3	24.1	2.0	6.2	8.3	145
		verde		27.9	5929.5	12.9				100
GUMBO-LIMBO/ALMÁCIGO - BURSERIA SIMARUBA	Turpentine tree (Jamaica), Gommier blanc (Haiti), Chaca, Palo china (Mexico), Carate (Panama, Colombia), Caraña, Indio desnudo	seca 12%	0.30	38.3	7446.3	21.2	2.6	42.0	7.3	122
		verde		22.8	3861.1	10.4				104
COPAIA - JACARANDA COPAIA	Gualandai (Panama), Chingale (Colombia), Abey, Cupay (Venezuela), Goebaja (Suriname), Copaia, Faux simarouba (Guiana Francesa), Carnauba da matta, Pará-	seca 12%	0.31	56.2	8900.0	31.3	4.5	6.5	-	159
		verde		34.6	7100.0	15.7				127
SAJO/OREY - CAMPNOSPERMA PANAMENSIS	-	seca 12%	0.33	60.0	10204.2	35.9	-	-	-	193
		verde		35.0	7377.4	18.3				152
CUANGARE/"VIROLA" - DIALYANTHERA SPP.	Fruta dorado (Costa Rica), Miguelario (Panama), Otoba (Venezuela), Cuangare (Colombia), Coco (Ecuador).	seca 12%	0.33	50.3	10480.0	32.8	4.2	9.4	12.0	-
		verde		27.7	6963.7	14.3				107
GUANACASTE - ENTEROLOBIUM CYCLOCARPUM	Conocaste, Orejó, Perota (Mexico), Genicero, Jarina (Costa Rica), Corotú (Panama), Orejero, Caro (Colombia), Carocaro (Venezuela).	seca 12%	0.34	58.6	7239.5	33.8	2.0	5.2	7.2	236
		verde		34.7	7300.0	16.2				-
HURA/POSSUMWOOD - HURA CREPITANS	Arbol del diablo, Haba (Mexico), Jabillo (Central America), Ceiba amarilla, Ceiba de leche (Colombia), Ceiba blanca, Ceiba habillo	seca 12%	0.35	60.1	8066.9	33.1	2.7	4.5	7.3	249
		verde		35.2	7170.5	15.7				200
ALERCE - FITZROYA CUPRESSOIDES	Lahuán (Chile).	seca 12%	0.38	60.0	7997.9	35.5	3.8	5.8	9.1	254
		verde		41.4	6481.1	18.5				195
SPANISH-CEDAR/CEDRO - CEDRELA SPP.	Cedro (América do Sul e Central), Acajou rouge (French West Indies), Cédre rouge (Guiana Francesa), Ceder (Suriname).	seca 12%	0.40	79.5	9928.5	42.8	4.2	6.3	10.3	272
		verde		51.8	8273.7	23.2				249
MEXICAN CYPRESS - CUPRESSUS LUSITANICA	Ciprés (América Latina).	seca 12%	0.40	70.8	9583.7	40.1	-	-	8.0	209
		verde		42.5	7239.5	19.9				154
PRIMAVERA - CYBISTAX DONNELL-SMITHII	Duranga (Mexico), San Juan (Honduras), Palo blanco (Guatemala), Cortez, Cortez blanco (El Salvador).	seca 12%	0.40	65.7	7170.5	38.6	3.1	5.1	9.1	308
		verde		49.5	6825.8	24.2				308
JOBO/HOG PLUM - SPONDIAS MOMBIN	Ba1a (Costa Rica), Jobito (Panama), Jobo blanco (Colombia), Jobo corronchoso (Venezuela), Hoeboe (Surinam), Acaiba, Cajá, Pau da tapera (Brasil), Ubo (Peru), Amansamujer, Copachú (Colombia), Camibar (Costa Rica), Muramo, Curucaí (Venezuela).	seca 12%	0.40	61.4	8135.8	29.6	2.4	5.3	8.9	286
		verde		40.8	6481.1	17.0				200
ESPAVE - ANACARDIUM EXCELSUM	Espavel (Nicaragua), Caracoli (Venezuela, Colombia), Cajú assú, Cajú da matta (Brasil), Marañón (Ecuador).	seca 12%	0.41	54.9	8825.3	31.2	2.8	5.2	8.4	213
		verde		36.7	7308.4	17.0				181
CEDRO-RANA/TORNILLO - CEDRELINGA CATENAEFORMIS	Tornillo (Peru), Iacaica, Paricá, Yacayacá (Brasil).	seca 12%	0.45	81.4	10450.6	44.9	-	-	11.8	-
		verde		52.4	9494.1	24.9				-
POCHOTE - BOMBACOPSIS QUINATA	Cedro espino (Honduras, Nicaragua), Saquisaqui (Venezuela), Ceiba tolua (Colombia).	seca 12%	0.45	83.5	9652.7	44.7	3.4	6.2	10.0	327
		verde		52.1	8687.4	23.7				295
PARANA-PINE - ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA	Pinheiro do Paraná, Pinho brasileiro (Brasil), Pinheiro do Brasil, Pino blanco (Paraguai), Curiy, Pino Paraná (Argentina).	seca 12%	0.45	98.0	10411.1	55.0	3.8	7.3	11.6	354
		verde		52.0	8687.4	26.3				254
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
COPAIBA - COPAIFERA SPP.	Copaiba (generally in Latin America), Camiba, Cabino blanco (Panama), Cabimo, Palo de aceite (Venezuela), Canime, Copaiba (Colombia), Copaibarana, Copahyba	seca 12%	0.46	88.9	10611.0	44.8	4.4	9.2	14.6	789
		verde		59.2	9307.9	26.9				630
FREIJO/LAUREL BLANCO/PETEREBI - CORDIA SPP.	C. goeldiana: Freijo, Yrei Jorge (Brazil); C. alliodora: Laurel blanco, Pardillo (Venezuela), Bojón (Mexico), Canalete (Colombia), ouro (Brasil); C. trichotoma:	seca 12%	0.47	84.0	10411.1	43.6	3.4	7.1	9.2	454
		verde		62.4	8825.3	27.9				413
ESTRIBEIRO/GUACIMO - LUEHEA SPP.	Tapasquit (Guatemala), Mapola (Belize), Guacimo (Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panama), Algodón de monte (Colombia), Guacimo blanco (Venezuela), Açoita	seca 12%	0.47	88.9	13306.9	42.6	3.4	7.8	11.0	408
		verde		58.6	8342.7	29.0				-
ULMO - EUCRYPHIA CORDIFOLIA	Gnulgu, muermo, Roble de Chile, Ulmo (Chile).	seca 12%	0.48	75.8	9790.6	44.8	4.5	8.2	13.2	-
		verde		48.3	7791.1	26.0				-
MOROTOTO - DIDYMOPANAX MOROTOTONI	Yagrumo macho (Puerto Rico, Dominican Republic, Cuba, Venezuela), Chancaro blanco (Mexico), Yarumero (Colombia), Morototo, Kasavehout (Suriname),	seca 12%	0.50	90.3	12479.5	47.6	5.9	9.2	14.8	302-415
		verde		61.5	9525.5	29.5				-
DETERMA/RED LOURO - OCOTEA RUBRA	Determa (Guiana), Wana, Wane (Suriname), Grignon rouge (Guiana Francesa), Louro vermelho (Brasil).	seca 12%	0.50	93.4	10500.0	48.1	3.7	7.6	10.4	272
		verde		71.0	10066.3	35.5				236
COW-TREE, SANDE - BROSIMUM SPP. (UTILE GROUP)	Mastate (Costa Rica), Avichuri (Colombia), Palo de vaca (Venezuela), Amapá doce, Caucho macho (Brasil).	seca 12%	0.50	98.7	16478.5	56.7	3.9	7.8	-	410
		verde		58.5	13375.8	31.0				274
ALBARCO, JEQUITIBA - CARINIANA PYRIFORMIS	Abarco (Colombia), Bacú (Venezuela), Cerú, Jequitibá rosa, Jequitibá amarella, Tauary (Brasil).	seca 12%	0.50	95.1	9721.6	49.0	2.8	5.4	9.0	463
		verde		70.3	10549.0	31.9				-
SANTA MARIA/JACAREUBA - CALOPHYLLUM BRASILIENSE	Barí, Leche de María (Mexico), Calaba (Panama), Aceite maria (Colombia), Edaballi, Kurahara (Guayana), Balsamaría (Bolivia), Guanandi, Jacareuba (Brasil).	seca 12%	0.51	100.9	11790.0	47.6	4.6	8.0	13.6	522
		verde		72.3	10135.3	31.4				404
LINGUE/CANELA-ROSA - PERSEA SPP.	Pêche marron (Haiti), Aquacote cimarrón (Mexico), Aquacatillo (Honduras, Costa Rica), Aquacate chico (Panama), Aquacate de anís (Colombia), Palto-jeia (Peru),	seca 12%	0.50	90.0	12341.6	48.4	4.8	9.5	13.5	390
		verde		67.2	9376.9	31.7				304
GOMMIER/CANDLE TREE - DACRYODES EXCELSA	Tabonuco (Porto Rico), Gommier blanc (Guadalupe), Gommier montagne (Martinique).	seca 12%	0.52	89.8	10549.0	49.3	4.1	6.4	10.5	408
		verde		64.3	8273.7	31.2				313
RAULI (N. PROCERA)/COIGUE (N. DOMBEYI) - NOTHOFAGUS SPP.	Anis, Coihue, Coyan, Hualo, Rauli, Roble Ruilí (Chile), Coihué, Lengue, Niré, Roble (Argentina).	seca 12%	0.53	120.0	12617.4	60.7	3.5	7.0	-	408
		verde		73.8	9514.8	27.6				381
IMBUIA/BRAZILIAN-WALNUT - PHOEBE POROSA	Canella imbuia, Embuia, Embuya (Brasil).	seca 12%	0.53	89.5	11850.0	45.1	2.7	6.0	9.0	431
		verde		76.5	7722.1	31.9				399
SANGRE - PTEROCARPUS SPP.	Sangre de drago, Palo de pollo (Porto Rico), Sangrillo (Costa Rica), Huevos de gato (Panama), Yaya sangre (Colombia), Lagunero (Venezuela), Bébé (Suriname), Angú,	seca 12%	0.54	110.5	13789.5	51.0	3.9	6.8	10.8	125-680
		verde		66.1	10893.7	28.5				-
CANGERANA - CABRALEA CANGERANA	Cajarana, Pau de santo (Brasil), Cancharana Canxarana (Argentina), Congerana (Uruguai), Cedro-rá (Paraguai).	seca 12%	0.55	102.4	12055.3	55.6	3.4	6.6	10.4	-
		verde		69.6	9376.9	39.3				-
OCOTE PINE - PINUS OOCARPA	Pino, Ocote (Mexico, Guatemala, Honduras, Nicaragua).	seca 12%	0.55	102.5	15513.2	53.0	4.6	7.5	12.3	413
		verde		55.0	11996.9	25.4				263
CRABWOOD/ANDIROBA - CARAPA GUIANENSIS	Cedro macho (Costa Rica), Bateo (Panama), Mazabalo (Colombia), Carapa (Venezuela), Krapa (Surinam), Figueroa, Tangaré (Equador), Andiroba (Peru),	seca 12%	0.56	106.9	12755.3	58.9	3.1	7.6	10.4	553
		verde		76.6	10755.8	34.0				481
BAROMALLI - CATOSTEMMA SPP.	Arenillo (Colombia), Baramanni, Baramalli (Guayana), Flambeau rouge (French Guiana), Baraman (Venezuela), Kajowaballi (Suriname).	seca 12%	0.56	106.5	12548.5	57.5	5.2	11.1	17.5	327
		verde		73.6	11100.6	29.5				236
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka
OITICICA AMARELA/AJI - CLARISIA RACEMOSA	Caraco, Aji, Arracacho (Colombia), Matapalo (Ecuador), Chichillica (Peru), Guariuba, Oity (Brasil).	seca 12%	0.56	115.1	12400.0	62.5	2.9	6.1	9.0	635
		verde		71.7	11200.0	36.9				-
MAHOT/TAUARY - COURATARI SPP.	Congolo-Garapelo (Panama), Tabarí, Tauarí (Venezuela), Coco Cabuyo (Colombia), Ingiepipa (Surinam), Tauary (Brasil).	seca 12%	0.56	93.2	12410.6	51.4	4.1	7.3	11.3	399
		verde		63.7	11927.9	29.4				336
GUACHAPELE/FRIJOLILLO - PSEUDOSAMANEA GUACHAPELE	Cadeno (Guatemala), Frijolillo (Honduras), Tabaca, Guamarillo (Colombia), Samanigua (Venezuela), Guachapele (Ecuador).	seca 12%	0.56	74.1	7929.0	45.3	2.9	4.5	7.6	472
		verde		56.5	8273.7	27.1				467
JAGUA/GENIPA - GENIPA AMERICANA	Jagua azul (Mexico), Irayol (Guatemala), Brir (Costa Rica), Angelina (Colombia), Caruto (Venezuela), Arasaloe, Tapoeripa (Suriname), Palo Colorado, Huitoc (Peru),	seca 12%	0.57	119.3	11790.0	51.4	4.6	9.1	13.5	640
		verde		75.8	6343.2	29.3				-
CRAMANTEE/AMERICAN MUSKWOOD - GUAREA SPP	C. trichilioides: Guaraguao (Puerto Rico), Trompillo (Colombia, Venezuela, Bolivia), Fruta de loro (Ecuador), Cedrillo (Argentina), Gitó, Cedrohy (Brazil). G. excelsa:	seca 12%	0.57	123.4	11031.6	53.4	3.4	7.0	11.2	363-603
		verde		65.8	9239.0	31.7				422
BRAZIL-NUT TREE - BERTHOLLETIA EXCELSA	Castaña del Maraón (Colombia), Juvia, Yubia (Venezuela), Brazilnoot (Surinam), Castanha verdadeira, Castanheiro (Brasil).	seca 12%	0.59	101.2	12134.8	47.5	3.9	8.3	11.2	522
		verde		67.2	11100.6	31.2				426
MAGNOLIA/VACO - MAGNOLIA SPP.	Laurel sabino (Porto Rico), Corpus, Elosúchil, Semiramis (Mexico), Candelillo (Costa Rica), Vaco (Panama)	seca 12%	0.59	98.3	13582.7	54.1	3.6	7.0	11.2	494
		verde		59.0	11652.1	24.8				390
WHITE PEROBA/PEROBA DE CAMPOS - PARATECOMA PEROBA	Ipe peroba, Peroba, Peroba branca, Peroba manchada (Brasil).	seca 12%	0.60	111.7	11376.3	63.8	3.8	6.6	10.5	726
		verde		97.2	10273.2	44.8				-
SERRETTE - BYRSONIMA CORIACEA VAR. SPICATA	Golden spoon (British West Indies), Maricao (Puerto Rico), Changugo (Mexico), Chaparro (Colombia), Candelo (Venezuela), Kanoaballi (Guyana), Chupi-cara	seca 12%	0.61	124.1	13444.8	67.2	4.0	8.2	12.2	694
		verde		84.1	10824.8	40.0				517
CANELO/LAUREL - NECTANDRA SPP.	Aguacatillo (Mexico, Honduras, Costa Rica), Laurel (Colombia, Venezuela), Silverballi (Guiana), Pisi (Suriname), Canela (Brasil), Ayui-y, Laurel (Argentina).	seca 12%	0.61	98.1	11376.3	50.1	3.4	6.0	9.8	481
		verde		75.2	10617.9	36.7				422
KUROKAI/COPAL - PROTIUM SPP.	Latilla, Pom (Mexico), Alcanfor, Fontole (.Honduras), Caraño, Chutra (Panama), Anime, Caraño (Colombia), Bálsamo, Tacamahaco (Venezuela), Kurokai (Guyana),	seca 12%	0.61	116.2	12169.2	63.4	4.2	6.8	10.7	327-581
		verde		75.8	10411.1	36.4				-
YELLOW SANDERS - BUCHENAVIA CAPITATA	Granadillo (Puerto Rico), Almendro (Colombia), Amarillo, Olivo negro (Venezuela), Mirindiba, Periquiteira (Brasil).	seca 12%	0.63	109.8	12700.0	60.5	2.8	5.7	8.6	553
		verde		82.7	11500.0	40.8				-
CANALETE - CORDIA SPP.	Anacahuite, Baría (Cuba), Siricote, Bocote, Cupané, Amapa asta (Mexico), Canalete (Colombia, Venezuela), Louro pardo (Brasil), Loro negro (Argentina).	seca 12%	0.63	108.2	10893.7	64.1	4.0	7.4	11.6	998
		verde		94.5	12134.8	44.8				-
SABICÚ/T'ZALAM - LYSILOMA SPP.	Abey, Frijolillo, Jigüe, Sabcicú (Cuba), Tabernau, Tavernon (Haiti), T'zalam (Mexico).	seca 12%	0.63	111.0	10805.0	54.0	2.7	7.2	9.5	635
		verde		65.5	8480.6	40.2				599
PARA-ANGELIM - HYMENOLOBIUM EXCELSUM	Erejoeroe, Lialíadan koleroe, Saandoe (Suriname), Angelim do Pará, Carámate, Sapupira amarella (Brasil).	seca 12%	0.63	121.4	14134.3	62.0	4.4	7.1	10.2	780
		verde		100.7	13444.8	51.4				780
KIRIKAWA/MARAKAIPO - IRYANTHERA SPP.	Bémoonba, Pajoelidan, Mouchigo rouge, Soewana (Guianas), Sangrito (Venezuela), Cuangare, Virola de Tumaco (Colombia), Uchúba-rana (Brasil).	seca 12%	0.63	108.5	12700.0	60.9	5.3	9.4	15.6	386-458
		verde		73.9	10900.0	36.0				263-322
ARARIBA/PORCUPINE WOOD/CANARY WOOD - CENTROLOBIUM SPP.	Amarillo guayaquil (Panama, Ecuador), Guayacan hobo, Balaústre (Colombia, Venezuela), Araraúba, Araraúva (Brasil), Morosimo (Paraguai).	seca 12%	0.64	118.6	14685.8	65.8	2.4	5.6	8.4	467
		verde		97.9	10342.1	40.7				-
ANGELIN/PARTRIDGE WOOD - ANDIRA INERMIS	Moca (Puerto Rico, Cuba), Cuiimbucó, Maquilla (Mexico), Barbosquillo, Arenillo (Panama), Rode kabbes (Suriname), Acapúrana (Brasil).	seca 12%	0.64	121.9	16837.0	62.9	4.6	9.8	12.5	726
		verde		84.7	11667.3	41.1				-
LOURO - ANIBA SPP.	Comino real (Colombia), Silverballi (Guayana), Moena amarilla (Peru), Coto (Bolivia), Louro rosa, Pau rosa (Brasil).	seca 12%	0.65	131.2	17719.5	69.0	4.7	7.0	12.1	667
		verde		91.4	14961.6	45.2				526
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka
		PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)					

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka
BRAZILIAN ROSEWOOD/JACARANDÁ - DALBERGIA NIGRA	Palissandre du Brésil (francês), Jacaranda de Brasil (espanhol), Cabiuna, Caviuna, Jacarandá (Brasil).	seca 12%	0.65	130.8	12962.1	66.2	2.9	4.6	8.5	1234
		verde		97.5	12686.4	38.0				1107
PEROBA ROSA - ASPIDOSPERMA POLYNEURON	Amarello, Amargoso (Brasil), Ibirá-romi, Palo rosa (Argentina).	seca 12%	0.65	88.0	9900.9	56.9	3.8	6.4	11.6	786
		verde		88.0	9225.2	41.5				717
BASRALOCUS/ANGÉLIQUE - DICORYNIA GUIANENSIS	Basralokus, Barakaroeballi (Suriname), Angélique bâtard, Angélique gris (Guiana Francesa).	seca 12%	0.65	119.9	15099.5	60.5	4.6	8.2	14.0	585
		verde		78.7	12686.4	38.5				499
SURADAN/PILÓN - HYERONIMA ALCHORNEOIDES	Curtidor (Honduras), Nancito (Nicaragua), Pantano (Panama), Carne asada, Trompillo (Venezuela), Cargamanto Casaco (Colombia), Suradanni (Suriname),	seca 12%	0.65	125.5	15651.1	66.3	5.4	11.7	17.0	771
		verde		79.3	12962.1	34.2				553
CARIBBEAN PINE - PINUS CARIBAEA	Pino, Ocote (Mexico, Guatemala, Honduras, Nicaragua).	seca 12%	0.65	115.1	13444.8	58.9	6.3	7.8	12.9	562
		verde		77.2	11100.6	33.8				445
TAURONIRO/UMIRI - HUMIRIA BALSAMIFERA	Bastard bulletwood, Tabaniro (Guyana), Basra bolletrie, Tawanangro (Suriname), Bois rouge, Houmiri (Guiana Francesa), Oloroso (Colombia), Couramira, Turanira	seca 12%	0.66	129.4	17305.8	61.7	7.2	9.7	15.7	744
		verde		80.8	14203.2	40.1				599
DEGAME/LEMONWOOD - CALYCOPHYLLUM CANDIDISSIMUM	Camarón, Palo camarón (Mexico), Surrá (Costa Rica), Alazano (Panama), Guayabo (Colombia), Araguato, Betún (Venezuela).	seca 12%	0.67	153.8	15651.1	66.7	4.8	8.6	13.2	880
		verde		98.5	13306.9	42.7				739
CAPOMO/OJOICHE - BROSIMUM SPP. (ALICISTRUM GROUP)	Masicarón (Guatemala, Honduras), Ojuste (El Salvador), Guaimaro, Manata (Colombia), Tillo (Ecuador), Muiratinga (Brasil).	seca 12%	0.67	121.4	14823.7	61.2	5.1	9.4	15.4	771
		verde		110.7	12755.3	43.8				608
PIQUIÁ, CAGÜÍ - CARYOCAR SPP.	C. villosum: Ajillo (Costa Rica), Pekia (Guayana), Sawarie (Surinam), Almendro (Peru), Piquiá (Brasil); C. costarricense: Aji (Costa Rica), Cagüí, almendrillo,	seca 12%	0.67	117.6	14892.7	58.0	5.0	8.0	13.0	780
		verde		85.8	12548.5	43.4				780
GRUMIXAVA/RIEMHOUT - MICROPHOLIS SPP.	Caimitillo (Puerto Rico), Chupón colorado, Hácano (Venezuela), Moraballi (Guiana), Riemhout, Koesiri balatarie (Suriname), Faux balata (Guiana Francesa),	seca 12%	0.67	132.9	15200.0	76.1	5.8	8.5	14.3	676
		verde		87.7	12300.0	36.6				513
BARACARA/KOKRIKI - ORMOSIA SPP.	Palo de matos (Puerto Rico), Amargo blanco (Panama), Chocho (Colombia), Peonio (Venezuela), Mekoe (Surinam), Tento, Jatobáhy do igapó (Brasil).	seca 12%	0.67	125.2	14900.0	72.0	3.6	7.4	12.0	712
		verde		86.2	13200.0	45.8				454
MANBARKLAK/KAKERALLI - ESCHWEILERA SPP.	Oxito, Olleto (Panama), Coco de mono, Montanero (Venezuela), Coco cristal, Tete congo (Colombia), Haudan, Kakeralli (Guiana), Oemanbarklak, Manbarklak	seca 12%	0.68	127.1	14100.0	59.8	5.8	10.3	15.9	1125
		verde		88.5	12500.0	38.4				581
CHUPÓN - PRADOSIA SPP.	Chupón, Chupón torito, Toco (Venezuela), Abihy, Burahem, Paracuhuba doce (Brasil).	seca 12%	0.68	81.2	15995.8	52.8	4.4	10.5	14.8	853
		verde		78.7	11996.9	30.1				653
BAGASSE - BAGASSA GUIANENSIS	Cow-wood (Guiana), Gele bagasse (Surinam), Bagasse jaune (French Guiana), Tatajuba, Amapá-rana (Brasil).	seca 12%	0.68	138.2	17788.5	79.7	5.2	6.6	10.2	785
		verde		100.0	15857.9	54.5				757
PAU AMARELLO - EUXYLOPHORA PARAENSIS	Amarello, Limão-rana, Pau setim, Pequia setim (Brasil).	seca 12%	0.69	129.4	14000.0	70.8	6.0	6.7	12.8	826
		verde		99.8	12400.0	47.2				730
FUSTIC/MORA AMARILLA - CHLOROPHORA TINCTORIA	Bois d'orange (Trinidad), Barossa, Moral (Mexico), Palo de mora (Costa Rica), Dinde, Palo amarillo (Colombia), Mora (Venezuela), Insira (Peru), Amarillo	seca 12%	0.71	134.9	14892.7	76.4	3.4	5.4	7.8	1080
		verde		102.3	13237.9	47.3				993
KOPIE/KABUKALLI - GOUPIA GLABRA	Saino, Sapino (Colombia), Kopi (Surinam), Kabukalli (Guiana), Goupie (Guiana Francesa), Cupiúba (Brasil).	seca 12%	0.71	133.9	14900.0	68.9	4.5	8.0	12.6	835
		verde		91.6	11700.0	48.3				635
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka
		PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				(Kgf)	

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
COURBARIL - HYMENAEA COURBARIL	Cuapinol, Guapinol (Mexico), Guapinol (America central), Locust, Kawanari (Guyana), Rode lokus (Suriname), Algarrobo (America espanhola), Jatahy, Jatobá	seca 12%	0,71	133,8	14892,7	65,6	4,5	8,5	12,7	1066-1492
		verde		89,2	12686,4	40,0				-
GONCALO ALVES - ASTRONIUM GRAVEOLENS	Palo de cera, Palo de culebra (Mexico), Gusanero (Colombia), Gateado (Venezuela), Guaritá (Brasil), Guasango (Equador).	seca 12%	0,75	114,6	15375,3	71,2	4,0	7,6	10,0	980
		verde		118,4	13375,8	45,4				866
CARNE D'ANTA - MAYTENUS SPP.	Aguabola, Limncillo (Mexico), Arizá, Camarón (Colombia), Cucharo (Venezuela), Carne d'anta, Apiranga, Chuchasca, Pau de colher (Brasil), Maitén, Naranjillo	seca 12%	0,72	125,5	16616,4	76,5	4,6	8,9	-	1016
		verde		98,0	12891,2	47,7				-
BURADA/FOENGOE - PARINARI SPP.	Perefuetano (Colombia), Tostado (Venezuela), Aiomoran, Burada (Guiana), Foengoe, Vonkhout (Suriname), Parinari, Pajurá (Brasil), Uchpa-umari (Peru).	seca 12%	0,72	138,7	17099,0	70,7	5,9	10,0	14,6	830
		verde		101,8	14616,9	46,7				576
PAU MARFIM - BALFOURODENDRON RIEDELIANUM	Marfim, Pau liso (Brasil), Guatambú Guatambú blanco (Argentina).	seca 12%	0,73	140,3	14943,9	74,7	4,6	8,8	13,4	-
		verde		104,6	11479,8	43,6				-
KANEELHART/BROWN SILVERBALLI - LICARIA SPP.	Brown silverballi, Kharemero shiruaballi (Guiana), Kaneelhart, Raneel-pisie (Suriname), Bois canelle (Guiana Francesa).	seca 12%	0,73	168,8	17900,0	87,2	3,4	7,9	12,5	1315
		verde		99,4	14100,0	53,4				1002
NARGUSTA - TERMINALIA AMAZONIA	Almendo (Honduras), Canshán (Mexico), Amarillo carabazuelo (Panama), Guayabo león (Colombia), Pardillo negro (Venezuela), Pau-mulato brancho	seca 12%	0,73	131,7	14685,8	71,4	6,4	8,7	14,9	730-953
		verde		93,8	13031,1	46,2				-
SUCUPIRA - BOWDICHIA SPP.	Alcornoque (Venezuela), Sapupira, Sucupira parda (Brasil).	seca 12%	0,74	141,0	15104,3	79,7	5,0	7,8	13,4	-
		verde		125,1	15651,1	69,9				-
PURPLEHEART/AMARANTH - PELTOGYNE SPP.	Palo morado (Mexico), Morado (Panama, Venezuela) Tananeo (Colombia), Koroboreli (Guiana), Purperhart (Suriname), Amarante (Guiana Francesa), Pau	seca 12%	0,75	132,5	15651,1	71,2	3,2	6,1	9,9	844-1778
		verde		94,4	13789,5	48,4				-
ARARACANGA - ASPIDOSPERMA SPP	Volador, Pelmax (Mexico), Mylady (Belize), Alcarreto (Panama), Copachi (Colombia), Kromanti kopi (Suriname), Jacamim, Piquiá marfim (Brasil).	seca 12%	0,75	143,3	19029,5	76,6	5,2	8,7	14.3 (19% -Guiana e venezuela)	1397
		verde		97,2	17236,9	45,9				826
BLACK CABBAGE-BARK/SINDJAPLÉ - LONCHOCARPUS SPP.	Machiche, Balché (Mexico), Chaperno (Guatemala, Costa Rica, Panama), Macaratú (Colombia), Guaimaro, Marajagua (Venezuela), Sindjaplé (Suriname), Haiari	seca 12%	0,76	172,4	16823,2	83,4	3,9	8,2	13,0	1225
		verde		100,0	13237,9	65,5				-
SUCUPIRA - BOWDICHIDIPTROPIS PURPUREA	Botonallare, Peonía (Venezuela), Tatabu, Aramatta (Guiana), Zwarte kabbes (Suriname), Coeur dehors (Guiana Francesa), Sapupira, Supupira, Sucupira (Brasil).	seca 12%	0,78	144,1	17000,0	83,7	4,6	7,0	11,8	971
		verde		120,0	15900,0	55,3				898
WALLABA - EPERUA SPP.	Palo machete (Venezuela), Wallaba (Guyana), Walaba, Bijlhout (Suriname), Wapa (Guiana Francesa), Apá, Apazeiro, Jébaro (Brasil).	seca 12%	0,78	139,3	14685,8	77,3	3,6	6,9	10,0	-
		verde		104,1	15030,6	57,8				699
MORA - MORA EXCELSA	Nato, Nato rojo (Colombia), Mora de Guayana (Venezuela), Morabukea, Mora (Guiana), Mora, Moraboekea (Suriname), Pracuuába (Brasil).	seca 12%	0,78	152,4	19236,4	81,6	6,9	0,8	18,8	1043
		verde		93,8	14823,7	49,3				658
WACAPOU/ACAPU - VOUACAPOUA AMERICANA	Bruinhart (Suriname), Sarabebeballi (Guyana), Wacapou (Guiana Francesa), Acapú (Brasil).	seca 12%	0,79	149,2	17443,7	79,2	4,9	6,9	13,0	785
		verde		109,3	18064,3	63,2				730
WEST INDIAN LANCEWOOD - OXANDRA LANCEOLATA	Haya prieta (Porto Rico), Yaya (Panama, Cuba, República Dominicana), Bois de lance (Haiti).	seca 12%	0,81	163,4	19994,8	83,3	6,2	9,6	15,4	1284
		verde		112,9	14268,0	55,1				-
BALSAMO - MYROXYLON BALSAMUM	Bálsamo, Palo de bálsamo (Spanish America generally), Cedro chino, Nabal (Mexico), Chirraca, Sándalo (Costa Rica), Tache, Tolú (Colombia), Estoraque (Peru),	seca 12%	0,81	175,1	16754,3	76,5	3,8	6,2	10,0	998
		verde		119,1	14685,8	56,5				939
MARISHBALLI/KAUTA/ANAURA - LICANIA SPP.	Bois gris (Trinidad), Monkey apple (Belize), Carbonero, Sapote (Panama), Abure, Cana dulce (Colombia), Merecure de montaña (Venezuela), Kwepie, Anaura	seca 12%	0,82	161,6	16500,0	86,1	7,5	11,7	17,2	1619
		verde		102,7	13900,0	54,6				1021
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
WHITE-CEDAR/WHITE TABEUBIA - TABEUBIA SPP.	White-cedar, Warakuri (Guiana), Zwamp panta (Suriname), Bois blanchet, Cédre blanc (Guiana Francesa).	seca 12%	0.82	102.7	15582.2	56.8	4.7	7.2	10.8	526-635
		verde		94.5	14065.3	42.7				-
TIMBAUBA - ENTEROLOBIUM SCHOMBURGKII	Harino (Panama), Menudito (Venezuela), Bougou bati batra, Acadia franc Guiana Francesa), Angelium, Timbaúba (Brasil), Jebio,	seca 12%	0.84	162.3	17100.0	79.4	3.8	8.8	13.9	1057
		verde		113.7	14900.0	51.2				907
SAPUCAIA/MONKEY POT - LECYTHIS SPP.	Coco (Panama), Coco mono, Coco cristal (Colombia), Coco de mono, Olla de mono (Venezuela), Monkey Pot (Guiana), Kwattapatoe (Suriname), Castanha sapucaia,	seca 12%	0.84	152.9	15100.0	71.6	6.0	7.6	13.4	1406
		verde		114.1	14700.0	54.6				1102
JUTAHY - DIALIUM GUIANENSE	Guapaque (Mexico), Paleta (Guatemala, Honduras), Tamarindo montero (Nicaragua), Hauso (Panama), Tamarindo (Colombia), Cacho (Venezuela), Huitillo	seca 12%	0.85	192.3	17000.0	92.2	5.3	8.9	13.9	1814
		verde		107.2	13400.0	55.9				-
JARÁNA - HOLOPYXIDIUM JARANA	Jarána, Inhauba (Brazil).	seca 12%	0.85	208.0	20063.7	86.5	6.2	8.3	16.8	1588
		verde		135.8	13651.6	52.9				1034
CURUPAY - ANADENANTHERA MAROCARPA	Angico preto (Brasil), Cebil, Cebil colorado (Argentina), Curupay-atá (Paraguai).	seca 12%	0.86	201.9	17891.9	97.2	4.6	7.6	12.0	1742
		verde		153.1	16340.6	69.6				-
BULLETWOOD/BALATA - MANILKARA BIDENTATA	Chicozapote (Mexico), Ausubo (Porto Rico, República Dominicana), Nispero (Panama), Beefwood (Guyana), Bolletri	seca 12%	0.87	179.7	17400.0	110.9	6.3	9.4	16.9	1447
		verde		127.2	15400.0	68.3				1012
MANGLE COLORADO/RED MANGROVE - RHIZOPHORA MANGLE	Candelón, Mangle dulce (Mexico), Mangle rojo (Colombia), Purgua (Venezuela), Apareiba, Mangué sapateiro (Brasil), Mangle geli (Equador).	seca 12%	0.89	165.5	20339.5	93.1	5.0	10.7	14.3	1252
		verde		104.8	15857.9	44.7				1016
CAIMITO/STAR-APPLE - CYNODENDRON SPP.	Caimitillo, Lechecillo (Puerto Rico), Canela (Mexico), Caimito morado (Venezuela), Kokoritiballi (Guiana), Balata blanca (Peru), Massaranduba-rana (Brasil), Aguay,	seca 12%	0.90	137.9	22752.7	86.9	6.4	8.6	15.2	-
		verde		127.9	15644.9	62.6				-
TONKA/EBO - DIPTERYX ODORATA	Almendro (Costa Rica, Panama), Sarrapia (Venezuela, Colombia), Cumarú (Brasil), Charapilla, Cumarut (Peru).	seca 12%	0.91	188.0	18300.0	94.6	5.0	7.6	12.0	1606
		verde		133.0	16199.3	62.2				998
DEMERARA GREENHEART - OCOTEA RODIAEI	Bibiru, Sipiri, Kevatuk (Guiana), Beeberoe, Demerara groenhart, Sipiroe (Suriname).	seca 12%	0.91	180.6	20960.1	89.9	8.8	9.6	17.1	1070
		verde		140.0	15926.9	67.4				853
TREBOL/MACAWOOD - PLATYMISCIUM SPP.	Granadillo (Mexico, Belize, El Salvador, Honduras), Coyote, Cristobal (Costa Rica), Trebol, Guayacan trebol (Colombia), Roble (Venezuela), Koenatepi (Suriname),	seca 12%	0.94	190.3	17236.9	111.0	2.7	3.5	6.5	776-1451
		verde		153.9	14685.8	72.7				-
AROMATA - CLATHROTROPIS SPP.	Alma negra, Sapan (Colombia), Cabarí, Timbó pau, Timbó rana (Brasil).	seca 12%	0.97	197.2	24131.7	113.8	5.0	6.7	11.9	1343
		verde		139.5	16715.8	68.4				-
IPE BETHABARA/LAPACHO - TABEUBIA SPP. (LAPACHO GROUP)	Amapa (Mexico), Cortez (Honduras, Nicaragua, Costa Rica), Guayacán (Panama), Guayacan polvillo (Colombia), Flor Amarillo (Venezuela),	seca 12%	0.97	193.1	20753.2	96.5	6.6	8.0	13.2	1669
		verde		155.5	20132.7	71.4				1388
WAMARA/BANNIA - SWARTZIA SPP.	Naranjillo (Mexico, Honduras, Panama), Parakusan (Guiana), Gandoe, Ijzerhart (Suriname), Alma negra (Colombia), Orura barrialera (Venezuela), Icoje (Peru), Pau ferro, Mututy (Brasil).	seca 12%	1.02	224.8	18064.3	106.5	3.9	7.6	11.2	1508-1842
		verde		147.5	17099.0	72.4				-
NOME CIENTIFICO	NOME COMUM	UMIDADE	Db (g/cm³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	CPA (Mpa)	Radial	Tangencial	volumétrica	Dureza Janka (Kgf)
			PROPIEDADES MECÂNICAS			CONTRAÇÃO (%)				

Os resultados apresentados em vermelho foram estimados pelas funções de correlação encontradas.