

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE
MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A
DENSIDADE BÁSICA - MADEIRA SECA**

MARCO AURÉLIO SOUZA BESSA

**Orientador: MÁRCIO AUGUSTO ROMA BUZAR
Coorientador: JULIO EUSTÁQUIO DE MELO**

**TESE DE DOUTORADO EM
ARQUITETURA E URBANISMO**

BRASÍLIA/DF: MAIO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE
MADEIRA TROPICAL UTILIZANDO A
DENSIDADE BÁSICA - MADEIRA SECA**

ENG. MARCO AURÉLIO SOUZA BESSA

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. Márcio Augusto Roma Buzar, PhD (FAU/UnB)
(Orientador)

Prof. Julio Eustáquio de Melo, PhD (FAU/UnB)
(Coorientador)

Prof. Ivan Manoel Rezende do Valle, PhD (FAU/UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Lenildo Santos Silva, PhD (ENC/UnB)
(Examinador Externo)

Prof. Yopanan Conrado Pereira Rebello, PhD (AEC/AU)
(Examinador Externo)

Brasília-DF, 10 de Maio de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

BESSA, MARCO AURÉLIO SOUZA

Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Madeira Seca [Distrito Federal] 2018.

xviii, 166p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Doutor, Arquitetura e Urbanismo, 2018).

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

1. Dimensionamento

2. Madeira

3. Densidade Básica

4. Modelo Para Dimensionamento

I. FAU/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BESSA, M. A. S. (2018). Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Madeira Seca [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, 163p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marco Aurélio Souza Bessa

TÍTULO: Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica - Madeira Seca.

GRAU: Doutor ANO: 2018

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

Marco Aurélio Souza Bessa
QS 07 Rua 210 Casa 28 Aguas Claras
71.968-000 Taguatinga – DF - Brasil
E-mail: bessamarco@yahoo.com.br

Não somos o que deveríamos ser;
não somos o que queríamos ser;
não somos o que iremos ser,
mas graças a Deus,
não somos o que éramos.

Martin Luther King

À minha mãe pelo amor, carinho e compreensão
em todos os momentos da minha vida.

À minha esposa pelo amor, apoio
e incentivo incansável.

Aos meus filhos Tarso e Catarina
pelo amor incondicional.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, autor da vida.

Aos meus pais Janice e Bessa (*in memoriam*) que me ensinaram os valores verdadeiros da vida;

A minha esposa Giulieny pela convivência diária, pela paciência e por me amar sempre.

Aos meus filhos pelos abraços, beijos e carinhos tão necessários para a luta do dia a dia;

As minhas irmãs Sandra, Andréia e Carolina (minha família), pelo carinho, por sempre estarem ao meu lado e acreditarem em mim;

Ao meu inestimável amigo Zé (José Humberto) que, ao longo dos anos, mostrou-se presente não só como um grande amigo, mas muitas vezes como irmão. Agradeço, hoje em especial, pela ajuda e dedicação na conclusão do meu trabalho. *Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre os ombros de gigantes! (Isaac Newton)*

Ao Professor Marcio Buzar pelo convite e incentivo a ingressar no PPG-FAU;

Ao Professor Júlio Melo pela amizade, dedicação e disponibilidade ao longo deste trabalho;

A Universidade de Brasília, na figura dos seus professores João Pantoja, Ivan do Valle, Andrea Prado, Cláudia Amorim e Jaime, pelo conhecimento compartilhado;

Aos funcionários da PPG-FAU pelo atendimento exemplar;

Aos meus colegas professores do UNICEUB, Jocinez, João Marcos, Ana Paula, Felipe, Honório, Neusa, Renato e Sandra pelo convívio, incentivo e amizade.

RESUMO

Esta tese apresenta 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, ou a compressão axial, barras fletidas e barras submetidas a interação entre esforço normal e momento fletor. A formulação do método toma como referência as prescrições da norma brasileira NBR-7190/82, baseada no Método das Tensões Admissíveis, tais como os correspondentes códigos de projetos americanos *NDS-National Design Standard* e *ASCE-American Society of Civil Engineering*. O dimensionamento utilizando a densidade básica pode ser adaptado para qualquer norma de projeto de estruturas de madeira que for utilizada como referência, independentemente do método de dimensionamento adotado pela norma tomada como base. A formulação matemática utiliza funções de resistência estimadas por um modelo de regressão linear simples amostral, construído a partir de banco de dados obtido de ensaios experimentais para caracterização de espécies de madeiras tropicais. O modelo de regressão linear concebido estima propriedades físicas e mecânicas dessa amostra utilizando a densidade básica da madeira. O Banco de Dados é o resultado de um programa experimental consistente conduzido pelo Laboratório de Produtos Florestais do Ministério do Meio Ambiente, que nos últimos trinta anos estudou e caracterizou 259 espécies de madeira da Amazônia, tendo como referência as normas Pan-Americanas *COPANT-Comisión Panamericana de Normas Técnicas*. Uma ampla análise da significância estatística das correlações entre propriedades físicas e mecânicas de espécies de madeira e a densidade básica, é apresentado no corpo da tese, no sentido de verificar a adequação da formulação proposta. Um extenso conjunto de exemplos de aplicação da formulação para o dimensionamento de barras tracionadas e comprimidas, barras fletidas e barras submetidas a flexão composta, é apresentada e discutida no trabalho. É possível concluir, a partir das análises de significância estatística e da discussão dos resultados do conjunto de exemplos analisados, que a formulação proposta para dimensionamento de elementos de madeira utilizando a densidade básica, não só é matematicamente consistente, como se constitui em uma nova ferramenta de projeto para estruturas de madeira tropical.

Palavras-Chave: *Estruturas de Madeira, Dimensionamento Utilizando a Densidade Básica da Madeira, Densidade Básica da Madeira, Modelo de Regressão Linear Simples, Funções de Resistência Pela Densidade Básica da Madeira.*

ABSTRACT

This thesis presents a mathematical formulation for the design of tropical wood structures using basic density. The proposed theoretical conception has wood basic density as an independent variable for the design of structural elements required for axial traction or compression, flexural members and the design of beam–columns. The formulation of the method takes as reference the prescriptions of the Brazilian standard NBR-7190/82, based on the Allowable Strength Design Method, such as the corresponding American design codes NDS-National Design Standard and ASCE-American Society of Civil Engineering. The design using the basic density can be adapted to any design standard of timber structures that is used as reference, regardless of the design method adopted by the base standard. The mathematical formulation uses resistance functions estimated by a simple linear regression model, constructed from a database obtained from experimental tests for the characterization of tropical wood species. The designed linear regression model estimates the physical and mechanical properties of this sample using the basic density of the wood. The Database is the result of a consistent experimental program conducted by *Laboratório de Produtos Florestais do Ministério do Meio Ambiente*, which in the last thirty years has studied and characterized 259 species of wood from the Amazon, based on the Pan American Standards *COPANT-Comisión Panamericana de Normas Técnicas*. A broad analysis of the statistical significance of the correlations between physical and mechanical properties of wood species and the basic density is presented in the body of the thesis in order to verify the suitability of the proposed formulation. An extensive set of examples of application of the formulation for compression and tension members, flexural members and design of beam–columns is presented and discussed in this thesis. It is possible to conclude from the analysis of statistical significance and from the discussion of the results of the set of examples analyzed that the proposed formulation for design of timber structural members using the basic density is not only mathematically consistent, but also constitutes a new design tool for tropical timber structures.

Keywords: *Timber Structures, Design Using Basic Wood Density, Basic Wood Density, Simple Linear Regression Model, Functions of Resistance by Basic Wood Density.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	GENERALIDADES.....	3
1.2	OBJETIVOS.....	7
1.2.1	Objetivos gerais.....	7
1.2.2	Objetivos específicos.....	7
1.3	JUSTIFICATIVA.....	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	A madeira e suas propriedades.....	9
2.2	A Estrutura Anatômica Macroscópica Da Madeira	9
2.2.1	Nomenclatura Botânica e Comercial.....	9
2.2.2	Partes da árvore	10
2.3	Elementos anatômicos estruturais da madeira	12
2.3.1	Célula vegetal.....	12
2.3.2	Vasos	13
2.3.3	Traqueídes	13
2.3.4	Raios medulares	13
2.3.5	Fibras	14
2.4	Propriedades Físicas da Madeira.....	14
2.4.1	Caracteres Gerais.....	15
2.5	Teor de umidade.....	19
2.6	Densidade	20
2.6.1	Densidade Verde	22
2.6.2	Densidade seca	22
2.6.3	Densidade básica	23
2.6.4	Densidade aparente	23
2.7	Estabilidade dimensional.....	24
2.8	Propriedades Mecânicas da Madeira.....	26
2.9	Tipos de Ensaios.....	27
2.9.1	Tração paralela às fibras.....	27
2.9.2	Tração perpendicular às fibras	28
2.9.3	Compressão paralela às fibras	28
2.9.4	Flexão estática	28
2.9.5	Compressão perpendicular às fibras.....	30
2.9.6	Cisalhamento paralelo às fibras.....	30
2.9.7	Fendilhamento	31
2.9.8	Resistência ao impacto	31
2.9.9	Dureza	31
2.10	Fatores que afetam a resistência da madeira	32
2.10.1	Variabilidade natural do material	32
2.11	Teor de umidade.....	33
2.11.1	Defeitos Naturais	33
2.11.2	Grã.....	34
2.11.3	Nós	34
2.11.4	Secagem	34
2.11.5	Influência do tempo de carregamento	34
2.11.6	Biodeterioração	35
2.11.7	Temperatura	35

2.12	Sobre Secagem e Preservação da Madeira.....	35
2.12.1	Secagem da madeira.....	36
2.12.2	Secagem natural	38
2.12.3	Secagem artificial.....	39
2.13	Preservação de madeira.....	40
2.14	Degradação da madeira.....	40
2.14.1	Desgaste mecânico	41
2.14.2	Degradação química.....	41
2.14.3	Degradação biológica.....	41
2.14.4	Fungos.....	41
2.14.5	Insetos.....	42
2.15	Métodos de preservação da madeira	43
2.15.1	Prevenção natural	44
2.15.2	Tratamento com preservativos	44
2.15.3	Tratamento da madeira com pressão.....	46
2.15.4	Substituição da seiva.....	47
2.15.5	Banho quente-frio.....	47
2.15.6	Tratamento por imersão	47
2.15.7	Pincelamento e aspersão.....	48
2.16	Acabamento e manutenção.....	48
2.17	Classificação de espécies de madeira por uso	49
2.17.1	Classificação em usos finais.....	50
2.17.2	Estruturas de Cobertura (Vigas, Caibros e Ripas).....	50
2.17.3	PONTE.....	52
2.18	Estatística Aplicada Na Caracterização Da Madeira.....	54
2.18.1	Considerações Gerais	54
2.18.2	Tipos de Correlação	56
2.18.3	Coefficiente de Correlação Linear de Pearson (r):.....	56
2.18.4	Análise de Regressão	57
2.18.5	O Coeficiente de Determinação – R ²	59
3	Metodologia	60
3.1	Sobre o sistema de amostragem para caracterização das espécies de madeira	61
3.2	Análise Estatística de Amostras	65
3.2.1	Estudos de Regressão de espécies caracterizadas pelo LPF	65
3.3	Análise da significância estatística das correlação entre propriedades de espécies de madeira tropical e a densidade aparente - Dap.....	66
3.3.1	Análise da Matriz dos Coeficientes de Correlação de Pearson Entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical do Banco de Dados do LPF/SFB/MMA (r) – Madeira Seca	68
3.3.2	Estudo de Regressão Para Madeira Seca.....	71
3.3.3	Estudo de Regressão Entre a Densidade Aparente Dap e Densidade Básica Db.....	95
3.3.4	Funções de Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical.....	98
4	MODELO PARA DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DE MADEIRA NA CONDIÇÃO SECA A PARTIR DA DENSIDADE BÁSICA ..	101
4.1	Barras Tractionadas Para Madeira Seca (umidade a 12%)	101
4.1.1	Hipóteses Básicas.....	101
4.2	Barras Comprimidas Para Madeira Seca (umidade a 12%)	102
4.2.1	Hipóteses Básicas.....	102
4.2.2	Análise da Função de Resistência à Compressão Axial.....	103

4.3	Barras Fletidas.....	109
4.3.1	Hipóteses Básicas.....	109
4.4	Esforço cortante admissível na flexão simples	109
4.4.1	Hipóteses Básicas	109
4.4.2	Considerações sobre o dimensionamento	110
4.5	Barras submetidas à flexão composta reta para madeira seca (umidade a 12%)	110
4.5.1	Hipóteses básicas.....	110
4.5.2	Considerações sobre o dimensionamento	111
4.6	Verificação de cargas localizadas para madeira seca (umidade em 12%)	118
4.6.1	Hipóteses básicas.....	118
4.6.2	Considerações de dimensionamento	118
5	Aplicação do modelo – discussão dos resultados	120
5.1	Estudos de Caso de Aplicação do Método da Densidade Básica.....	120
5.1.1	Estudo de Caso 1	121
5.1.2	Estudo de Caso 2	126
5.1.3	Estudo de Caso 3	129
5.1.4	Estudo de Caso 4	132
5.1.5	Estudo de Caso 5	140
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	146
7	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	148
7.1	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	151
8	ANEXOS.....	153
8.1	ANEXO A1: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pelo Nome Científico- Madeira Verde	153
8.2	ANEXO A2: Tabelas de Espécies de Madeira Ordenadas Pelo Nome Científico- Madeira Seca	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Corte transversal no tronco de uma árvore (fonte desconhecida).	10
Figura 2.2 - Cerne distinto a indistinto. Imagens: LPF	11
Figura 2.3 - Anéis de crescimento. Imagens: LPF	12
Figura 2.4 - Raios medulares. Imagens: LPF	13
Figura 2.5 - Elementos anatômicos estruturais da madeira (folhosa). Imagens: LPF	14
Figura 2.6 - Espécies de madeira com cor de tonalidade forte. Imagens: LPF	15
Figura 2.7 - Madeira de grã direita e reversa. Imagens: (MELO,2014)	17
Figura 2.8 - Madeira de textura fina e grossa. Imagens: LPF	18
Figura 2.9 - Gráfico esquemático da resistência com o teor de umidade.....	20
Figura 2.10 - Gráficos esquemáticos: densidade com a resistência mecânica e densidade com o teor de umidade.....	22
Figura 2.11 - Direções principais	24
Figura 2.12 - Gráfico esquemático de contração com o teor de umidade.....	25
Figura 2.13 - Gráfico esquemático da resistência à tração e compressão paralela às fibras.	26
Figura 2.14 - Gráficos das tensões internas em peças fletidas.	29
Figura 2.15 - Empilhamento horizontal e tipo tesoura em processo de secagem natural de madeira.	38
Figura 2.16 - Exemplo de uma secadora.	39
Figura 2.17 - Túneis e cupins de solo. (MELO,2014).....	43
Figura 2.18 - Galerias e fezes de cupins de madeira seca. (MELO,2014).....	43
Figura 2.19 - Autoclave de preservação de madeira com pressão.	46
Figura 2.20 - Preservação de estacas por substituição de seiva.	47
Figura 2.21– Exemplo de Diagrama de Dispersão.....	55
Figura 2.22– Reta Regressora	58
Figura 2.23 - Gráfico de dispersão com resíduos.....	58
Figura 3.1 - Regiões de coletas, no Programa de Caracterização de Espécies de madeira da Amazônia, do Laboratório de Produtos Florestais.	63
Figura 3.2 - Tensão de flexão em vigas	72
Figura 3.3– Diagrama de Dispersão MOR x Dap (Resíduos Padronizados).....	73
Figura 3.4– Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (MOR x Dap)	74
Figura 3.5 - Diagrama de Dispersão MOR x Dap para Madeira Seca.....	75
Figura 3.6 - Distribuição de Tensão de compressão	76
Figura 3.7– Diagrama de Dispersão CPA x Dap (Resíduos Padronizados).....	78
Figura 3.8 - Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (CPA x Dap)	79
Figura 3.9 – Diagrama de Dispersão CPA x Dap para Madeira Seca	80
Figura 3.10 - Distribuição de Tensão de Cisalhamento	81
Figura 3.11 - Diagrama de Dispersão CIS x Dap (Resíduos Padronizados).....	82
Figura 3.12– Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (CIS x Dap).....	83
Figura 3.13– Diagrama de Dispersão CIS x Dap para Madeira Seca.....	84
Figura 3.14 - Tensão de Compressão Normal as Fibras em peças de Madeira.....	86
Figura 3.15– Diagrama de Dispersão CPE x Dap (Resíduos Padronizados)	86
Figura 3.16 - Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (CPE x Dap)	87
Figura 3.17 - Diagrama de Dispersão CPE x Dap para Madeira Seca.....	89
Figura 3.18 - Tensão de Compressão Normal às Fibras em peças de Madeira.....	90
Figura 3.19 - Diagrama de Dispersão MOE x Dap (Resíduos Padronizados)	91
Figura 3.20 - Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (MOE x Dap).....	93
Figura 3.21– Diagrama de Dispersão MOE x Dap para Madeira Seca	94
Figura 3.22 - Diagrama de Dispersão Dap x Db (Resíduos Padronizados)	96
Figura 3.23– Diagrama de Dispersão Dap x Db para Madeira	98

Figura 4.1- Curva de Flambagem.....	104
Figura 4.2 - Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com baixa Densidade Básica	105
Figura 4.3: Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com média Densidade Básica	105
Figura 4.4: Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com média Densidade Básica	106
Figura 4.5: Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com Baixa, Média e Alta Densidade Básica.....	107
Figura 4.6: Superfície de Flambagem: madeira seca	108
Figura 5.1 -Estudo de Caso 1 – Mezanino composto por painéis de laje maciça	121
Figura 5.2 – Diagrama de dispersão de diferenças relativa da altura de vigas (Caso 1).....	122
Figura 5.3 – Exemplo 2 – Mezanino composto por barrotes e piso em tábua corrida.....	126
Figura 5.4 –Diagrama de dispersão de diferenças relativas da altura de vigas (Caso 2)	127
Figura 5.5 –Estudo de Caso 3 – Cobertura de telha cerâmica em tesoura de madeira	129
Figura 5.6– Estudo de Caso 3 – Esforços nas barras (Melo,2014)	129
Figura 5.7 – Estudo de Caso 4 – Elemento estrutural submetido a compressão axial centrada .	132
Figura 5.8 – Diagrama de dispersão para barras curtas - Diferença Relativa x Db	133
Tabela 5.9 – Frequências de difrenças relativas para elementos curtos $\lambda = 40\alpha$ (Experimental - Db)	134
Figura 5.10– Diagrama de dispersão para barras intermediárias – Diferenças Relativa (%) x Db	135
Figura 5.11– Diagrama de dispersão para barras longas - Erro Relativo - Experimental x Db .	137
Figura 5.12 – Exemplo 5 – Elemento estrutural submetido a Flexão Composta.....	140
Figura 5.13 – Diagrama de dispersão para barras curtas sujeitas a flexão composta (Experimental x Db).....	141
Figura 5.14– Diagrama de dispersão para barras intermediárias sujeitas a flexão normal composta.....	142
Figura 5.15 – Diagrama de dispersão para barras longas sujeitas a flexão composta (Diferença Relativa x Db)	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Perda de dimensões com a secagem.	25
Tabela 2.2 - Coeficiente de variação médio de espécies da Amazônia verde e seco (Teor de umidade a 12%).	32
Tabela 2.3 - Média mensal e anual do teor de umidade de equilíbrio da madeira.....	37
Tabela 2.4 - Interpretação para os Valores de Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r).57	57
Tabela 3.1– Distribuição de Espécies de Árvores da Amazônia por Densidade Básica	67
Tabela 3.2 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira seca (12%)	69
Tabela 3.3 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $MOR \times Dap$	73
Tabela 3.4 -Teste do qui-quadrado (χ^2)	75
Tabela 3.5 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $CPA \times Dap$	77
Tabela 3.6 - Teste do qui-quadrado (χ^2)	79
Tabela 3.7– Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $CIS \times Dap$	81
Tabela 3.8 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $CIS \times Dap$, com a função linear passando pela origem.	82
Tabela 3.9 - Tabela de teste do qui-quadrado (χ^2)	84
Tabela 3.10 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $CPE \times Dap$	86
Tabela 3.11-Tabela de teste do qui-quadrado (χ^2)	88
Tabela 3.12 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $MOE \times Dap$	91
Tabela 3.13 - Teste do qui-quadrado (χ^2)	93
Tabela 3.14 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA $Dap \times Db$	95
Tabela 3.15 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA- $Dap \times Db$ com a função linear passando pela origem.	96
Tabela 3.16 - Tabela de teste do qui-quadrado (χ^2)	97
Tabela 3.17 - Funções da Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical na Condição Seca – Variável Independente Dap	99
Tabela 3.18 – Funções da Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical na Condição Seca – Variável Independente Db	100
Tabela 4.1 - Intervalos dos valores de Densidade Básica	104
Tabela 5.1 – Frequências de diferenças relativas para altura de vigas (Estudo de Caso 1)	123
Tabela 5.2– Frequências de Diferenças Absolutas para altura de vigas (Estudo de Caso 1).....	125
Tabela 5.3 – Frequências de Diferenças Relativas para altura de vigas (Estudo de Caso 2).....	127
Tabela 5.4– Frequências de diferenças absolutas para altura de vigas (Estudo de Caso 2).....	128
Tabela 5.5 – Espécies de madeira utilizadas nas tesouras.....	130
Tabela 5.6 – Comparação de cargas admissíveis pelo programa experimental e estimadas pela densidade básica – Tachi Branco ($Db = 0,40 \text{ g/cm}^3$).....	130
Tabela 5.7 – Comparação de cargas admissíveis pelo programa experimental e estimadas pela densidade básica – Angelim-Pedra ($Db = 0,55 \text{ g/cm}^3$).....	131
Tabela 5.8 – Comparação de cargas admissíveis pelo programa experimental e estimadas pela densidade básica – Cumaru ($Db = 0,91 \text{ g/cm}^3$)	131
Tabela 5.9 – Frequências de diferenças absolutas para elementos curtos $\lambda = 40\alpha$ (Experimental - Db)	135
Tabela 5.10 – Frequências de diferenças relativas para barras intermediárias $40/\alpha < \lambda \leq 1,369$	136
Tabela 5.11– Frequências de Diferenças absolutas para barras intermediárias $40/\alpha < \lambda \leq 1,369$ (Experimental- Db)	137
Tabela 5.12– Frequências de diferenças relativas para barras longas $1,369 < \lambda \leq 140/\alpha$ (Experimental x Db).....	138

Tabela 5.13 – Frequências de erros absolutos para barras longas $1,369 < \lambda \leq 140/\alpha$ (Experimentalx <i>Db</i>)	139
Tabela 5.14– Frequências de diferenças relativas para elementos curtos $\lambda = 40\alpha$	142
Tabela 5.15– Frequências de diferenças relativas para elementos intermediários $40/\alpha < \lambda \leq 1,369$	143
Tabela 5.16 – Frequências de erros relativos para elementos longos $1,369 < \lambda \leq 140\alpha$	144

LISTA DE SIGLAS

ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	- Análise de Variância
ASCE	-American Society of Civil Engeneering
ASD	- Allowable Strength Design
COPANT	- Comisión Panamericana de Normas Técnicas
CSN	- Cia 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
NDS	- National Design Standard
SFB	- Serviço Florestal Brasileiro
SI	- Sistema Internacional de Unidades

LISTA DE SÍMBOLOS

fck:	limite de resistência do concreto à compressão;	3
Fy:	limite de escoamento do aço à tração;	3
Db:	densidade básica da madeira;	4
ms:	massa seca a zero por cento de umidade;	4
Ps:	peso seco em estufa;	19
Pu:	peso úmido;	19
Tu:	teor de umidade;	19
Vs:	volume em condição seca na estufa;	22
CVUi:	valor da contração volumétrica da madeira saturada até o teor de umidade Ui;	23
map:	massa aparente, com determinado teor de umidade ;	23
Ui:	teor de umidade desejado em porcentagem;	23
Vap,:	volume aparente, com determinado teor de umidade;	23
DL:	distância longitudinal;	24
DR:	distância radial;	24
DTA:	distância tangencial;	24
CL:	contração longitudinal;	25
CR:	contração radial;	25
CT:	contração tangencial;	25
CV:	contração volumétrica;	25
xi e yi:	valores i-ésimos das variáveis x e y;	56
n:	número de observações de cada variável;	56
r:	coeficiente de correlação linear de Pearson;	56
R2:	Coeficiente de Determinação;	59
x:	média amostral;	66
σ :	desvios padrão;	66
CIS:	tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras;	67
CPA:	tensão de ruptura na compressão paralela às fibras;	67
CPE:	tensão de ruptura na compressão perpendicular às fibras;	67
DE:	Dureza Janka paralela às fibras;	67
DT:	Dureza Janka perpendicular às fibras;	67
FEND:	fendilhamento;	67
MOE:	módulo de elasticidade na flexão;	67
MOR:	tensão de ruptura na flexão;	67
TPER:	tração perpendicular às fibras;	67
χ^2 :	teste de aderência de qui-quadrado;	68
Ag:	área bruta da seção transversal (cm ²);	101
An:	área líquida da seção transversal (cm ²);	101
Pa:	carga admissível à compressão axial (Kgf);	101
Ta:	carga admissível à tração axial (Kgf);	101
λ :	esbelteza reduzida, ou fictícia, da barra;	101
ϕ_c :	fator de ponderação da resistência à compressão=0,20;	101
ϕ_t :	fator de ponderação da resistência à tração =0,15;	101
ρ :	função resistência à compressão axial;	101
i:	raio de giração da seção transversal;	102
K:	coeficiente para determinação comprimento efetivo de flambagem da barra isolada; ...	102
l:	comprimento real da barra;	102
α :	coeficiente que transforma o domínio da função ρ ;	102

Ma:	Momento admissível à flexão simples (m.Kgf);	108
W:	Módulo resistente elástico (cm ³);	108
Va :	esforço cortante admissível na seção (Kgf);.....	109
ϕv :	fator de ponderação resistência ao cisalhamento = 0,10;	109
b:	largura da seção no plano de corte considerado (cm);	109
I:	momento de inércia da seção (cm ⁴);.....	109
S:	momento estático da seção transversal em relação à linha neutra (cm ³);.....	109
M :	valor absoluto do momento fletor atuante;.....	110
N :	valor absoluto da força axial de compressão;.....	110
A:	área da seção transversal;	110
D:	diâmetro da seção transversal circular;.....	110
$e = M N $:	excentricidade fictícia na direção perpendicular ao eixo de flexão;.....	110
y:	posição do centro de gravidade da peça;	110
ϵ :	excentricidade relativa à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta;.....	110
λ :	índice de esbeltez real da peça;	111
Ffca:	tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm ²);	112
λ_0 :	esbeltez limite que separa o trecho da flambagem inelástica da flambagem elástica de Euler.	113
Fn:	tensão admissível na compressão perpendicular às fibras;.....	117
γ' :	Coefficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira;.....	118

1 INTRODUÇÃO

A utilização de um material como elemento estrutural e construtivo é, comumente, influenciado pelas tradições e padrões culturais de uma sociedade. Associadas 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 tem 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 o concreto 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. 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 (DE PAULA, 2017). Na Europa, existem pouco menos de vinte espécies de madeiras, enquanto que na Amazônia os botânicos estimam existir da ordem de três mil espécies (MELO, 2016). 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. Por outro lado, nas universidades brasileiras de modo geral não existem linhas de pesquisa consolidadas para o estudo e uso de espécies de madeira da Amazônia. 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. Diante desse quadro, a madeira como material de construção no Brasil ainda está relegado 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, como no caso brasileiro, ou quando envolve pouco menos de duas dezenas de espécies, como é a realidade da Europa. No Brasil, um programa de pesquisa voltado para o desenvolvimento e uso da madeira, obrigatoriamente, tem que levar em consideração a existência de mais ou menos três mil espécies de madeira – 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 estudos 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 (DE PAULA, 2017).

Uma proposta viável e alternativa a essa realidade é utilizar-se de um Banco de Dados de Espécies de Madeiras Tropicais que foram caracterizadas, nos últimos trinta anos, utilizando-se as Normas Pan-Americanas COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas). O Banco de Dados é o resultado de uma extensa pesquisa de caracterização de duzentas e cinquenta espécies, a partir de uma amostragem aleatória consistente, de florestas tropicais. Este Programa, até a realização do trabalho desta tese, ainda não tinha as suas informações/resultados analisados e tratados integralmente, pela equipe de pesquisadores do LPF/SFB/MMA (Serviço Florestal Brasileiro do Ministério do Meio Ambiente), mesmo estando concluído há quase uma década. Estes dados foram disponibilizados pelo LPF/SFB/MMA. O que se sabe da literatura é que existe uma forte correlação entre algumas propriedades físicas e/ou mecânicas da madeira, com outras propriedades. Uma delas é a Densidade Básica. Portanto, o objetivo é, a partir desse Banco de Dados, construir um modelo estatístico matemático, que possa estimar as propriedades e outras características de espécies vegetais que ainda foram caracterizadas e que são importantes para o projeto estrutural. É possível através de um modelo estatístico matemático, não só estimar com precisão outras propriedades mecânicas e físicas para um grande número de novas espécies, mas, também, inferir sobre características da madeira que são fundamentais para outros usos. Isso pode

contribuir com o projeto, o desenvolvimento e o uso da madeira, inclusive para o ensino, formação e capacitação de um meio técnico. A partir da amostra representada por esse banco de dados, foram obtidas funções de regressão, que podem estimar propriedades físicas e mecânicas da amostra, a partir da densidade básica da madeira. Além disso, a partir das funções de regressão obtidas e uma formulação matemática, tendo como base na antiga NBR-7190/82-ASD, está sendo proposto um modelo para dimensionamento de peças estruturais de madeira. O modelo de dimensionamento propõe funções resistência para elementos estruturais, submetidos à tração e compressão axial, flexão simples, flexão composta, além de esforços localizados e ligações, podendo ainda ser aplicado para outros estados limites.

1.1 GENERALIDADES

Curvas de resistência para peças de concreto armado e aço para diferentes formas de seção podem ser representadas por funções de interação de esforços, conforme abaixo:

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

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

Onde P_1, \dots, P_n são resultantes de tensões, características geométricas da seção, do elemento estrutural e o f_{ck} e F_y são propriedades mecânicas do concreto e do aço obtidas por ensaios. O f_{ck} é o limite de resistência característica do concreto à compressão e 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. Todas as considerações e critérios de projeto 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, flexocompressão e flexotração tem seus modelos de resistência 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 isotrópico do aço. Por outro, a madeira tem um comportamento ortotrópico – onde as propriedades mecânicas não variam 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

solicitações, tornando os estudos complexos para o engenheiro e, especialmente, para o arquiteto. Assim, para a análise da forma de elementos estruturais de madeira, é necessário determinar tensões limites de comparação para resistência à compressão paralela às fibras, compressão perpendicular às fibras, tração paralela às fibras, compressão na flexão, tensão de cisalhamento na flexão, além de outras. Isso torna a análise em projeto de difícil entendimento para os engenheiros e arquitetos. Além, claro, de dificultar o ensino básico dessa disciplina nas escolas de arquitetura e engenharia (DE PAULA, 2017).

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 só dispõe de madeira verde, na grande maioria das situações, contribuem para o uso limitado desse material. Para a madeira, a *Densidade Básica* – D_b é uma propriedade que apresenta forte correlação com outras propriedades mecânicas, podendo ser utilizada nos modelos e curvas de resistência, mantendo-se a acurácia dos métodos tradicionais. A Densidade Básica é a relação entre a massa da madeira seca em estufa (m_s) e o volume verde saturado (V_v), conforme Equação (1.3).

Figura 1.1 - Equipamento para determinação de volume do corpo de prova, por imersão em água, para determinação da densidade básica. Imagens: Julio Melo



$$D_b = \frac{m_s}{V_v} \quad (1.3)$$

Onde:

D_b : densidade básica da madeira
 m_s : massa seca a zero por cento de umidade
 V_v : volume verde saturado

A densidade básica é uma propriedade física de fácil obtenção. É determinada a partir de corpos de prova padronizados (2 x 2 x 10cm). Quando se deseja determinar a massa específica no próprio corpo de ensaio de caracterização, utiliza-se seção (5 x 5 x 10cm), 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 $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. 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, zerando o seu indicador de leitura. Com um dispositivo apropriado, conforme o mostra a Figura 1.1, 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.

A vantagem de se utilizar um modelo estatístico matemático para descrever correlações entre propriedades mecânicas e/ou físicas, é a redução significativa de custo e tempo, necessários em programas experimentais de caracterização. Em pesquisas dessa natureza, especialmente na Amazônia, é difícil e dispendiosa a coleta de amostras e posterior caracterização em laboratório. Programas experimentais com essas características, portanto, exigem planejamento, muito tempo para execução, além da necessidade de dispendiosos recursos materiais, financeiros e humanos. Assim, a ideia é se utilizar da forte correlação apresentada pela densidade básica com outras propriedades da madeira e, com um modelo estatístico matemático, para estimar as características mecânicas das espécies de madeira da Amazônia, a partir do Banco de Dados de Madeiras Tropicais, elaborado pelo LPF. Este banco de dados representa aproximadamente 10% das espécies de madeira da Amazônia, sendo distribuídos em madeiras de baixa, média e alta densidade, o que possibilita fazer inferências estatísticas. Além disso, é possível em uma abordagem inédita, utilizando-se dessas correlações, estabelecer um método de dimensionamento, que possa auxiliar o projetista, seja o engenheiro, ou o arquiteto, no estudo da forma e função estrutural, de modo muito menos complexo e conceitualmente consistente. Essa nova abordagem a partir da densidade básica como propriedade única no dimensionamento, unifica e traz para o dimensionamento de

elementos estruturais de madeira, conceitos já utilizados no concreto e, especialmente, nas estruturas de aço.

A Proposta de Projeto de Tese é inédita e o estudo se justifica pelas seguintes considerações:

- Possibilidade de continuação do programa de caracterização de novas espécies de madeira da Amazônia, com gastos de recursos significativamente menores, através de um modelo estatístico matemático aplicado no Banco de Dados do Laboratório de Produtos Florestais-LPF;
- A partir das correlações entre a Densidade Básica e as outras propriedades físicas e mecânicas da madeira, é possível completar o Banco de Dados do LPF, estimando propriedades de algumas espécies que não foram determinadas em ensaios de laboratório;
- Desenvolvimento de um novo método de dimensionamento a partir da Densidade Básica para madeiras da Amazônia. O Método da Densidade Básica proposto permite eliminar cálculos trabalhosos para a verificação e dimensionamento de elementos de estruturas de madeira. De certa forma, o comportamento ortotrópico do material deixa de ser relevante na prática dos projetos, uma vez que as diversas tensões admissíveis de comparação são substituídas por uma única propriedade física de fácil obtenção e fácil compreensão conceitual – a Densidade Básica;
- O Método da Densidade Básica para dimensionamento de elementos de madeira, em virtude da sua simplicidade conceitual, deverá se constituir em uma ferramenta acadêmica para o ensino das estruturas de madeira nas escolas de engenharia e arquitetura;
- A caracterização de novas espécies pela análise do Banco de Dados do LPF com a utilização de um modelo estatístico matemático, tem um forte apelo ambiental, já que pode-se utilizar novas espécies de madeira para construção civil. A introdução de diversas novas espécies no mercado de madeira, com o conhecimento de suas propriedades, características e novas possibilidades de uso, deve reduzir a concentração do uso de espécies tradicionais e que, em alguns casos, já tem sua utilização restrita, como é o caso da *Tabebuia serratifolia* (Ipê) e da *Cedrela odorata* (Cedro).
- Possibilidade de incorporar espécies de madeira da Amazônia caracterizadas por países latinos que utilizam a Norma COPANT, como a Colômbia, Venezuela e Peru.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

- a) Elaborar um modelo estatístico matemático a partir do tratamento estatístico do Banco de Dados do LPF, que estabeleça as correlações entre a densidade básica e propriedades mecânicas de madeira tropical, na condição seca (umidade a 12%).
- b) Desenvolvimento de um novo método de dimensionamento de elementos estruturais submetidos à tração e compressão axial, flexão simples, flexão composta reta, e efeitos de cargas localizadas e ligações, a partir da densidade básica, para espécies de madeira tropical, na condição seca (umidade a 12%).

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Estimar as propriedades físicas e mecânicas do banco de dados do LPF, que, eventualmente, não foram determinadas pelo programa experimental, a partir das correlações de propriedades com a densidade básica.
- b) Apresentar uma nova metodologia de dimensionamento de elementos de madeira para flexão;
- c) Apresentar uma nova metodologia de dimensionamento de elementos de madeira para cisalhamento;
- d) Apresentar uma nova metodologia de dimensionamento de elementos de madeira para flexão composta.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os conceitos envolvidos na proposta nesta 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 possível identificar em nenhuma das plataformas digitais de produção científica disponíveis - relatórios técnicos comunicados, artigos científicos, monografias, dissertações, ou teses - que tratasse, ou mesmo discutisse o tema em questão: o dimensionamento de elementos estruturais através de uma formulação de resistência, tendo a densidade básica da madeira, como variável independente. Também não foi encontrado nessas mesmas plataformas digitais, formulação tendo outra(s) variáveis físicas – como a densidade aparente, por exemplo – como variável independente (DE PAULA, 2017). A Proposta de Projeto de Tese e pesquisa é inédita e o estudo se justifica, também, a partir das seguintes considerações:

- O Brasil possui da ordem de 22% da área coberta com florestas tropicais úmidas no mundo e 58% das florestas da América do Sul (PEREIRA, 2001)
- Grande diversidade de espécies na Amazônia – da ordem de três mil espécies (MELO, 2016);
- Existência de um extenso e consistente banco de dados: resultado de um programa experimental do LPF, que vem sendo desenvolvido durante os últimos trinta anos (259 espécies já caracterizadas);
- A densidade básica - D_b é uma propriedade física que apresenta alta correlação com outras propriedades, além de ser de fácil obtenção (ensaio);
- Viabilizar a caracterização de espécies tropicais a partir do modelo estatístico matemático e da densidade básica, sem necessidade de um programa experimental dispendioso;
- Possibilidade de incorporar espécies caracterizadas em outros países que utilizam a COPANT;
- Simplificação de projetos com uso de madeira tropical (educação, formação e capacitação).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A madeira e suas propriedades

Neste capítulo serão apresentados alguns estudos sobre a estrutura anatômica, propriedades físicas e mecânicas da madeira, fatores que afetam a durabilidade e resistência, usos da madeira e preservação.

2.2 A Estrutura Anatômica Macroscópica Da Madeira

2.2.1 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, que serão tratados particularmente neste trabalho, por apresentarem árvores que produzem madeira 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 classificação botânica de duas espécies conhecidas no mercado.

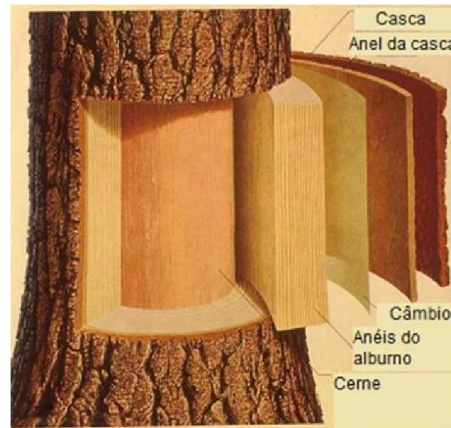
Nome Comum	Mogno	Pinheiro do Paraná
Reino	Vegetal	Vegetal
Seção	Fanerogama	Fanerogama
Divisão	Angiospermae	Gmnospermae
Classe	Dicotiledoneae	Coniferae
Ordem	Geraniales	Coniferales
Família	Meliaceae	Araucariaceae
Gênero	Swietenia	Araucária
Espécie	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Araucaria angustifolia</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 (IBAMA, 1996). 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 & SIQUEIRA, 1992).

2.2.2 Partes da árvore

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 (Figura 2.1), as seguintes partes se destacam:

Figura 2.1 - Corte transversal no tronco de uma árvore (fonte desconhecida).



2.2.2.1 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.

2.2.2.2 Alburno

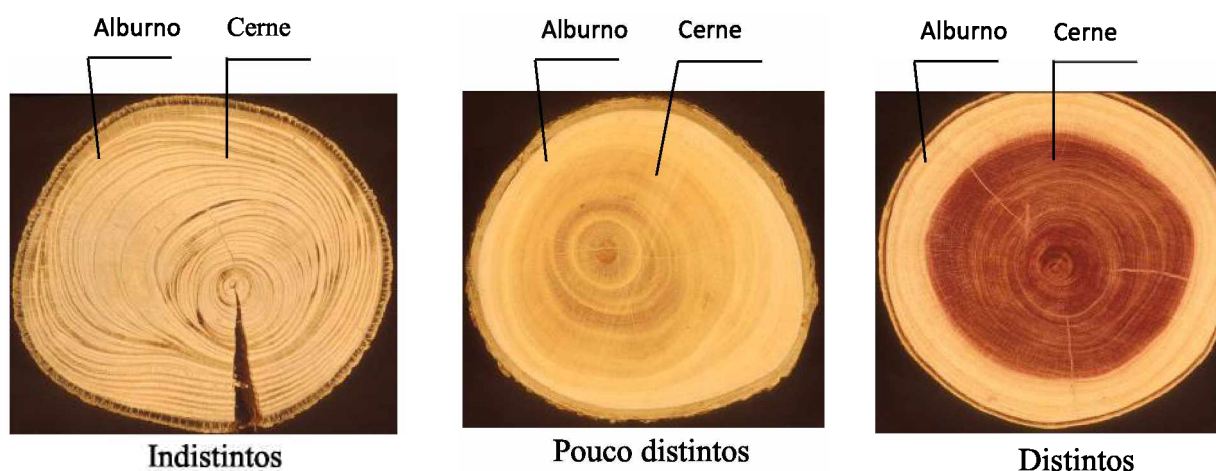
É formado pela parte mais externa da madeira, onde ocorre o transporte ascendente de líquidos retirados do solo (seiva bruta) e a estocagem de substâncias de reserva. A maioria das células é viva, geralmente, apresenta madeira de cor clara, mais leve que o cerne e susceptível ao ataque de fungos e insetos. Entre a casca e o alburno existe uma camada de células denominada câmbio, que por divisões sucessivas vão formando novas camadas de madeiras aumentando o diâmetro do tronco. Assim, à medida que novas camadas de alburno são formadas, elas vão se distanciando do câmbio 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).

2.2.2.3 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 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. 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. A Figura 2.2 mostra seções transversais de espécies com cerne distinto a indistinto (Wood Handbook, 2002).

Figura 2.2 - Cerne distinto a indistinto. Imagens: LPF



2.2.2.4 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.

2.2.2.5 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 seção transversal com anéis distintos e indistintos (WOOD HANDBOOK, 2002).

Figura 2.3 - Anéis de crescimento. Imagens: LPF



2.3 Elementos anatômicos estruturais da madeira

2.3.1 Célula vegetal

De acordo com Esau (1976) e Burger & Richter (1991), a árvore é constituída por pequenas unidades individuais cimentadas entre si, denominadas células. Possuem formas e dimensões de acordo com as funções que desempenham na madeira. As células possuem camadas envoltórias compostas principalmente das substâncias, celulose e lignina, que são chamadas de paredes de celulose. A celulose é um polímero linear que se dispõe em forma de microfibrilas,

constituindo o esqueleto ou estrutura das paredes das células. A lignina atua como o elemento cimentante da estrutura da celulose, dando rigidez ao conjunto e, conseqüentemente, estabelece as características de resistência mecânica da madeira.

2.3.2 Vasos

São células alongadas e cilíndricas dispostas umas sobre as outras ao longo do comprimento do tronco, formando dutos contínuos por onde sobe a água com os nutrientes retirados do solo (seiva bruta), das raízes até as folhas. Ocorrem nas folhosas (dicotiledôneas), possuindo funções básicas de condução da seiva bruta.

2.3.3 Traqueídes

São células alongadas, cilíndricas, fechadas e afiladas nas extremidades. A condução da seiva bruta se verifica através de válvulas especiais (pontuação aureolada), entre células adjacentes ao longo do comprimento do tronco. Ocorrem nas coníferas, com funções de condução da seiva bruta e resistência mecânica.

2.3.4 Raios medulares

São células radiais alongadas, de seção aproximadamente retangular, dispostas na direção radial à seção transversal do tronco, isto é, são perpendiculares aos vasos e traqueídes. Sua função consiste na união dos diferentes componentes do tronco e condução da seiva elaborada da periferia (floema ou camada liberiana) até o cerne. Os raios da espécie de madeira Louro Faia (*Roupala montana*) são bem visíveis a olho nu, o que confere uma figura na face radial bastante interessante (Figura 2.4).

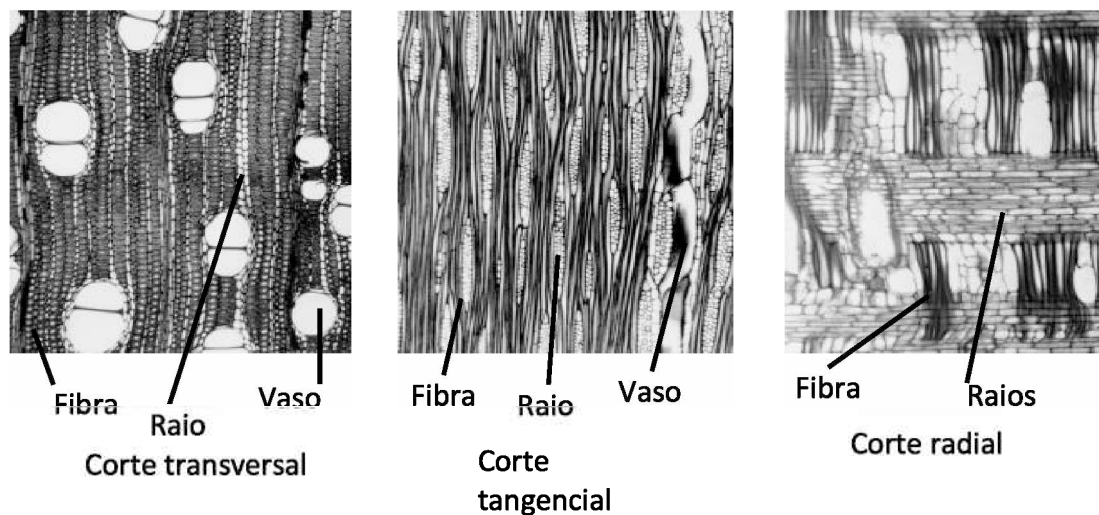
Figura 2.4 - Raios medulares. Imagens: LPF



2.3.5 Fibras

São células alongadas, cilíndricas e afiladas nas extremidades, orientadas no sentido do eixo do tronco, constituindo a maior parte de madeira das folhosas. Não ocorrem nas coníferas, sendo responsáveis pela resistência mecânica da espécie. Em todas as árvores, encontramos sempre os mesmos tipos de células, formando estruturas definidas, a partir dos elementos descritos acima (fibras, vasos, traqueoides e raios). A diferença entre elas resulta do tipo característico destes elementos, na quantidade e dimensões que ocorrem e na espessura das paredes das células que os compõem (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Elementos anatômicos estruturais da madeira (folhosa). Imagens: LPF



2.4 Propriedades Físicas da Madeira

Conforme foi visto no capítulo anterior, a quantidade, disposição, orientação e composição química dos elementos anatômicos da madeira, explica a sua natureza heterogênea e anisotrópica. Suas propriedades físicas e mecânicas apresentam comportamentos diferentes, principalmente entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore. Esta variabilidade pode, no entanto, ser medida através de um sistema de amostragem aleatória e representativa, com um erro mínimo de estimativa, realizando-se ensaios em corpos-de-prova isentos de defeitos tais como nós, fibras inclinadas, rachaduras e empenamentos. A caracterização física e mecânica da madeira tem como objetivo, identificar os usos específicos de espécies pouco conhecida ou desconhecida e estimar as tensões de cálculo e dimensionamento de estruturas. Para efeito de caracterização física, pode-se idealizar a madeira como um material anisotrópico, com três direções principais, perpendiculares entre si,

coincidentes com a direção longitudinal (ao longo do comprimento da árvore), tangencial (tangente aos anéis de crescimento) e radial (em direção ao centro da árvore). Segundo Melo & Camargos (2016), as principais propriedades físicas da madeira são:

2.4.1 Caracteres Gerais

2.4.1.6 Cor

É uma característica que auxilia na identificação de espécies e classificação em usos finais. A madeira serrada sofre alteração de cor com o passar do tempo, em exposição à luz solar, ataque de fungos e bactérias, ou variação do teor de umidade, pela oxidação de seus elementos orgânicos. A variação da cor natural da madeira se deve, principalmente, à presença de extrativos (taninos, resinas e óleos) nas células e nas paredes celulares, que se depositam de forma mais acentuada no cerne. Geralmente, as madeiras de cores escuras apresentam maior durabilidade natural, porque alguns destes extrativos são tóxicos aos fungos e insetos. A descrição de cor da madeira é feita, utilizando a tabela de cores de Munsell, para solos. Atualmente se adota o sistema CIE (Comissão Internacional de Iluminantes), cujo método define a sensação de cor baseada em três elementos (luminosidade, tonalidade e cromaticidade). Os dados colorimétricos são obtidos através de um Espectrofotômetro. As imagens abaixo (Figura 2.6) mostram diferentes cores naturais de espécies de madeira. Dentre as espécies de madeira com cerne de cor forte e agradável, podemos citar:

Muirapiranga – *Brosimum rubescens*
Pau amarelo - *Euxylophora paraensis*
Roxinho - *Peltogyne paniculata*
Muirapixuna - *Cassia scleroxylon*
Maria preta - *Zizyphus itacaiunensis*
Pau santo - *Zollernia paraensis*
Jatobá - *Hymenaea courbaril*

Figura 2.6 - Espécies de madeira com cor de tonalidade forte. Imagens: LPF



2.4.1.7 Cheiro

O cheiro ocorre em algumas espécies, sendo mais evidente em madeiras com alto teor de umidade. É consequência da presença de substâncias voláteis que tendem a diminuir com a perda de umidade. É uma característica importante na identificação de espécies e na classificação em usos finais, devido à possibilidade de desprender odor desagradável. Assim, engradados para transporte de gêneros alimentícios, devem ser fabricados com madeiras inodoras. Dentre as espécies de madeira com cheiro desagradável podemos citar: Angelim vermelho - *Dinizia excelsa*: exala um cheiro muito desagradável, principalmente quando está com muita umidade. Cupiuba - *Goupia glabra*: o cheiro não é tão intenso quanto ao do Angelim.

2.4.1.8 Grã

É o termo usado para descrever a direção longitudinal dos elementos anatômicos estruturais da madeira (fibras, vasos e traqueoides) na árvore, em relação ao crescimento axial e na madeira serrada, em relação a uma superfície em exposição (CORADIN, 1990). De forma prática, quando se racha uma peça de madeira na direção longitudinal, ela se parte seguindo a direção dos elementos anatômicos, isto é, na direção da grã. No processo de crescimento da árvore, são vários os fatores que influenciam no arranjo e orientação destes elementos. Devido à diversificação dos tipos de grã e sua importância na utilização da madeira, a grã é classificada em grã direita (reta) e grã irregular. Na grã direita, existe o paralelismo dos elementos anatômicos, com a direção longitudinal do tronco ou da peça serrada. Esta 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 e estabilidade dimensional no processo de secagem. Na grã irregular, os elementos anatômicos podem estar orientados de forma inclinada, em espiral, ondulada ou entrecruzados, em relação ao eixo longitudinal do tronco. Neste tipo de grã, a madeira apresenta uma maior variabilidade de comportamento, dificultando assim, nos processos de caracterização. Porém fornece figuras decorativas bastante interessantes, que são exploradas, quando o aspecto visual é fator decisivo na escolha de uma determinada espécie. A Figura 2.7 mostra dois tipos de grã. Em relação ao tipo de grã, podemos citar:

Grã direita	Grã revessa
Jequitibá-rosa - <i>Cariniana micrantha</i>	Cerejeira - <i>Amburana acreana</i>
Cedro - <i>Cedrela odorata</i>	Garapeira - <i>Apuleia molaris</i>
Maçaranduba - <i>Manilkara huberi</i>	Muiracatiara - <i>Astronium gracile</i>
Tuturubá - <i>Pouteria oblanceolata</i>	Peroba-mico - <i>Aspidosperma macrocarpon</i>

Figura 2.7 - Madeira de grã direita e revessa. Imagens: (MELO,2014)



Grã direita



Grã revessa

2.4.1.9 Textura

É o termo utilizado para se referir ao efeito produzido na madeira, pelas dimensões, distribuição e abundância relativa dos elementos anatômicos estruturais da madeira. Geralmente é classificada em textura fina, média e grossa, de acordo com o grau de uniformidade da madeira. Nas folhosas, a medida da textura se refere ao diâmetro e número de vasos e a largura dos raios e nas coníferas, pelo diâmetro na direção tangencial dos traqueídes. Conforme o próprio nome diz, a madeira de textura fina apresenta uma superfície uniforme e lisa, ideal para usos, onde um bom acabamento é essencial. Em relação à textura, podemos citar:

Textura fina	Textura média	Textura grossa
Pau amarelo	Garapeira	Cedro
<i>Euxylophora paraenses</i>	<i>Apuleia molaris</i>	<i>Cedrela odorata</i>
Tuturubá	Muiracatiara	Cedrorana
<i>Pouteria oblanceolata</i>	<i>Astronium ulei</i>	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>
Peroba-mico	Tanibuca	Angelim-pedra
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	<i>Buchenavia grandis</i>	<i>Hymenolobium petraeun</i>
Abiurana	Freijó	Louro/faeira
<i>Diploon venezuelana</i>	<i>Cordia goeldiana</i>	<i>Roupala montana</i>

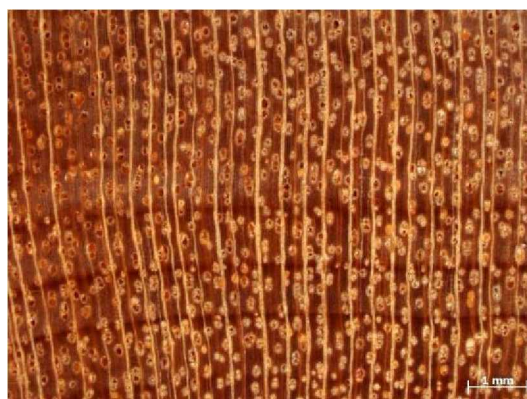
As imagens da Figura 2.8, mostra a seção transversal e corte tangencial de uma espécie de madeira com textura fina e outra com textura grossa (CORADIN, 1990).

Figura 2.8 - Madeira de textura fina e grossa. Imagens: LPF

Pau amarelo - *Euxylophora paraenses*



Corte transversal



Corte longitudinal

Cedrinho - *Cedrelinga catenaeform*



Corte transversal



Corte longitudinal

2.4.1.10 Figura

O conceito de figura ou desenho que se obtém com a orientação de corte na madeira é bastante subjetivo, sob o ponto de vista estético, dependendo de características naturais da espécie, presentes no cerne e alborno, tais como anéis de crescimento distintos, raios diferenciados, cor e tipo de grã. A maioria das espécies de madeira da Amazônia possuem figuras pouco destacadas ou sem figura. Em relação à figura, podemos citar:

- Cerejeira - *Amburana acreana*: figura destacada pelo aspecto fibroso
- Garapeira - *Apuleia molaris*: figura em faixas destacadas
- Muiracatiara-rajada - *Astronium lecointei*: figura destacada por rajadas escuras
- Envira - *Diclinanona calycina*: figura destacada

2.5 Teor de umidade

Sendo um material higroscópico, a madeira entra em equilíbrio com o ambiente, perdendo ou absorvendo água, em função da umidade relativa e temperatura do ar. Esta sensibilidade em perder ou ganhar umidade e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas, comportamento na secagem, eficiência nos processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, acabamento e produtos derivados, torna esta característica, uma das mais importantes no estudo do comportamento da madeira. A maior parte da seiva é constituída de água, que está, portanto, preenchendo os vazios dos traqueídes, vasos, raios e espaços intercelulares. Esta água é chamada de água livre e se mantém, por meio de forças capilares. Pode ser retirada com relativa facilidade, por algum processo de secagem, sem alterar suas características dimensionais e as propriedades físicas e mecânicas. Existe também a água de impregnação ou capilaridade, que se encontra impregnada nas paredes destas células. A retirada desta água requer maior consumo de energia que o da água livre, ocorrendo o fenômeno de retração, devido à aproximação das cadeias de celulose e, conseqüentemente, alterações significativas nas propriedades da madeira. A madeira é considerada verde, quando contém água livre e água de impregnação. Quando somente a água livre é removida, permanecendo a água de impregnação, diz-se que a madeira está com um teor de umidade correspondente ao ponto de saturação das fibras (JARA, 1987). O ponto de saturação das fibras varia de espécie para espécie, porém, permanecendo em torno de 30 % para a maioria das espécies. Abaixo do ponto de saturação das fibras (a madeira já perdeu toda a água livre e teve início à perda de água de impregnação), a madeira tende a estabilizar-se, quando seu teor de umidade entra em equilíbrio com a temperatura e umidade relativa do ar. Este ponto é chamado de teor de umidade de equilíbrio. (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1982)

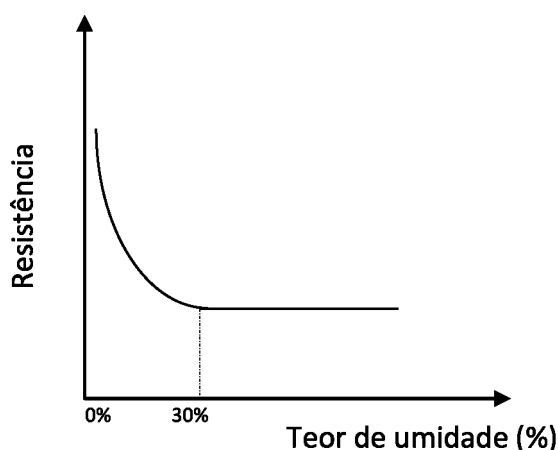
Como exemplo, em ambiente com temperatura de 20 °C e umidade relativa do ar de 65 %, a madeira tende a atingir um teor de umidade de equilíbrio de 12 %. Assim, pode-se concluir que num país com dimensões territoriais como o Brasil, o teor de umidade de equilíbrio da madeira com o ambiente, é bastante variável. Como exemplo, o teor de umidade de equilíbrio médio anual da madeira em Porto Alegre é de 14,9 %; em São Paulo, 15,4 %; Belo Horizonte, 13,6 %; Manaus, 17,1 % e Belém, 18,8 % (Galvão, s.d.). O teor de umidade (T_u) de uma peça de madeira é definido uma relação entre o peso úmido (P_u) e peso seco em estufa (P_s), expresso em porcentagem, conforme a equação a seguir (COPANT 460, 1972):

$$T_u = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2.1)$$

onde o peso úmido, se refere ao peso da madeira, na umidade em que se encontra e o peso seco em estufa, ao seu peso após secar em estufa a uma temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até atingir peso constante. Este é o processo mais exato de se determinar o teor de umidade. É muito comum, o uso de medidores portáteis, que não são tão precisos, porém possuem as vantagens de ser práticos e rápidos, por permitirem estimar o teor de umidade no local, sem necessidade de cortar e transportar o material para laboratórios. Estes medidores se baseiam nas propriedades elétricas da madeira, que funciona como resistência elétrica para fechar o circuito, quando da penetração de agulhas na peça de madeira.

Em função do uso a que se destina, é muito importante que a madeira esteja próxima ao teor de umidade de equilíbrio da região, para que sejam evitados problemas indesejáveis, devido a alterações nas suas formas e dimensões originais. Para fins estruturais, considera-se a resistência da madeira em condição seca, quando se encontra com teor de umidade de equilíbrio regional. À medida que o teor de umidade aumenta, a madeira vai perdendo resistência até atingir o ponto de saturação, onde permanece estabilizado, conforme mostra o gráfico esquemático da Figura 2.9.

Figura 2.9 - Gráfico esquemático da resistência com o teor de umidade.



2.6 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 foram obtidas. 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. 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). Portanto, é adimensional. Como no sistema métrico a densidade da água é aproximadamente igual a um, o valor numérico da densidade e peso específico é o mesmo. Melo & Coradin (1990) estabeleceram as seguintes classes para a densidade básica (D_b):

Espécies de madeira de densidade básica baixa
 $D_b \leq 500 \text{ kg/m}^3$

Espécies de madeira de densidade básica média
 $500 \text{ kg/m}^3 < D_b \leq 720 \text{ kg/m}^3$

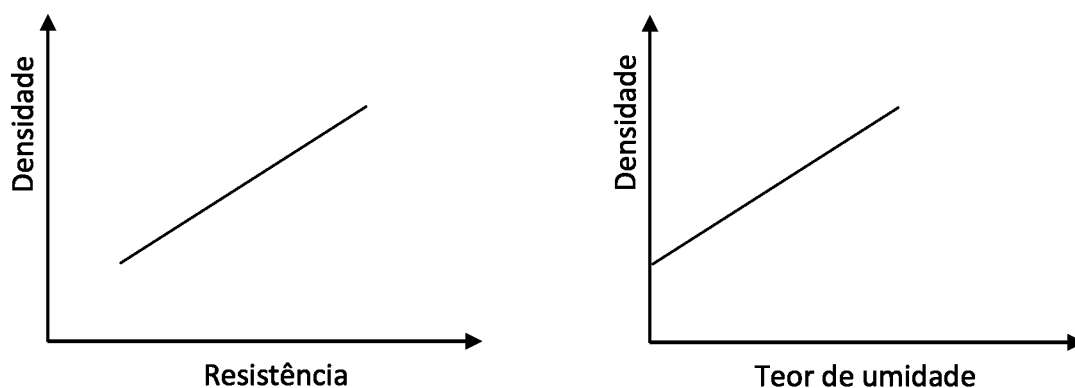
Espécies de madeira de densidade básica alta
 $D_b > 720 \text{ kg/m}^3$

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, mostram a variação numérica das diferentes densidades.

Espécie	Densidade (Seca em estufa) (Kg/m ³)	Densidade (Básica) (Kg/m ³)	Densidade (12%) (Kg/m ³)	Densidade (Verde saturada) (Kg/m ³)
Castanha-de-cutia - <i>Acioa edulis</i>	990	820	1040	1230
Cajuí - <i>Anacardium tenuifolium</i>	470	430	520	1130

A Figura 2.10 mostra a relação, praticamente linear, entre a densidade, resistência mecânica e teor de umidade.

Figura 2.10 - Gráficos esquemáticos: densidade com a resistência mecânica e densidade com o teor de umidade.



2.6.1 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, diz-se simplesmente madeira saturada. Como acima de 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).

$$D_v = \frac{m_v}{V_v} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ ou } \text{kg/m}^3) \quad (2.2)$$

2.6.2 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).

$$D_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ ou } \text{kg/m}^3) \quad (2.3)$$

2.6.3 Densidade básica

É a relação entre a massa (m_s) seca em estufa a 0 % de teor de umidade e o volume (v_v) verde (saturado). 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 podemos citar:

Muirapixuna - *Cassia scleroxylon*, com 1010 kg/m³
Fava-bolota/visqueiro - *Parkia gigantocarpa*, com 260 kg/m³ (2.4)

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

2.6.4 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 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, devido à variação que normalmente ocorrem em torno do teor de umidade desejado. É utilizada na avaliação do peso próprio de estruturas em viga laminada colada, em madeira maciça e comparação de espécies para usos específicos.

$$D_{ap} = \frac{m_{ap}}{V_{ap}} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ ou kg/m}^3) \quad (2.5)$$

A densidade aparente (D_{ap}) pode ser determinada através da densidade básica (D_b) e contração volumétrica, de acordo com as equações seguintes,

$$D_{ap} = \left(\frac{1 + \frac{U_i}{100}}{1 - \frac{CV_{U_i}}{100}} \right) D_b \quad \text{para } U_i < 30\% \quad (2.6)$$

$$D_{ap} = \left(1 + \frac{U_i}{100} \right) D_b \quad \text{para } U_i \geq 30\% \quad (2.7)$$

Onde:

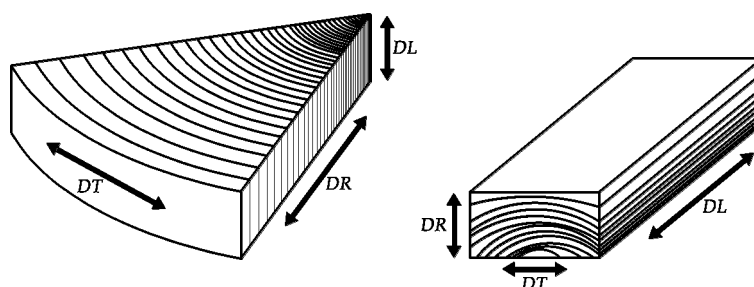
U_i é o teor de umidade desejado em porcentagem

CV_{U_i} é o valor da contração volumétrica da madeira saturada até o teor de umidade U_i .

2.7 Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional é a capacidade que a madeira possui de retrair ou expandir com a perda ou ganho de umidade. Esta característica é de grande importância na definição de usos finais, tais como portas, janelas, móveis, pisos, forros, escadas e no estabelecimento de programas de secagem adequados. Abaixo do ponto de saturação das fibras, a variação no teor de umidade, é acompanhada de alterações nas dimensões da peça de madeira, devido ao ganho ou perda da água de impregnação das paredes celulares. Estas alterações são medidas quantitativamente, segundo os três eixos principais: tangencial (*DTA*), radial (*DR*) e longitudinal (*DL*), conforme mostra a Figura 2.11 (Lisboa et al,1993)

Figura 2.11 - Direções principais



A contração tangencial é aproximadamente o dobro da radial

A estabilidade dimensional da madeira se aproxima de uma função linear em relação ao teor de umidade. A contração na direção tangencial é sempre maior do que na direção radial e na direção longitudinal é bastante pequena, ficando em torno de 0,5%. Madeiras mais estáveis possuem baixos valores de contração e relação entre contração tangencial e radial menor ou igual a dois.

O LPF estabeleceu as seguintes classes para contração volumétrica:

Espécies de madeira de baixa contração

$$C_v \leq 11,5\%$$

Espécies de madeira de média contração

$$11,5\% < C_v \leq 14,0\%$$

Espécies de madeira de alta contração

$$C_v > 14\%$$

A média geral e valores extremos, da estabilidade dimensional e da relação entre contração tangencial e radial de 259 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, são mostradas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Perda de dimensões com a secagem.

Contração	Mínima (%)	Média (%)	Máxima (%)
Tangencial	4,5 Faveira-tamboril <i>Enterolobium maximum</i>	8,5 Urucurana <i>Swartzia recurva</i>	13,0 Abiu-de-casca-fina <i>Priourella priourii</i>
Radial	2,2 Angelim-tinto <i>Andira sp.</i>	4,7 Melancieira <i>Alexa grandiflora</i>	9,1 Cedro <i>Cedrela odorata</i>
Volumétrica	6,6 Macacauba <i>Platymiscium sp.</i>	13,0 Envira-preta <i>Guatteria procera</i>	20,8 Cedro <i>Cedrela odorata</i>
Tangencial/ Radial	1,2 Ipê <i>Tabebuia serratifolia</i>	1,9 Freijó <i>Cordia bicolor</i>	3,2 Envira <i>Diclinanona calycina</i>

A contração tangencial, radial, longitudinal e volumétrica da madeira, é determinada entre o ponto de saturação das fibras e 0% de teor de umidade, através da equação (COPANT 462, 1972),

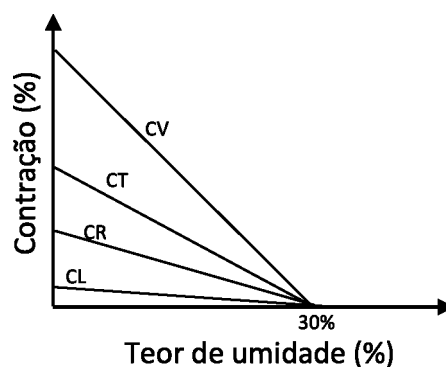
$$\text{Contração dimensional (\%)} = \frac{D_v - D_s}{D_s} \times 100$$

$$\text{Inchamento dimensional (\%)} = \frac{D_s - D_v}{D_v} \times 100$$

Onde D_v é o valor dimensional verde e D_s é o valor dimensional seco em estufa.

A relação entre a contração tangencial (CT), contração radial (CR), contração longitudinal (CL) e contração volumétrica (CV), com o teor de umidade é aproximadamente linear, conforme mostra o gráfico esquemático da Figura 2.12.

Figura 2.12 - Gráfico esquemático de contração com o teor de umidade.

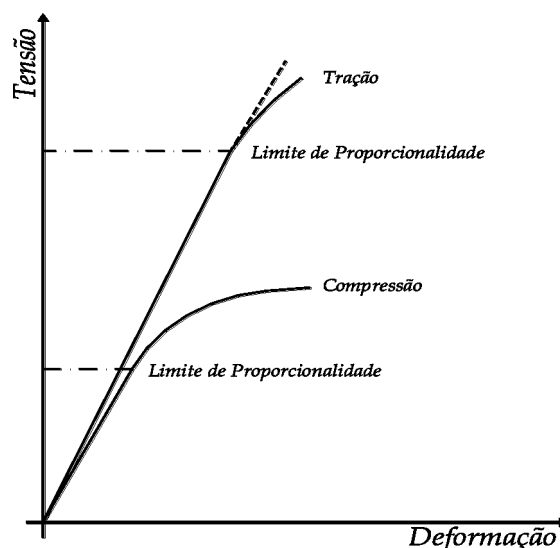


2.8 Propriedades Mecânicas da Madeira

Um material que possui as mesmas propriedades em qualquer direção é chamado de material isotrópico. Quando as propriedades variam de uma direção para outra é denominado de anisotrópico. Quando um material apresenta simetria em três direções e suas propriedades não variam numa mesma direção, porém variam de uma direção para outra, são chamados de ortotrópicos. A existência de três direções ortogonais bem definidas e simétricas na madeira, que são as direções, longitudinal, tangencial e radial, permite a concepção simplificada de considerar a madeira como um material ortotrópico para efeito de determinação de suas propriedades de resistência. Desta forma, seria necessário determinar estas propriedades para cada um dos três eixos principais. Porém, como as propriedades de resistência não variam significativamente em relação às direções tangenciais e radiais, as normas de caracterização recomendam que os ensaios sejam realizados na direção mais desfavorável, de forma que, para efeitos práticos de cálculo e dimensionamento de estruturas, basta que se verifique o esforço nas direções paralela e perpendicular às fibras. As propriedades de resistência da madeira estão diretamente relacionadas com a densidade. De forma geral, as madeiras mais densas são mais resistentes, porém podemos encontrar espécies de mesma densidade, onde algumas propriedades de resistência sejam maiores ou menores do que de outra espécie.

O gráfico, tensão x deformação, apresenta um trecho inicial praticamente reto ficando bem definido o limite de proporcionalidade (Figura 2.13). Neste trecho, a madeira se comporta como um material linearmente elástico, onde as deformações se tornam nulas, quando se retira a carga aplicada. A inclinação da curva mostra que o módulo de elasticidade a tração paralela às fibras é um pouco superior ao módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras.

Figura 2.13 - Gráfico esquemático da resistência à tração e compressão paralela às fibras.



2.9 Tipos de Ensaio

Os ensaios de caracterização em pequenos corpos-de-prova sem defeitos têm como objetivo determinar o potencial de usos das espécies de madeiras seja através de análise destas propriedades ou pela comparação com espécies já tradicionalmente utilizadas no mercado. O alto custo de caracterização de peças em tamanho estrutural fez com que a maioria das normas de dimensionamento de estruturas utilizasse os valores destes ensaios para determinar as tensões de cálculo de estruturas. As peças estruturais passam por um processo de classificação visual e/ou mecânico de resistência e a partir dos ensaios em pequenos corpos de prova sem defeitos, são determinadas as tensões de cálculo. O uso de pequenos corpos de prova sem defeitos permite eliminar a influência de defeitos tais como nós, rachaduras, inclinação das fibras, teor de umidade, etc. na caracterização de madeiras. Assim, as espécies de madeiras podem ser comparadas, sem a influência destas variáveis, que alteram significativamente as propriedades de resistência de forma aleatória, dificultando a análise das reais características físicas e mecânicas de uma determinada espécie de madeira. Os ensaios de caracterização descritos a seguir são realizados em corpo de prova com teor de umidade na condição verde e a 12%, metodologia de normas específicas, onde é definido o sistema de amostragem, a velocidade de carregamento, dimensão do corpo de prova, esquema estático e o número de corpos de prova em função da precisão desejada.

2.9.1 Tração paralela às fibras

Existem poucas informações disponíveis sobre a resistência à tração paralela às fibras (COPANT 742, 1975). O corpo de prova é de difícil execução, onde a direção das fibras tem grande influência na variabilidade dos resultados de ensaio, devido a redução da área na parte central do corpo de prova. Outro fator relevante é que nas estruturas correntes, normalmente são as conexões de extremidade que define a área necessária para resistir a esforços. Portanto, dificilmente a capacidade de carga na tração paralela às fibras é utilizada. Esta propriedade tem importância no dimensionamento de treliças e comparação entre espécies. A resistência a tração paralela às fibras é de 40% a 50% maior que a resistência na compressão paralela às fibras. Segundo Melo (2014), a resistência à tração paralela às fibras, de 250 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas

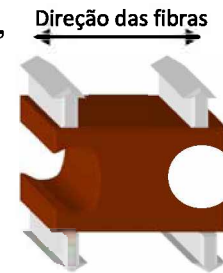


pelo LPF, varia de 18 MPa a 110 MPa (verde, saturada em água) e 23 MPa a 170 MPa (seca a 12% de teor de umidade).

2.9.2 Tração perpendicular às fibras

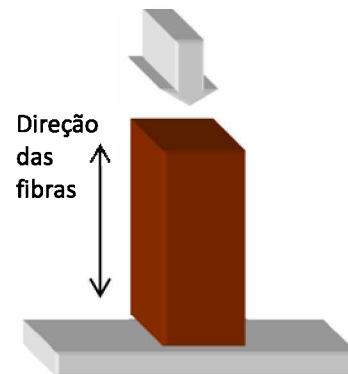
Na tração perpendicular às fibras, a madeira possui baixa resistência, apresentando um alto coeficiente de variação nos resultados de ensaios (COPANT 743, 1975). A resistência na direção radial é um pouco superior a resistência na direção tangencial, porém pode chegar a quase 40 vezes maior na tração paralela às fibras. É utilizada nas estruturas em arco.

Segundo Melo (2014), a resistência a tração perpendicular às fibras, de 250 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 1,5 MPa a 7,7 MPa (verde, saturada em água) e 1,4 MPa a 9,0 MPa (seca a 12% de teor de umidade).



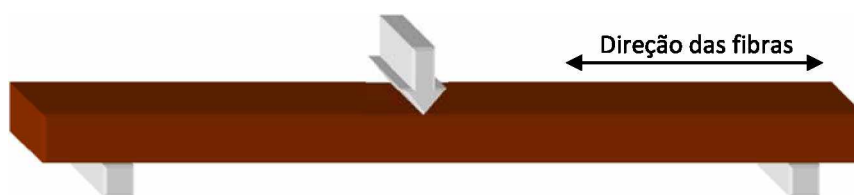
2.9.3 Compressão paralela às fibras

Normalmente o ensaio é realizado em corpo de prova de seção quadrada, cuja altura é de quatro vezes a largura da seção (peças curtas) determinando a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade (COPANT 464, 1972). Esta propriedade é usada para dimensionamento de pilares ou colunas, comparação entre espécies e ligações. O módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras é aproximadamente igual ao módulo de elasticidade na flexão, para madeiras tropicais, com teor de umidade acima do ponto de saturação as fibras. Segundo Melo (2014), a resistência a compressão paralela às fibras, de 250 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 13 MPa a 83 MPa (verde, saturada em água) e 16 MPa a 120 MPa (seca a 12% de teor de umidade).



2.9.4 Flexão estática

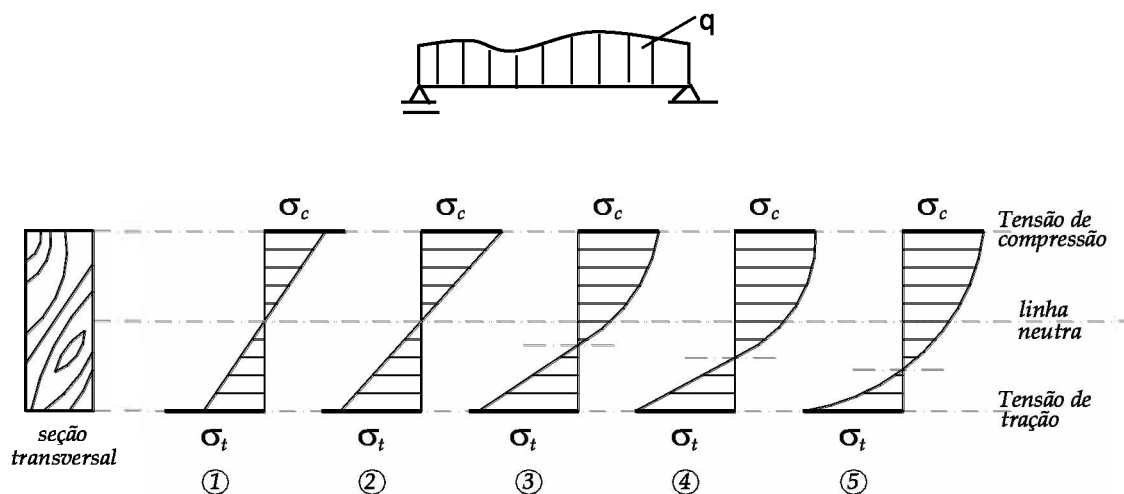
Normalmente o ensaio é realizado em corpo de prova de seção quadra, com esquema estático de viga isostática bi apoiada com carga concentrada central ou dois pontos de carga equidistantes dos apoios determinando a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade (COPANT 466, 1972).



A relação, vão livre/altura da peça fica em torno de 14 a 20. Estas propriedades são usadas para dimensionamento de peças fletidas, comparação entre espécies e arqueamento. Segundo Melo (2014) a resistência a flexão estática, de 250 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 27 MPa a 158 MPa (verde, saturada em água) e 31 MPa a 192 MPa (seca a 12% de teor de umidade).

Dentro do regime elástico, a peça fletida é solicitada por tensões de compressão paralela às fibras (f_c) acima da linha neutra, tração paralela às fibras (f_t) abaixo da linha neutra e cisalhamento paralelo às fibras. Como a madeira é mais resistente a tração do que a compressão, a ruptura se dará em primeiro lugar na região de compressão e posteriormente a na região de tração (paralela às fibras), conforme mostra o gráfico esquemático da Figura 2.14.

Figura 2.14 - Gráficos das tensões internas em peças fletidas.



Para incrementos de carga ocorrem as seguintes situações de comportamento, quanto às solicitações internas:

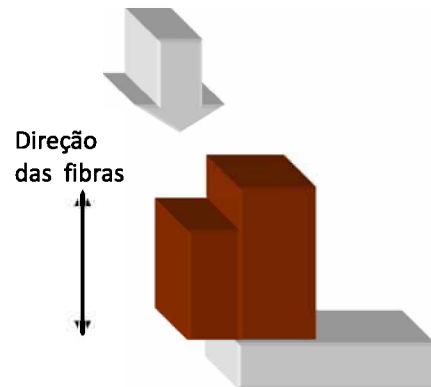
- Gráfico (1) - tensões resistentes menores que as tensões de compressão e tração paralela às fibras (dentro do regime elástico);
- Gráfico (2) - tensões de compressão paralela às fibras no limite de elasticidade;
- Gráfico (3) - plastificação das fibras superiores (compressão paralela às fibras);
- Gráfico (4) - tensões de tração paralela às fibras no limite de elasticidade;
- Gráfico (5) - plastificação das fibras inferiores (tração paralela às fibras).

2.9.5 Compressão perpendicular às fibras

Como o esforço é perpendicular ao eixo das fibras, o que ocorre é a compactação das fibras (eliminação dos vazios) e conseqüentemente o aumento da capacidade de carga da peça de madeira. Sob a ação de cargas pontuais (parafusos, por exemplo), a resistência da madeira aumenta devido à alta resistência das fibras na tração. A resistência máxima é caracterizada pela capacidade de carga no limite proporcional (COPANT 466, 1972). A tensão no limite proporcional na compressão perpendicular às fibras é de aproximadamente cinco vezes menor que a tensão de ruptura na compressão paralela às fibras, para madeiras tropicais, com teor de umidade acima do ponto de saturação as fibras. Esta propriedade é usada no dimensionamento do apoio de vigas, em treliças, dormentes e comparação entre espécies. Segundo Melo (2014), a resistência a compressão perpendicular às fibras, de 259 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 1,4 MPa a 23,5 MPa (verde, saturada em água) e 1,9 MPa a 27,5 MPa (seca a 12% de teor de umidade).

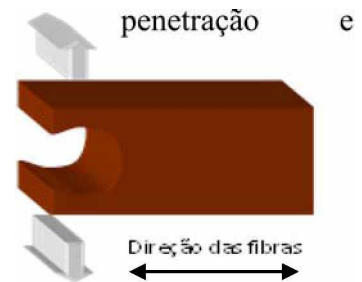
2.9.6 Cisalhamento paralelo às fibras

Considerando as três direções principais na madeira, temos o cisalhamento paralelo às fibras que ocorre no plano radial ou tangencial, perpendicular às fibras que ocorre no plano radial ou tangencial (COPANT 463, 1973) e perpendicular às fibras no plano de corte das fibras. Normalmente não se considera o cisalhamento perpendicular às fibras no plano de corte, devido à alta resistência de corte das fibras, cujo esforço necessário, com certeza já terá causado a ruptura por outro tipo de sollicitação, como por exemplo, na compressão perpendicular ou flexão. Apesar de que algumas normas recomendam que os ensaios de cisalhamento paralelo às fibras sejam feitos com 50% dos corpos de prova no plano tangencial e 50% no plano radial, a variação da resistência não é significativa em termos de utilização estrutural. Esta propriedade tem importância no dimensionamento de vigas, ligações e comparação entre espécies. Segundo Melo (2014), a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, de 259 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 3,0 MPa a 17,2 MPa (verde, saturada em água) e 3,8 MPa a 198,8 MPa (seca a 12% de teor de umidade).



2.9.7 Fendilhamento

Mede a resistência de a madeira rachar no sentido longitudinal (COPANT 741, 1975). Tem importância nos entalhes de apoio de vigas e rachaduras com a extração de pregos. Segundo Melo (2014), a resistência ao fendilhamento, de 259 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 200 N/cm a 980 N/cm (verde, saturada em água) e 230 N/cm a 1030 N/cm (seca a 12% de teor de umidade).



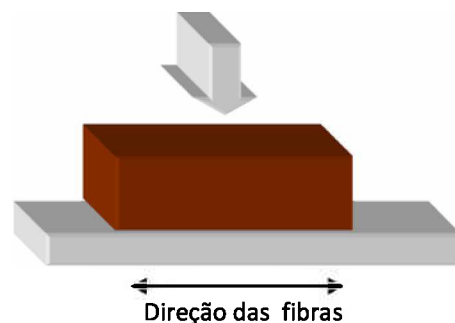
2.9.8 Resistência ao impacto

Existem dois tipos de ensaios de determinação da resistência ao impacto na madeira. A flexão dinâmica que se caracteriza pela aplicação de cargas rápidas e sucessivas e a tenacidade (COPANT 556, 1973), que utiliza o princípio básico do pêndulo. O ensaio de tenacidade fornece dados mais confiáveis. Sabe-se que o comportamento da madeira sob impacto é diferente quando comparado com o carregamento estático. O estudo do comportamento dinâmico da madeira tem aplicação em aeronaves, máquinas, equipamentos esportivos, dormentes, embalagens, escadas, carrocerias em geral e cabos de ferramentas.

2.9.9 Dureza

Consiste na penetração de uma semiesfera, nas direções paralelas e perpendiculares às fibras (COPANT 465, 1972). Esta propriedade possui uma boa correlação com as outras propriedades de resistência da madeira e é utilizada na comparação de propriedades entre espécies.

A resistência a dureza, de 250 espécies de madeira da Amazônia, caracterizadas pelo LPF, varia de 1240 N a 13620 N, com carga nos extremos e de 860 N a 14050 N, com carga nas faces - (verde, saturada em água) e de 2120 a 18000 N, com carga nos extremos e de 1120 N a 19000 N, com carga nas faces - (seca a 12% de teor de umidade).



2.10 Fatores que afetam a resistência da madeira

Vários fatores podem afetar a resistência da madeira, Wangaard (1981), cita os seguintes aspectos que afetam a resistência da madeira.

2.10.1 Variabilidade natural do material

Sendo de origem botânica, é de se esperar que a madeira apresente diferenças em relação as 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 2.2 mostra o coeficiente de variação médio de algumas propriedades da madeira, na condição verde (saturado em água) e seca (12% de teor de umidade). Estes valores foram obtidos em ensaios normalizados com corpo de prova sem defeitos de 259 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 2.2 - Coeficiente de variação médio de espécies da Amazônia verde e seco (umidade a 12%).

Propriedade	Número de corpos de prova	Número de espécies	Coeficiente de variação (%)	
			Verde	Seco
Módulo de elasticidade - Flexão	2046	251	13	11
Tensão de ruptura - Flexão estática	2046	251	14	16
Tensão de ruptura - Compressão paralela às fibras	2022	245	14	13
Tensão no limite proporcional - Compressão perpendicular às fibras	1651	241	23	17
Tensão de ruptura - Cisalhamento paralela às fibras	1992	248	15	17
Tensão de ruptura - Tração perpendicular às fibras	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	1537	169	9	
Densidade verde	1537	118	4	
Densidade aparente (umidade de 12%)	400	44	8	
Total Geral de Corpos de Prova – Programa de Ensaio LPF	20682	-	-	-

2.11 Teor de umidade

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, devido à 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, comportamento na secagem, eficiência nos processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, acabamento e produtos derivados, tornando essencial a sua secagem até a umidade de equilíbrio regional para uma utilização racional e econômica.

2.11.1 Defeitos Naturais

Os ensaios em pequenos corpos de prova isentos de defeitos não refletem a realidade do comportamento 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, 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.

2.11.2 Grã

O termo grã é usado para descrever a direção longitudinal dos elementos anatômicos estruturais da madeira. A grã inclinada afeta consideravelmente o comportamento estrutural de peças de madeira. Espécies com grã reta apresentam menor variabilidade nas suas propriedades de resistência, maior qualidade no processamento primário e secundário e maior estabilidade dimensional, sendo as mais indicadas para uso estrutural. Madeiras com grã reta racham com maior facilidade do que aquelas com grã entrecruzada, devido ao paralelismo de seus elementos anatômicos. Desta forma, 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.

2.11.3 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. A influência do nó na tração é maior que na compressão, devido à descontinuidade e desvio da inclinação das fibras em relação às fibras do tronco. As normas de classificação visuais fornecem as dimensões e localizações dos nós considerados aceitáveis em peças estruturais.

2.11.4 Secagem

A secagem da madeira em estufa, se não for bem conduzida pode levar ao aparecimento de defeitos tais como empenamento, arqueamento, torcimento, acanoamento e colapso que influenciam na sua resistência e na sua qualidade. Conforme será visto posteriormente, estes defeitos podem ser minimizados, utilizando programas de secagem adequados.

2.11.5 Influência do tempo de carregamento

Normalmente os ensaios de caracterização 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, é denominado fluência da madeira. Devido às características visco elásticas da madeira estas deformações podem crescer durante vários anos até 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.

2.11.6 Biodeterioração

A degradação na madeira é causada principalmente por fungos, insetos, fatores físicos e químicos e desgaste 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.

2.11.7 Temperatura

A influência da temperatura nas propriedades de resistência da madeira é mais significativa, quando 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 à variação de temperatura do que a madeira verde.

2.12 Sobre Secagem e Preservação da Madeira

A utilização da madeira de forma racional e econômica requer também o conhecimento de todo o processo de secagem (MADSEN, 1992), as propriedades que estão relacionadas com a durabilidade natural e os métodos de tratamento com soluções preservativas, associando a eficiência de cada método com as condições de exposição. O ideal seria que, em todas as aplicações, se utilizasse madeira com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente, considerando o ganho com maior estabilidade dimensional e ausência de defeitos oriundos de uma secagem aleatória e sem controle, que fatalmente vão ocorrer. Porém, é comum o uso de madeira em condição verde, nas estruturas, por exemplo, face ao custo e tempo de secagem, que normalmente são inviabilizados pela falta de previsão e conhecimento de sua importância. Tradicionalmente, o uso de espécies de madeira em ambiente agressivo é feito através de experiências práticas ao longo dos anos, onde foram identificadas aquelas que possuíam maior durabilidade natural. Atualmente, com o conhecimento de técnicas modernas de preservação, o estigma de material pouco durável vai caindo gradativamente em descrédito, cedendo lugar para um material altamente competitivo na construção civil (MELO, 2014).

2.12.1 Secagem da madeira

No capítulo de materiais foi feita uma descrição do processo de condução e da constituição de água na madeira. O teor de umidade presente na madeira tem grande influência nas propriedades físicas e mecânicas, comportamento na secagem, eficiência em alguns processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, colagem, acabamento e produtos derivados, tornando esta característica, uma das mais importantes no estudo do comportamento da madeira. O custo relativamente alto e a falta de conhecimento da importância de se secar a madeira até o teor de umidade de equilíbrio regional, faz com que a madeira seca encontrada no mercado fique limitada a determinados usos, em que esta condição é indispensável na obtenção de produtos de qualidade. São os casos de uso tais como tábua corrida (assoalho), lambri, forro, portas, janelas. Mesmo assim, é importante conferir se o produto está com o teor de umidade desejado. Isso somente pode ser feito com segurança, através de ensaios com amostras em laboratório, ou uso direto de medidores elétricos. É interessante observar que muitas vezes a madeira verde é transportada em grandes distâncias para serem secadas no destino final. No caso de madeira de baixa densidade, em que o volume de água é bastante significativo, este aspecto é bastante contraditório, considerando que se paga um alto custo para transportar esta água e, posteriormente, paga-se novamente para retirá-la, utilizando uma estufa, por exemplo.

Retirar a água da madeira requer o conhecimento de técnicas específicas, que tem como objetivo evitar o aparecimento de defeitos, que possam diminuir seu valor comercial, levando em conta a rapidez e economia no processo de secagem. Trabalhar com a madeira na umidade de equilíbrio do ambiente resulta em produtos de qualidade, maior aproveitamento (menor ocorrência de defeitos), maior estabilidade dimensional, menor custo de transporte, aumento da resistência mecânica e isolamento térmico, acústico e elétrico. Além disso, impedem a ação de fungos apodrecedores, aceita melhor o tratamento preservativo, a cola e pinturas de forma geral. O teor de umidade de equilíbrio da madeira depende da umidade relativa do ar e da temperatura. Como estes dois parâmetros variam bastante de uma região para outra e, ao longo do ano, numa mesma região, é comum estabelecer como umidade de equilíbrio da madeira, o valor médio anual regional. Como exemplo, a madeira com um teor de umidade qualquer, colocada num ambiente cuja temperatura é de 21°C e umidade relativa do ar de 65%, tende a perder ou ganhar umidade até estabilizar-se numa umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%. A Tabela 2.3 mostra a variação do teor de umidade de equilíbrio médio mensal e a média anual, para algumas cidades brasileiras, segundo (GALVÃO, *s.d.*), (MELO, 2014).

Tabela 2.3 - Média mensal e anual do teor de umidade de equilíbrio da madeira

Cidade	Média Mensal												Média Anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Belém	19,9	21,0	21,0	20,4	18,8	17,5	17,0	17,0	17,5	17,0	16,6	17,9	18,5
Belo Horizonte	14,6	14,1	14,6	14,2	14,0	13,7	12,4	11,2	11,5	12,8	14,1	16,1	13,6
Curitiba	16,9	17,6	17,7	17,8	14,4	17,3	16,3	15,7	16,3	17,0	16,2	16,5	16,6
Fortaleza	14,9	15,8	16,6	16,6	15,9	15,2	14,3	13,6	13,9	13,6	13,9	14,3	14,9
Goiânia	16,4	16,8	16,8	15,3	13,7	12,7	11,4	9,6	9,8	12,5	15,2	16,8	13,9
Manaus	19,3	19,3	19,3	19,3	18,3	17,0	15,9	14,9	15,2	15,5	16,6	17,9	17,4
Porto Alegre	12,9	14,0	14,3	15,4	16,6	17,4	16,6	15,6	15,2	14,4	13,1	12,5	14,8
Rio de Janeiro	15,2	15,2	15,5	15,6	15,7	15,3	15,0	14,7	15,3	15,3	15,6	15,6	15,3
Salvador	15,5	15,2	15,9	16,7	16,7	16,4	16,0	15,6	16,0	16,0	16,0	15,9	16,0
São Paulo	16,8	16,8	16,1	16,5	15,8	15,6	15,3	13,9	14,2	17,0	15,7	16,9	15,9

O processo de secagem ocorre quando a madeira está com um teor de umidade acima da umidade de equilíbrio local. Inicialmente ela perde a água que se encontra dentro dos vazios celulares (água livre) e posteriormente a água das paredes das células (água de impregnação), por capilaridade. A água livre não causa alterações nas suas propriedades físicas e mecânicas. Quando se perde toda a água livre, o teor de umidade resultante é conhecido como ponto de saturação das fibras. O ponto de saturação das fibras varia de 25% a 35%, dependendo da espécie de madeira. Posteriormente, a madeira começa a perder a água de impregnação, até atingir 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. 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 em 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.

A secagem da madeira depende da temperatura, ventilação e umidade relativa do ar. A temperatura faz com que a água se transforme em vapor, a ventilação se encarrega de transportar este vapor e a umidade relativa vai acelerar ou retardar o processo da secagem. O tempo de secagem depende basicamente da espécie de madeira e espessura das peças. Normalmente, a secagem é mais rápida para espécies de baixa densidade e para o alburno, por ser mais

permeável que o cerne. Em relação à orientação de corte, o fluxo de umidade no sentido longitudinal é maior do que no sentido transversal e maior na direção radial do que na direção tangencial. Quanto à espessura, o tempo de secagem não segue uma função linear. Por exemplo, dobrando a espessura, o tempo de secagem pode ficar até quatro vezes maior. Os processos mais comuns de secagem são a secagem natural, ou secagem ao ar livre, e a secagem artificial (MADSEN, 1992).

2.12.2 Secagem natural

A secagem natural consiste no empilhamento da madeira (gaiola), utilizando-se sarrafos de madeira seca como separadores, em área coberta e aberta nos lados, para que o vento, a temperatura e umidade do ar ambiente se encarreguem de secá-la até atingir a umidade de equilíbrio da região. A função dos separadores e espaçamentos entre as peças é permitir que a circulação do ar retirasse a umidade da madeira. O tempo de secagem e o teor de umidade final dependem da altura dos separadores, do tamanho, arranjo e da posição da pilha em relação aos ventos dominantes, da espécie de madeira, da espessura das peças e das condições climáticas. As principais desvantagens deste processo são o tempo relativamente longo para se secar a madeira e o teor de umidade final, que fica condicionado às condições climáticas da região. Outra forma de secagem natural é o empilhamento tipo tesoura. As peças são colocadas inclinadas e alternadas num apoio horizontal superior. Neste processo, a secagem é mais rápida que no empilhamento horizontal, porém a parte superior seca mais rapidamente que a inferior e, com a ausência de travamentos intermediários, pode surgir empenamentos, rachaduras e torceduras. A Figura 2.15 mostra esses dois tipos de empilhamentos para secagem.

Figura 2.15 - Empilhamento horizontal e tipo tesoura em processo de secagem natural de madeira.
http://www.ibama.gov.br/images/Recursos_Florestais, <http://www.madeireirafalsarella.com.br/>



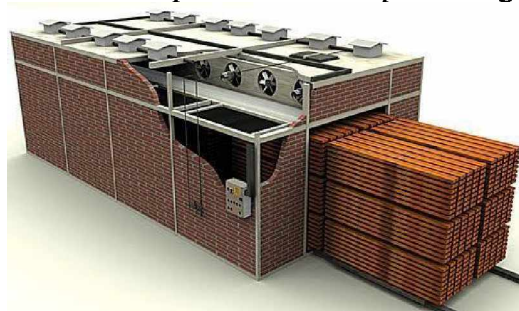
2.12.3 Secagem artificial

Apesar de ter um custo mais elevado, a secagem artificial permite reduzir significativamente o tempo de secagem, ter um maior controle dos defeitos de secagem e atingir os teores de umidade desejados. O secador consta basicamente, de uma câmara fechada, que pode ser uma edificação em alvenaria, com dispositivos para fornecer calor, umidade e ventilação. O aquecimento do ar no interior do secador é feito através de serpentinas com vapor gerado em caldeiras, queima de carvão, resíduos de serrarias ou eletricidade. A umidificação é feita através da injeção de vapor de água a baixa pressão e a circulação do ar através de ventiladores. De forma simplificada, a ventilação tem a função de distribuir uniformemente a temperatura entre as peças de madeira empilhada e a umidificação tem a função de controlar a perda excessiva de água na superfície, para evitar rachaduras superficiais, sendo um fator extremamente importante no controle de velocidade da secagem.

Os programas de secagem contêm informações de quando e como estas variáveis devem ser alteradas no secador. Seu objetivo é secar em menor tempo e com um mínimo de defeitos nas peças de madeira. Eles são elaborados em ensaios de laboratórios, utilizando-se pequenos secadores. Assim, o programa de secagem pode apresentar variações significativas de uma espécie para outra. Diz-se que uma espécie é difícil de secar quando o processo é lento e com possibilidades de surgir defeitos que possam causar prejuízos significativos. Os principais defeitos de secagem que podem ocorrer na madeira são empenamentos (acanoamento, arqueamento, encurvamento, torcimento) e rachaduras. Alguns cuidados podem ser tomados para prevenir os defeitos de secagem. Os empenos podem ser reduzidos utilizando-se técnicas adequadas de desdobro, empilhamento com separadores de dimensões uniformes e controle na velocidade de remoção de água nos procedimentos de secagem. As rachaduras de topo podem ser minimizadas, impermeabilizando-as com tinta a óleo, verniz, resinas ou cera. A Figura 2.16 mostra o esquema de uma secadora de secagem artificial rápida.

Figura 2.16 - Exemplo de uma secadora.

<http://www.nei.com.br/busca/produtos/estufas+para+secagem+de+madeira/>



2.13 Preservação de madeira

A deterioração da madeira por organismos vivos, denominados xilófagos tem início com o abate da árvore. Em função disso, cuidados especiais devem ser tomados em todo o processo que vai desde à época de abate, transporte, condições de armazenamento das toras, até o desdobro primário e secagem. É responsabilidade do usuário, dar continuidade a esse processo de conservação e preservação, procurando adequar a diversidade de aplicações com técnicas construtivas apropriadas e escolha de espécies de madeira que apresentem propriedades naturais coerentes com os usos finais propostos.

Durabilidade natural é a resistência da madeira ao ataque de agentes biológicos (fungos e insetos) e não biológicos (desgaste mecânico e degradação física e química). A maioria de dados sobre durabilidade natural existente se baseia em observações práticas empíricas obtidas ao longo dos anos. Os ensaios de durabilidade natural são realizados em locais e áreas predefinidas, onde estacas de espécies de madeira com dimensões normalizadas são fincadas no solo e, anualmente são retiradas para avaliação do seu estado de decomposição. São ensaios de difícil execução, considerando a sua longevidade e, conseqüentemente, a continuidade das avaliações que devem ser realizadas segundo critérios metodológicos de avaliação. Geralmente, as espécies de madeiras de maior densidade são mais duráveis na sua forma natural. Espécies de madeira de mesma densidade podem ter durabilidade diferente. É muito importante em termos de economia e durabilidade, que cada espécie seja avaliada individualmente, para que seu emprego seja feito de forma eficaz, considerando as condições de exposição definidas em projeto, tais como, lançamento da estrutura, detalhes construtivos e manutenção. As técnicas modernas de preservação de madeiras possibilitaram o aumento de sua durabilidade, eliminando sua maior desvantagem como material pouco durável, proporcionando-lhe características semelhantes, ou melhores do que outro material tradicionalmente utilizado na construção (MELO & CAMARGOS, 2016).

2.14 Degradação da madeira

A degradação na madeira é causada principalmente por fungos, insetos, fatores físicos e químicos e desgaste 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.

2.14.1 Desgaste mecânico

Conhecido também como abrasão, o desgaste mecânico ocorre por solicitações e movimentos intensivos sobre a madeira como nos pisos industriais, dormentes, escadas, pontes e carrocerias.

2.14.2 Degradação química

As reações de substâncias constituintes da madeira com ácidos, óxido de ferro, sais de sódio, pode decompor a madeira, diminuindo suas propriedades físicas e mecânicas. A situação mais comum em estruturas ocorre nas ligações com elementos metálicos, principalmente na presença de umidade.

2.14.3 Degradação biológica

A presença de substâncias nutritivas na madeira fornece as condições favoráveis de desenvolvimento e multiplicação de certos organismos vivos. Os fungos e insetos são os maiores responsáveis pela deterioração da madeira, causando grandes prejuízos que vão desde o corte da árvore até sua utilização final. Sua vulnerabilidade ao ataque destes organismos depende da espécie de madeira e da sua densidade, quantidade de alburno, substâncias nutritivas (açúcares e amido), substâncias tóxicas (taninos, resinas e gomas) e teor de umidade. A presença de substâncias tóxicas no cerne torna esta parte do tronco mais durável do que o alburno (MELO & CAMARGOS, 2016).

2.14.4 Fungos

Os fungos são microrganismos parasitários que decompõem a celulose e a lignina em produtos digeríveis, criando as condições ideais para o seu desenvolvimento. Em condições ambientais adequadas, os fungos causam o apodrecimento da madeira, afetando significativamente suas propriedades físicas e mecânicas. A ação dos fungos resulta em perda de densidade, alteração da cor, podendo ocorrer ruptura estrutural com a diminuição da resistência. Os fungos degradadores precisam de condições ambientais favoráveis para colonizar a madeiras: temperatura, ar, umidade, PH e inexistência de substâncias tóxicas. A ausência de uma destas condições ambientais vai inibir seu desenvolvimento e proliferação (MELO & CAMARGOS, 2016). A maioria dos fungos se desenvolve com temperaturas entre 22°C e 30°C, ficando inativos fora deste intervalo.

- Os fungos apodrecedores não se desenvolvem na ausência de ar;
- Os fungos como todos os seres vivos precisam de água para sobreviver. O teor de umidade ideal para seu desenvolvimento é próximo ou acima do ponto de saturação das fibras, quando os vazios estão com água livre e as paredes celulares saturadas;
- Alimentam-se principalmente da celulose e da lignina e de substâncias nutritivas tais como amido e açúcares, armazenados em algumas células;
- O PH ótimo na madeira, para o desenvolvimento de fungos é com acidez de 4.5 a 5.5, que coincidentemente é o PH normal das espécies de madeira.

2.14.5 Insetos

Os insetos que mais comumente são encontrados deteriorando a madeira em geral nas edificações, são os cupins de solo e cupins de madeira seca. Os cupins são pequenos insetos sociais que vivem em colônias bem organizadas, de forma semelhante às abelhas. Os cupins mais comuns que consomem madeira são (MELO & CAMARGOS, 2016):

- Cupins de solo - Tem seus ninhos localizados no solo, devido a suas necessidades de água e umidade. Por serem sensíveis à luz busca seu alimento através de túneis subterrâneos ou externos. Atacam madeira em contato com o solo e madeiras com baixo teor de umidade. Sua presença é detectada pela presença de túneis em paredes ou pisos.
- A Figura 2.17 mostra os túneis e cupins de solo (MELO, 2014).
- Cupins de madeira seca ou Carunchos - As colônias se instalam diretamente na madeira, onde se desenvolvem sem qualquer ligação com o solo. Necessitam de pouca água e resistem bem a mudanças de temperaturas e umidade. Sua presença é detectada por causa do acúmulo de fezes, que são eliminadas do foco de atuação na peça de madeira. As fezes têm aparência de serragem. Galerias e fezes de cupins de madeira seca são mostradas na Figura 2.18 (MELO, 2014)

Figura 2.17 - Túneis e cupins de solo. (MELO,2014)



Figura 2.18 - Galerias e fezes de cupins de madeira seca. (MELO,2014)



2.15 Métodos de preservação da madeira

Um dos principais fatores que torna a madeira um material pouco competitivo na construção é a possibilidade de ocorrer deterioração em prazos relativamente curtos. A tendência natural é sempre utilizar as espécies de madeira com alta durabilidade natural, aumentando assim a pressão na exploração de um número seletivo de espécies que atendam a essa demanda. O conhecimento e aplicação de técnicas de prevenção e de preservação com produtos químicos, em função das condições específicas de usos, contribuem para a diversificação de espécies de madeira no mercado.

2.15.1 Prevenção natural

O uso de espécies de madeiras adequadas para as diferentes condições de exposição diminui sensivelmente os riscos de deterioração por fungos e insetos, tornando muitas vezes dispensável o uso de preservativos químicos. A seguir serão descritos alguns cuidados que devem ser tomados, como forma preventiva para aumentar a durabilidade da madeira em serviço:

- Sempre que possível, evitar a presença de muita umidade próxima às peças de madeira;
- O apoio de pilares deve ficar pelo menos 15 cm acima do piso;
- Os blocos de concreto, com pilares embutidos, não devem apresentar fissuras ou trincas e possuir um sistema de drenagem na sua parte inferior, sempre que for possível, para evitar o armazenamento de água;
- Utilizar tintas ou produtos impermeabilizantes na madeira;
- Verificar a qualidade da madeira, evitando a presença de alburno, rachaduras e sinais de ataque de fungos e insetos;
- Beirais grandes para proteção de chuva e sol;
- Manter um espaço entre o forro e a telha para ventilação ou colocar uma manta impermeabilizadora;
- Utilizar espécies de madeira que apresente a durabilidade natural necessária para o uso em questão;
- Exigir do projetista um sistema construtivo que permita substituição de peças, que elimine a possibilidade de acúmulo de água e que permita a maior ventilação possível;
- O uso de peças de madeira com seção transversal acima das necessidades de cálculo, nos ambientes agressivos, tende a elevar a sua vida útil.

2.15.2 Tratamento com preservativos

Tratamento da madeira com substâncias químicas (tóxicas) tem como objetivo envenenar seus nutrientes para inibir o desenvolvimento de fungos e insetos. Em função da metodologia utilizada, os vários métodos de tratamento da madeira com preservativos existentes apresentam eficiência variável. A escolha do método a ser empregado depende basicamente de aspectos econômicos e das condições de exposição. Qualquer que seja o método de tratamento da madeira, desde que utilizado de forma adequada, tende a aumentar significativamente a vida útil da peça de madeira.

Os preservativos para madeira (fungicidas e inseticidas) são classificados em óleo solúveis e hidrossolúveis (solúveis em água). O creosoto (derivado da destilação de alcatrão de hulha) é o

preservativo óleo solúvel mais comumente utilizado. Como é oleoso, é repelente à água, não aceita pintura, apresenta tonalidade escura e normalmente é empregado em ambiente aberto e ventilado (postes de eletrificação, dormentes, moirões de cerca), devido ao cheiro característico desagradável. O CCA (cobre, cromo e arsênio) e o CCB (cobre, cromo e boro) são os preservativos hidrossolúveis mais comumente utilizados. Como são solúveis em água, aceitam pintura e apresentam tonalidade superficial esverdeada, que pode ser eliminada no lixamento. Os tratamentos da madeira com produtos óleo solúveis são considerados mais eficientes em termos de durabilidade. Para tratamento com produtos óleo solúveis é necessário que a madeira esteja seca. Para os produtos hidrossolúveis, é recomendado que as peças de madeira sejam tratadas após seis meses do abate da árvore (MELO & CAMARGOS, 2016).

Os métodos de tratamento de madeira mais comuns são: tratamento com pressão, substituição de seiva, banho quente-frio, imersão e aspersão ou pincelamento. A impregnação de produtos preservativos com pressão é sem dúvida o mais eficiente. Existem usinas em várias regiões do país, que utilizam espécies de madeira de eucaliptos, na forma roliça, como principal matéria prima de tratamento. Será feita uma descrição sucinta de cada método na ordem decrescente de eficiência no tratamento preservativo da madeira. A escolha do método que atenda às necessidades de utilização está condicionada a condição de exposição, a aspectos econômicos, a durabilidade natural da espécie de madeira e ao acabamento. Assim, por exemplo, nas estruturas de coberturas convencionais, onde normalmente se utilizam espécies de madeira de alta densidade, o tratamento preservativo é dispensável, porque as condições de exposição não são agressivas e espécies de madeiras densas possuem a durabilidade natural necessária. Para os pilares, quando fixados em blocos de concreto, ou diretamente no solo, é necessário que a madeira seja tratada de forma adequada. Outro aspecto importante a ser observado no momento da escolha do método de tratamento é o grau de facilidade na retirada e reposição da peça de madeira. Sob todos os aspectos trocar uma estaca de cerca é muito mais fácil do que trocar um pilar de um galpão, por exemplo.

Outra característica importante da espécie de madeira em relação ao tratamento com produtos preservativos é sua permeabilidade. A permeabilidade é a aptidão da madeira em deixar que o preservativo penetre o mais profundamente possível. Desta forma, o tipo de produto e a forma de aplicação, influenciam na eficiência do tratamento, que é medido pela retenção e penetração do preservativo na madeira.

O teor de umidade tem muita importância no método de tratamento a ser utilizado. Como exemplo, o tratamento com pressão requer teores de umidade abaixo de 30% e pelo processo de substituição de seiva a madeira deve estar com elevado teor de umidade. Dos métodos

descritos de forma resumida, a seguir, somente madeira tratada com pressão está disponível no mercado.

2.15.3 Tratamento da madeira com pressão

Na preservação com pressão, o produto de impregnação penetra praticamente em todo o alburno, ou brancal da madeira, fixando-se nas suas paredes celulares. Ele permite o controle da absorção na madeira tratada, através de medidas numéricas da retenção e penetração do preservativo. O processo dura em torno de quatro horas e o produto está pronto para utilização, assim que sai da autoclave. O tratamento consiste basicamente na colocação da madeira num cilindro de aço (autoclave), é hermeticamente fechado. Com um vácuo inicial, a autoclave é preenchida com a solução preservativa e aplica-se pressão por um período que depende da espécie e penetração desejada. Em seguida, é liberada a pressão, a solução restante é retirada da autoclave e com um vácuo final é retirado o excesso do produto da superfície da madeira. É o método mais eficiente e indicado para condições de exposição agressivas, tais como poste, pilares, estacas, pergolados e estruturas de forma geral. A vida útil do produto está condicionada à aplicação do preservativo de acordo com as recomendações do fabricante e com as peças de madeira com teor de umidade especificado. A garantia de durabilidade dada pelas empresas pode variar de 15 a 20 anos. A qualidade do tratamento pode ser verificada enviando amostras do produto final para institutos de pesquisas, com o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) em São Paulo. Existe no mercado autoclaves que preservam peças com até 25 m de comprimento. A Figura 2.19 mostra uma autoclave de preservação de madeira.

Figura 2.19 - Autoclave de preservação de madeira com pressão.

<http://www.montana.com.br/Produtos/Consumidores/Saiba-mais-sobre-Madeira-Tratada-Industrialmente/Madeira-Osmopressurizada>



2.15.4 Substituição da seiva

O tratamento tem início com a árvore recém-abatida (no máximo 24 horas). As peças roliças devem ser descascadas e colocadas verticalmente com a base submersa em um tambor contendo a solução preservativa. A saída da água por capilaridade deixa o lugar para a solução de preservativo hidrossolúvel. O processo tem duração de 3 a 4 dias sendo mais utilizado em instalações rurais, devido a sua simplicidade e baixo custo de implantação. A utilização deste método está condicionada ao tempo de abate da árvore, porém resulta em produtos mais duráveis. A Figura 2.20 mostra estacas sendo preservadas por substituição de seiva.

Figura 2.20 - Preservação de estacas por substituição de seiva.

http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Fonte:TML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/Tecnologia_Madeira.html



2.15.5 Banho quente-frio

O banho quente-frio consiste em colocar a madeira, com teor de umidade abaixo de 25%, em tanque com o preservativo quente por aproximadamente duas horas e, em seguida, transferida para um tanque com o preservativo na temperatura ambiente por mais quatro horas. O choque térmico causa uma contração no ar e conseqüentemente uma maior penetração do preservativo na madeira. Este processo é também mais indicado para instalações rurais, devido a sua simplicidade e baixo custo de implantação. São mais utilizados preservativos óleo solúveis.

2.15.6 Tratamento por imersão

Consiste na imersão das peças de madeira com teor de umidade abaixo de 25%, por alguns minutos, em tanques contendo soluções preservativas. É indicado para situações de usos em áreas protegida de chuvas, como telhados, tratamento de tábuas após o desdobro e espécies de baixa durabilidade natural.

2.15.7 Pincelamento e aspersão

Por ser um tratamento muito superficial é considerado o menos eficiente. É indicado para situações de usos em áreas protegida de chuvas, como telhados, tratamento de tábuas após o desdobro e espécies de madeira de baixa durabilidade natural. O pincelamento é feito com rolo, brocha ou pincel e a aspersão com pulverizador costal.

2.16 Acabamento e manutenção

A madeira quando exposta à luz solar, por períodos prolongados, sofre um processo de deterioração superficial perdendo sua cor natural e adquirindo um aspecto escuro e acinzentado. Desta forma, é necessário o uso de produtos de acabamento que tem a função de impermeabilizar e manter a madeira com uma aparência agradável ao longo do tempo. Para exteriores, os vernizes são os mais utilizados. Porém, como a aplicação e manutenção periódica nunca são realizadas de acordo com as especificações do fabricante, sua vida útil fica bastante reduzida exigindo muita mão de obra na recuperação, devido à necessidade de retirar todo o produto velho para dar início a uma nova pintura. Os *Stain* têm as vantagens de uniformizar a cor da madeira, visualizar a sua textura, possuir pigmentos fungicidas e inseticidas e de fácil manutenção, já que não há necessidade de remover o produto velho, bastando limpar ou lixar a superfície e aplicar o produto novamente.

A madeira, um material de aparência agradável, a tendência natural é utilizar acabamentos transparentes para permitir sua visualização. Numa edificação composta de diferentes materiais, esta tendência é justificada pela possibilidade de tirar partido da combinação de contrastes. Já numa edificação toda em madeira, a pintura com tinta de cor tem as vantagens de impermeabilizar, aumentar a sua durabilidade e melhorar o conforto do ambiente em relação à temperatura, considerando que na maioria das vezes, as madeiras utilizadas na construção são escuras. Conforme já foi visto, como regra geral, madeiras de alta durabilidade natural são pesadas e madeiras pesadas são escuras.

Uma telha quebrada ou trincada pode causar infiltração no forro ou na estrutura de cobertura elevando a umidade e, conseqüentemente, levando ao apodrecimento. Produtos de acabamento envelhecidos além de apresentar um aspecto desagradável, perdem a função impermeabilizante, tornando a madeira susceptível a absorver umidade. A região mais vulnerável dos postes, estacas e pilares é próxima ao nível do piso, ou do solo. As condições ideais de desenvolvimento dos fungos apodrecedores (umidade, temperatura e ar), ocorrem no intervalo aproximado de 15 cm acima e 50 cm abaixo deste nível. A importância da verificação periódica do estado de sanidade desta região, está na possibilidade de se fazer um tratamento preservativo no local,

utilizando produtos (pastas e mantas preservativas) e técnicas disponíveis no mercado, que podem aumentar significativamente a vida útil da peça de madeira, a um custo relativamente baixo (MELO & CAMARGOS, 2016).

O combate de insetos em móveis ou partes da construção (estrutura de cobertura, pisos, escadas, janelas, portais e portas) é mais eficiente e econômico a partir da sua identificação. Os cupins de solo são identificados pelas galerias ou túneis que constroem para seus deslocamentos até a fonte de alimento que é a madeira. A forma mais eficiente e econômica de combate é encontrar seu ninho e destruir a rainha. Outra forma de combate é através da instalação de uma barreira química em volta da construção. Os cupins de madeira seca se instalam diretamente na madeira, onde se desenvolvem sem qualquer ligação com o solo. A forma mais comum de eliminá-los é através da fumigação com gases tóxicos que são capazes de penetrar na madeira através dos canais feitos pelos insetos. Existem gases especiais que são utilizados com aplicadores específicos para este fim e pastilhas, que quando na presença do ar liberam gases tóxicos. O processo consiste em colocar a peça num ambiente hermeticamente fechado e injetar o gás ou as pastilhas. Por exemplo, um móvel pode ser facilmente embalado num plástico, um piso pode ser isolado com plástico ou fechando o ambiente, tomando o cuidado de isolar todas as frestas existentes. Já numa cobertura ou edificação, apesar de ser mais complicado e dispendioso, existem casos da prática deste procedimento. Como estes gases tendem a evaporar logo após a retirada do sistema de isolamento, é necessário aplicar um produto preservativo superficial para proteger contra possíveis ataques futuros.

2.17 Classificação de espécies de madeira por uso

Os materiais manufaturados na indústria são fabricados para atender as necessidades de usos específicos. A madeira, por ser de natureza orgânica, desenvolve-se 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, 2016). Quando se pretende utilizar espécies pouco conhecidas, é comum comparar as propriedades de espécies tradicionalmente utilizadas, com as propriedades destas espécies.

2.17.1 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, cujas propriedades físicas e mecânicas foram determinadas em conformidade com as normas COPANT/72 (IBDF, 1981; IBDF, 1988; IBAMA, 1997). O sistema de amostragem para seleção, corte e retirada das amostras, por árvore de cada espécie, é de forma aleatória, resultando após identificação botânica, no corte 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 retiradas do livro “A Madeira e seus Usos” (MELO, 2016).

2.17.2 Estruturas de Cobertura (Vigas, Caibros e Ripas)

As propriedades da madeira mais importantes para o uso em estruturas de cobertura, são:

(a) 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.

(b) 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.

(c) 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.

(d) Grã direita, reversa 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

reversa ou ondulada também pode ser utilizada. Não é recomendável o emprego de madeiras de grã inclinada e irregular, por apresentarem baixa resistência à flexão.

(e) 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 a densidade básica, características de grã mais apropriadas para o uso:

- | | |
|---|---|
| <i>Tabebuia serratifolia</i> - Ipê (1) | <i>Lecythis pisonis</i> - Castanha-sapucaia (25) |
| <i>Chrysophyllum prieurii</i> - Abiu-de-casca-fina (2) | <i>Hymenaea courbaril</i> - Jatobá (26) |
| <i>Diptotropis purpurea</i> - Sucupira-da-terra-firme (3) | <i>Endopleura uchi</i> - Uchi-liso (27) |
| <i>Swartzia recurva</i> - Urucurana (4) | <i>Inga paraensis</i> - Ingá/Ingarana (28) |
| <i>Vantanea parviflora</i> - Uchirana (5) | <i>Parinari excelsa</i> - Parinari (29) |
| <i>Bowdichia nitida</i> - Sucupira-preta (6) | <i>Mouriri callocarpa</i> - Miraúba (30) |
| <i>Aniba canelilla</i> - Preciosa (7) | <i>Brosimum rubescens</i> - Amapá-amargoso (31) |
| <i>Pouteria caimito</i> - Abiurana (8) | <i>Protium sp.</i> - Breu (32) |
| <i>Zollernia paraensis</i> - Pau-santo (9) | <i>Laetia procera</i> - Pau-jacaré (33) |
| <i>Dipteryx odorata</i> - Cumarú (10) | <i>Licaria rigida</i> - Louro/Louro-amarelo (34) |
| <i>Tabebuia cf. incana</i> - Ipê-amarelo (11) | <i>Qualea brevipedicellata</i> - Mandioqueira-áspera (35) |
| <i>Peltogyne paniculata</i> - Roxinho (12) | <i>Peltogyne cf. subsessilis</i> - Roxinho (36) |
| <i>Hymenaea parvifolia</i> - Jatobá/Jutaí-mirim (13) | <i>Zizyphus itacaiunensis</i> - Maria-preta (37) |
| <i>Manilkara huberi</i> - Maçaranduba (14) | <i>Pouteria anomala</i> - Rosadinho/Mangarana (38) |
| <i>Dinizia excelsa</i> - Angelim-vermelho (15) | <i>Marmaroxylon racemosum</i> - Angelim-rajado (39) |
| <i>Pouteria egregia</i> - Abiu-pitomba (16) | <i>Licania gracilipes</i> - Caraiperana (40) |
| <i>Pouteria guianensis</i> - Abiurana (17) | <i>Pouteria sp.</i> - Jará (41) |
| <i>Sloanea nitida</i> - Urucurana (18) | <i>Astronium gracile</i> - Muiracatiara (42) |
| <i>Enterolobium schomburgkii</i> - Sucupira amarela (19) | <i>Licania octandra</i> - Caraipe (43) |
| <i>Diploon venezuelana</i> - Abiurana (20) | <i>Myrocarpus frondosus</i> - Cabreúva-parda (44) |
| <i>Guatteria procera</i> - Envira-preta (21) | <i>Pouteria oblanceolata</i> - Tuturubá (45) |
| <i>Roupala montana</i> - Louro-faixa/Faixa (22) | <i>Brosimum alicastrum</i> - Janitá (46) |
| <i>Terminalia cf. argentea</i> - Cuia (23) | <i>Vatairea paraensis</i> - Angelim-amargoso (47) |
| <i>Cassia scleroxylon</i> - Muirapixuna (24) | <i>Acioa edulis</i> - Castanha-de-cutia (48) |

<i>Aspidosperma macrocarpon</i> - Peroba-mico (49)	<i>Acioa sp.</i> - Castanha-de-cutia (75)
<i>Trichilia lecointei</i> - Pracuúba-da-terra-firme (50)	<i>Manilkara bidentata</i> - Maçaranduba (76)
<i>Couratari stellata</i> - Tauari (51)	<i>Glycydendron amazonicum</i> - Glícia (77)
<i>Eschweilera longipes</i> - Matamatá (52)	<i>Euxylophora paraensis</i> - Pau-amarelo (78)
<i>Vatairea sericea</i> - Angelim-amargoso (53)	<i>Micropholis guianensis</i> - Abiurana-branca (79)
<i>Pouteria gongrijpii</i> - Abiurana (54)	<i>Piptadenia suaveolens</i> - Faveira-folha-fina (80)
<i>Eschweilera grandiflora</i> - Matamatá (55)	<i>Buchenavia sp.</i> - Tanibuca (81)
<i>Licania oblongifolia</i> - Mucucurana (56)	<i>Micrandra rossiana</i> - Seringarana (82)
<i>Dialium guianense</i> - Jutaípeba (57)	<i>Tetragastris panamensis</i> - Barrote (83)
<i>Couepia robusta</i> - Castanha-de-cutia (58)	<i>Goupia glabra</i> - Cupiúba (84)
<i>Tabebuia sp.</i> - Ipê (59)	<i>Terminalia amazonica</i> - Cuiarana (85)
<i>Ormosia paraensis</i> - Tento (60)	<i>Apuleia molaris</i> - Garapeira (86)
<i>Astronium ulei</i> - Muiracatiara (61)	<i>Buchenavia capitata</i> - Tanibuca (87)
<i>Eschweilera coriacea</i> - Matamatá-preto (62)	<i>Maclura tinctoria</i> - Amoreira (88)
<i>Astronium lecointei</i> - Muiracatiara-rajada (63)	<i>Buchenavia cf. viridiflora</i> - Tanibuca (89)
<i>Buchenavia huberi</i> - Cuiarana (64)	<i>Andira retusa</i> - Andirá-uxi (90)
<i>Sloanea sp.</i> - Urucurana (65)	<i>Pouteria oppositifolia</i> - Abiu (91)
<i>Pouteria pachycarpa</i> - Goiabão (66)	<i>Piptadenia communis</i> - Faveira-folha-fina (92)
<i>Micropholis venulosa</i> - Rosadinho (67)	<i>Mezilaurus itauba</i> - Itaúba-amarela (93)
<i>Sclerolobium poeppigianum</i> - Taxi-pitomba (68)	<i>Buchenavia grandis</i> - Tanibuca (94)
<i>Aspidosperma desmanthum</i> - Araracanga (69)	<i>Mezilaurus lindaviana</i> - Itaúba (95)
<i>Drypetes variabilis</i> - Pau-branco (70)	
<i>Hymenolobium modestum</i> - Angelim-pedra (71)	
<i>Cassia fastuosa</i> - Canafistula (72)	
<i>Tetragastris altissima</i> - Breu (73)	
<i>Andira sp.</i> - Angelim-tinto (74)	

2.17.3 PONTE

2.17.3.11 Pilar ou Coluna

As propriedades da madeira mais importantes para o uso em pilares ou colunas de ponte, especialmente, pontes para estradas vicinais, são:

(a) 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.

(b) Durabilidade natural

É importante considerar a durabilidade natural em usos que mantém 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.

(c) Impacto

A resistência ao impacto proporciona uma melhor resposta aos possíveis choques e frenagem sobre a ponte.

(d) 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, conforme abaixo:

<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> - Cumaru (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)

2.17.3.12 Viga e Tabuleiro, ou Estrado

As propriedades da madeira mais importantes para o uso em vigas e tabuleiros ou estrado de pontes, são:

(a) 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.

(c) 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.

(d) Impacto

A resistência ao impacto proporciona uma melhor resposta aos possíveis choques e frenagem sobre a ponte.

(d) Grã direita, reversa e ondulada

Não é recomendável o emprego de madeiras de grã inclinada e irregular, por apresentarem baixa resistência à flexão e ao impacto.

Obs. Determinados produtos químicos presentes na madeira podem reagir quando em contato com outros elementos químicos da natureza formando subprodutos como ácidos. Estes ácidos podem provocar oxidações ou mesmo corrosões quando em contato com metais, comprometendo a sua durabilidade e resistência.

As espécies estão colocadas por ordem decrescente de prioridade, em função das propriedades tecnológicas mais apropriadas para o uso, são:

<i>Swartzia recurva</i> - Urucurana (3)	<i>Hymenaea courbaril</i> - Jatobá (26)
<i>Vantanea parviflora</i> - Uchirana (4)	<i>Inga paraensis</i> - Ingá/Ingarana (27)
<i>Bowdichia nitida</i> - Sucupira-preta (5)	<i>Mouriri callocarpa</i> - Miraúba (28)
<i>Aniba canelilla</i> - Preciosa (6)	<i>Protium sp.</i> - Breu (29)
<i>Zollernia paraensis</i> - Pau-santo (7)	<i>Zizyphus itacaiunensis</i> - Maria-preta (30)
<i>Pouteria caimito</i> - Abiurana (8)	<i>Peltogyne cf. subsessilis</i> - Roxinho (31)
<i>Dipteryx odorata</i> - Cumarú (9)	<i>Licania gracilipes</i> - Caraiperana (32)
<i>Tabebuia cf. incana</i> - Ipê-amarelo (10)	<i>Marmaroxylon racemosum</i> - Angelim-rajado (33)
<i>Peltogyne paniculata</i> - Roxinho (11)	<i>Pouteria oblanceolata</i> - Tuturubá (34)
<i>Hymenaea parvifolia</i> - Jatobá/Jutaí-mirim (12)	<i>Myrocarpus frondosus</i> - Cabreúva-parda (35)
<i>Manilkara huberi</i> - Maçaranduba (13)	<i>Licania octandra</i> - Caraipé (36)
<i>Pouteria egregia</i> - Abiu-pitomba (14)	<i>Acioa edulis</i> - Castanha-de-cutia (37)
<i>Dinizia excelsa</i> - Angelim-vermelho (15)	<i>Licania oblongifolia</i> - Mucucurana (38)
<i>Pouteria guianensis</i> - Abiurana (16)	<i>Trichilia lecoïntei</i> - Pracuúba-da-terra-firme (39)
<i>Sloanea nitida</i> - Urucurana (17)	<i>Piptadenia suaveolens</i> - Faveira-folha-fina (40)
<i>Diploon venezuelana</i> - Abiurana (18)	<i>Tabebuia sp.</i> - Ipê (41)
<i>Enterolobium schomburgkii</i> - Sucupira-amarela (19)	<i>Couepia robusta</i> - Castanha-de-cutia (42)
<i>Cassia scleroxylon</i> - Muirapixuna (20)	<i>Astronium lecoïntei</i> - Muiracatiara-rajada (43)
<i>Terminalia cf. argentea</i> - Cuiá (21)	<i>Buchenavia huberi</i> - Cuiarana (44)
<i>Roupala montana</i> - Louro-faia/Faieira (22)	<i>Buchenavia sp.</i> - Cuiarana (45)
<i>Dialium guianense</i> - Jutaipeba (23)	<i>Manilkara bidentata</i> - Maçaranduba (46)
<i>Lecythis pisonis</i> - Castanha-sapucaia (24)	<i>Acioa sp.</i> - Castanha-de-cutia (47)
<i>Endopleura uchi</i> - Uchi-liso (25)	<i>Tetragastris panamensis</i> - Breu-preto (48)
	<i>Terminalia amazonica</i> - Cuiarana (49)

2.18 Estatística Aplicada Na Caracterização Da Madeira

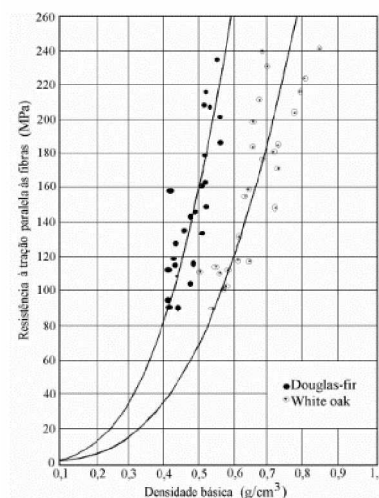
2.18.1 Considerações Gerais

Para a compreensão de um problema, seja ele sociológico, como o comportamento de uma população a um determinado estímulo, seja em fenômenos físicos e mecânicos presentes em modelos de segurança estrutural, é importante analisar as relações existentes entre as variáveis envolvidas no sistema em estudo. A medida padronizada da relação entre duas variáveis pode ser definida como correlação. Essa correlação indica a intensidade e o direcionamento entre duas variáveis aleatórias e apresentam as seguintes características (CASTRO & SERGIO, 2009):

- A correlação nunca pode ser maior do que 1 ou menor do que -1;
- Uma correlação próxima a zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas linearmente;
- Uma correlação positiva indica que as duas variáveis se movem juntas, e a relação é forte quanto mais a correlação se aproxima 1;
- Uma correlação negativa indica que as duas variáveis se movem em direções opostas;
- A relação fica mais forte quanto mais próxima a correlação é de -1;
- Duas variáveis que estão perfeitamente correlacionadas positivamente ($r = 1$) se movem essencialmente em perfeita proporção na mesma direção;
- Dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente ($r = -1$) se movem em perfeita proporção em direções opostas.

A relação entre as variáveis pode ser facilmente observada utilizando-se de um diagrama de dispersão cartesiano, onde são plotados os conjunto de valores (x,y) obtidos de um determinado estudo. Uma variável X é representada pelo eixo horizontal que usualmente é a variável independente e a variável Y é representada no eixo vertical, sendo esta a variável dependente. Com a plotagem dos pontos pode-se então analisar o tipo de comportamento do fenômeno estudado. A Figura 2.21 mostra um exemplo de diagrama de dispersão, em que a variável dependente é a resistência a tração paralela as fibras e a independente é a densidade básica.

Figura 2.21– Exemplo de Diagrama de Dispersão



2.18.2 Tipos de Correlação

A correlação entre duas variáveis, além de apresentarem o sinal positivo ou negativo, pode ser linear, ou não-linear, onde:

- Correlação Linear: Quando é possível ajustar uma reta entre as observações. A proximidade entre as observações e a reta determina a força da correlação;
- Correlação não-linear: Quando não é possível ajustar uma reta entre as observações.

2.18.3 Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r):

O coeficiente de Correlação de Pearson é utilizado para medir o grau de relação entre as duas variáveis estudadas. Para um conjunto de pares ordenados X e Y, ou amostras n, o Coeficiente de Pearson mede a aderência, ou a qualidade do ajuste à verdadeira reta, na qual pretende-se relacionar X e Y. O coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado na amostra pode ser definido por:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}}$$

Onde :

r = coeficiente de correlação linear de Pearson;

n = número de observações de cada variável;

x_i e y_i = valores i – ésimos das variáveis x e y , respectivamente.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede somente se a relação é linear. Portanto, para correlações não lineares não é possível usar estes coeficientes. Quanto mais o coeficiente r se aproxima do valor 1 (absoluto), maior será a relação entre as variáveis. Quando o valor é $r = 1$, significa que temos uma correlação linear perfeita. Por outro lado, valor tendendo a zero significa que as variáveis não apresentam correlação linear. Valor baixo para correlação de Pearson não significa, necessariamente, que não existe correlação entre as variáveis, mas somente que estas correlações não são lineares. Variáveis com baixo valor de r podem, ou não, apresentar fortes correlações para outro tipo de função, como polinomial, logarítmica, exponenciais, ou de potência, por exemplo.

Segundo Shimakura (2006), a interpretação dos resultados obtidos nas correlações depende de cada estudo que está sendo realizado e um bom parâmetro inicial para análise é descrito na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Interpretação para os Valores de Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r)

Valores de r (\pm)	Interpretação
0 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

2.18.4 Análise de Regressão

Quando analisamos um conjunto de dados de uma amostra ou população que apresentam alguma correlação entre as variáveis do fenômeno estudado, sobrevém a necessidade de criar um modelo matemático que possa exprimir essa interdependência. O estudo da análise de regressão mostra o relacionamento entre uma variável caracterizada como dependente e com uma, ou mais variáveis, chamadas de independentes. Assim, podemos desenvolver modelos estatísticos matemáticos por meio de uma equação que possa exprimir, com uma margem de erro estimada, uma associação entre a variável dependente e as variáveis independentes. O modelo escolhido deve ser adequado no grau, no aspecto geométrico da curva, abranger somente as variáveis que são relevantes e descrever da forma mais real possível o fenômeno físico estudado. Quando o modelo apresenta apenas uma variável independente, pode-se denominá-lo de Modelo de Regressão Simples. Quando há mais de uma variável independente denomina-se de Modelo de Regressão Linear Múltiplo. A variável que se pretende estimar é chamada de variável dependente (Y) e a outra variável recebe o nome de variável independente (X).

A regressão linear simples pode então ser exprimida pelo modelo matemático estatístico:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

Onde:

Y_i : é uma variável aleatória e representa o valor da variável resposta (variável dependente) na i – ésima observação

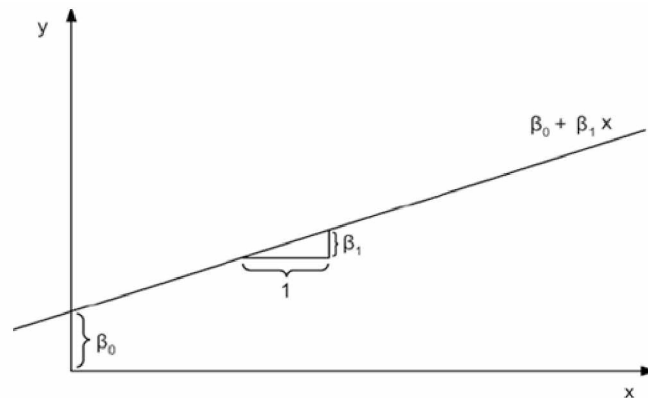
X_i : representa o valor da variável explicativa (variável independente, variável regressora) na i – ésima observação

β_0 : é chamado intercepto ou coeficiente linear e representa o ponto em que a reta regressora corta o eixo dos y 's, quando $x = 0$.

β_1 :representa a inclinação da reta regressora e é dito coeficiente de regressão ou coeficiente angular

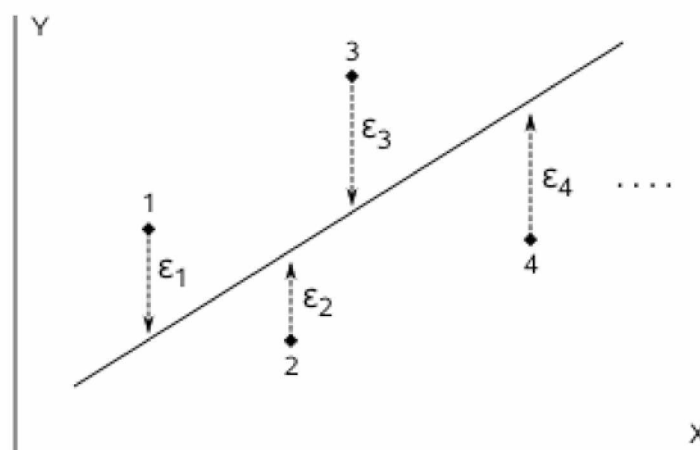
A interpretação geométrica dos parâmetros β_0 β_1 da reta regressora pode ser representada na Figura 2.22.

Figura 2.22– Reta Regressora



Os valores estimados para (Y) são determinados através do método dos mínimos quadrados. Esse método realiza uma otimização matemática que visa obter o melhor ajuste de uma reta para um conjunto de dados plotados em um gráfico cartesiano (Gráfico de Dispersão) minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados de acordo com a Figura 2.23

Figura 2.23 - Gráfico de dispersão com resíduos



A correlação é tanto forte quanto mais os pontos se aproximam da reta. A distância entre os pontos e a reta estimada pelo modelo matemático é chamado de resíduo ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4, \dots, \epsilon_n$), ou seja, quanto menor os resíduos encontrados, menor é o erro da hipótese gerada pela equação.

2.18.5 O Coeficiente de Determinação – R^2

Segundo Bastos (2018), o coeficiente de determinação – R^2 é uma medida de poder explicativo do modelo utilizado. Dá a proporção da variação da variável dependente, Y, que é explicada em termos lineares pela variável independente, X, i.e., a proporção da variação de Y explicada pelo modelo.

$$R^2 = \frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\hat{y}_i - \bar{y}))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Ou,

$$R^2 = \frac{a \sum_{i=1}^n y_i + b \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{y}^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2}$$

Tem-se que:

- $0 \leq R^2 \leq 1$ a proporção da variação de Y explicada pelo modelo é no máximo 1 e no mínimo zero.
- Se $R^2 \cong 1$ significa que grande parte da variação de Y é explicada linearmente por X (modelo adequado).
- Se $R^2 \cong 0$ o modelo não é adequado aos dados.
- $1 - R^2$ é a proporção de variação de Y não explicada pela variável X, resultante de fatores não incluídos no modelo. O coeficiente de determinação pode ser utilizado como uma medida da qualidade do ajustamento ou como medida da qualidade de confiança depositada na equação de regressão como instrumento de precisão.

A

À raiz quadrada de R^2 dá-se o nome de coeficiente de correlação simples ou coeficiente de Pearson (r). É uma medida do grau de associação linear entre as variáveis X e Y.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, o enfoque a ser dado é sobre o problema da inferência estatística. Portanto, será analisada a obtenção de uma amostra aleatória, que constituirá a base para a estimação do modelo e, após verificação da adequação desse o modelo, fazer inferências para amostra. Assim, será tratada apenas da definição da amostra, através da definição e um *modelo de regressão linear simples amostral*. Define-se modelo de regressão linear simples amostral ao conjunto de suposições de um modelo de regressão linear simples-MRLS, acrescido da suposição sobre a relação entre as unidades amostrais.

Pode-se adotar duas maneiras para obtenção de uma amostra: valores de X (no caso a densidade básica D_b das espécies de madeira) prefixados e para estes valores obtenção de observações independentes de Y (MOE, MOR, CPA, ...) ou, obtenção de uma amostra aleatória de pares de (X, Y) , bivariada. A amostra considerada neste trabalho de tese foi obtida da segunda maneira, ou bivariada. Em ambos os casos, tem-se uma amostra aleatória de tamanho n (259 espécies de árvores tropicais distribuídas entre densidades básicas baixa, média e alta), sendo x_1, x_2, \dots, x_n os valores prefixados de X , ou os valores observados de X , e y_1, y_2, \dots, y_n os correspondentes valores observados de Y (CHARNET, AT ALL, 2008)

A partir da amostra aleatória de pares bivariados, será considerada a estimação dos parâmetros do modelo de regressão linear simples amostral, através de estimadores de quadrados mínimos e suas propriedades, além de intervalos de confiança para os parâmetros do modelo. Aborda-se como primeira etapa de avaliação do desempenho do modelo um teste de hipóteses de validação, ou significância estatística. Em seguida, define-se o coeficiente de correlação e o coeficiente de correlação amostral (Matriz de Correlação de Pearson), além de algumas de suas propriedades e um teste de hipóteses sobre o coeficiente de correlação (MENDENHALL, 1993), (CHARNET, *at all*, 2008).

A próxima etapa é verificar o quão adequado é o modelo proposto para estimação da amostra. Aborda-se para isso uma medida de ajuste do modelo e um teste de adequação. Para um modelo bem ajustado, pode-se obter estimativas e previsões considerando bandas de confiança e bandas de predição. Define-se coeficientes de determinação apresentando as suas propriedades e a associação com os parâmetros do modelo de regressão linear. Define-se também intervalos de confiança para a esperança de Y , dado $X = x$ (Montgomery, 1992).

Os resíduos de um modelo de regressão linear têm uma relação muito forte com a qualidade do ajuste feito, bem como com a confiabilidade dos testes estatísticos sobre os parâmetros do modelo. Nesse sentido, a análise dos resíduos tem uma importância fundamental na verificação na qualidade de ajustes de modelos (COOK, 1982)

Os resíduos são definidos pelas diferenças $y_i - \hat{y}_i$. Portanto se o MRLS reflete a relação entre $X (D_b)$ e Y (MOE, MOR, CPA, ...), é razoável esperar que os resíduos não tenham nenhuma relação com a variável X

A análise de resíduos, basicamente, fornece evidências sobre possíveis violações nas suposições do modelo, tais como a de normalidade, homocedasticidade e, quando for o caso, ainda fornece indícios de falta de ajuste do modelo proposto. Além dos testes de significância e adequação já comentados, a análise de resíduos vem complementar o elenco de procedimentos que devem ser realizados após o ajuste de qualquer modelo. Uma maneira simples de se analisar os resíduos é a partir da construção de alguns gráficos específicos, baseados nos resíduos padronizados que, com suas propriedades, fornecem evidências de violações às suposições básicas do MRLS. Através dos gráficos dos resíduos, é possível verificar a homogeneidade das variâncias da variável erro ϵ_i , a normalidade de ϵ_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ e a relação linear entre as variáveis $X (D_b)$ e Y (MOE, MOR, CPA, ...). A validade da suposição de normalidade pode ser averiguada pelo traçado de um gráfico de probabilidade normal para os resíduos. Os resíduos nestes gráficos são apresentados em função do seu valor esperado, o qual o valor é calculado supondo que os resíduos seguem uma distribuição normal. (ANSCOMBE, 1963), (GUENTHER, 1964), (CHARNET, *et all*, 2008).

A suposição de independência das variáveis erro, ϵ_i , é verificada se as unidades amostrais forem independentes. Portanto, para verificar se esta suposição está sendo atendida, é preciso conhecer exatamente como foram obtidos os dados, ou seja, conhecer a definição da amostra e principalmente qual foi o seu planejamento (CHARNET, *et all*, 2008).

3.1 Sobre o sistema de amostragem para caracterização das espécies de madeira

O Laboratório de Produtos Florestais conduziu um extenso Programa Para Caracterização de Madeiras da Amazônia, no qual caracterizou 259 diferentes espécies de madeira, seguindo um rigoroso sistema aleatório para seleção e coleta de material em campo (NOACK, 1970; COPANT 237, 1972). Posteriormente, foram realizados ensaios em laboratório com corpos de prova isentos de defeitos. 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 da floresta tropical, adaptada a partir dos estudos de Noack (1970). O programa de pesquisa do LPF caracterizou espécies de madeiras selecionadas, especialmente pelas frequências de ocorrências na floresta, incluindo-se propriedades físicas e mecânicas, estudos de anatomia, de química, secagem, preservação e durabilidade natural. A metodologia compreende fases que envolvem recursos financeiros

significativos, conforme a seguir, com as principais regiões de coleta na Amazônia, identificadas na Figura 3.1, abaixo:

- Fase 1: Escolha da região de coleta, que depende da existência de Inventário Florestal;
- Fase 2: Montar infraestrutura com recursos humanos, materiais e de apoio na cidade mais próxima da região de coleta;
- Fase 3: Identificar na região selecionada os pontos de coleta;
- Fase 4: Executar a coleta das amostras segundo critérios de escolha aleatória preestabelecidos;
- Fase 5: Transporte do material coletado para o laboratório do LPF, em Brasília;
- Fase 6: Acondicionamento e climatização das amostras no laboratório;
- Fase 7: Execução dos ensaios no laboratório.

As madeiras disponíveis no mercado brasileiro para fabricação de elementos e estruturas são frequentemente utilizadas na condição verde. Isso porque a grande maioria dos fornecedores de madeira não dispõe de pátios de secagem adequados, nem processos de secagem artificial instalados. Dessa forma, mesmo diante dessa realidade do mercado, o programa de ensaios foi realizado para madeira verde e para madeira seca, conforme recomendação de normas específicas. Para madeira seca, os ensaios foram realizados com um teor de umidade de equilíbrio de 12% - umidade de equilíbrio da madeira para a região de Brasília. (MELO,2014)

Um Programa de Amostragem para caracterização de espécies de madeira, especialmente na Amazônia, pressupõe a existência de um Inventário Florestal, conforme consta da Fase-1 da metodologia adaptada pelo LPF. 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 mata 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).

Figura 3.1 - Regiões de coletas, no Programa de Caracterização de Espécies de madeira da Amazônia, do Laboratório de Produtos Florestais. Nota-se a diversidade de municípios e a área de cobertura da coleta na Amazônia, englobando os estados do Amazonas, Rondônia e Pará.



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, dificuldade de acesso na mata, condições e dimensões da floresta, 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. Associado a isso, é preciso considerar a necessidade de caracterização de milhares de novas espécies de árvores – da ordem de 2.700 (duas mil e setecentas) - além das 259 (duzentas e cinquenta e nove) já caracterizadas. No Programa inicial do LPF, foram gastos quase trinta anos em pesquisas e recursos financeiros e humanos significativos. Portanto, é inviável, para não dizer praticamente impossível, a caracterização de milhares de novas espécies de madeira, em médio e longo prazos. Considerando o tempo gasto na pesquisa inicial das 259 espécies, para condições e recursos semelhantes, seriam necessários vários anos (com a estrutura material e financeira da atualidade) para caracterização das espécies restantes. Portanto, o método convencional é muito dispendioso sob o ponto de vista técnico e econômico, da realidade atual. A pergunta que surge é: o que já foi feito (caracterização de 259 espécies) não seria suficiente para atender a demanda quanto aos diferentes usos de madeira no Brasil? Levando-se em conta uma época de crise energética, extrema preocupação e pressão ambiental, pode-se afirmar que os estudos já realizados estão aquém das necessidades, sendo, portanto, insuficientes. A caracterização de um número expressivo de novas espécies pode

significar, por exemplo, a preservação de determinadas exemplares que hoje correm risco de extinção, com o aumento de espécies estudadas e caracterizadas, como alternativa disponível para utilização. Além disso, é bastante provável que existam espécies ainda não estudadas, cuja viabilidade técnica, tecnológica e econômico-financeira, seja altamente vantajosa (MELO,2014). A variabilidade nas propriedades mecânicas e físicas, obtidas pelo programa experimental conduzido pelo LPF é menor, quando comparado com os coeficientes de variação recomendados NBR-7190/97 para determinação de resistências características de espécies. Isso se deve ao rigoroso sistema aleatório adotado para seleção e coleta de material em campo, adaptado e utilizado como base do programa experimental do LPF (NOACK, 1970). É de se esperar que a madeira, por ser um material de origem botânica, apresente diferenças em relação as 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 resistências (propriedades mecânicas) de uma mesma espécie tendem para uma distribuição normal, a variabilidade é medida pelo coeficiente de variação. As análises estatísticas da amostra representada pelas espécies de madeira do banco de dados do LPF, mostram que os coeficientes de variação médio de algumas propriedades de madeiras da Amazônia brasileira, são da ordem de 15% para madeira verde (saturada) e da ordem 13% para madeira seca (umidade a 12%). 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 259 espécies. O número de corpos de prova variou de 2 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 para uma determinada espécie de madeira. Após a realização dos ensaios, determinou-se o valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada propriedade. Quando algum resultado apresentava valor muito discrepante ou atípico, acima ou abaixo da média, fazia-se uma inspeção no corpo de prova, para verificar a existência de possíveis defeitos que podiam ter influência no resultado do ensaio. Como a metodologia de ensaio é para corpos de prova isentos de defeitos, aqueles, eventualmente com defeitos, foram descartados. Uma das causas de maior variabilidade é o corpo de prova ter sido sorteado do cerne ou do alburno. Estas informações devem constar na ficha de ensaio.

3.2 Análise Estatística de Amostras

Um modelo estatístico é um conjunto de hipóteses sobre a geração de dados observados e dados semelhantes por diferentes fatores. Esses modelos normalmente descrevem a relação entre variáveis aleatórias com outras variáveis (não aleatórias). Em termos matemáticos, um modelo estatístico é geralmente considerado como um par (S, P) , em que S é o conjunto de observações possíveis, isto é, o espaço amostral, e P é um conjunto de distribuição de probabilidades em S . Um modelo estatístico pode ser usado para descrever o conjunto de distribuição a partir da qual se assume que um determinado conjunto de dados é amostrado. Para análise do Banco de Dados de Caracterização de Espécies Tropicais de Madeira da Amazônia, elaborado pelo Laboratório de Produtos Florestais - LPF será utilizado o modelo matemático incorporado no Software Comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. Para consideração e análise da Variância Amostral, será utilizada a coleção de modelos estatísticos presentes no Módulo ANOVA, também incorporado ao Excel. Uma análise de variância, ou ANOVA, é um teste usado para determinar se as médias de uma mostra de uma variável dependente como CPA, MOR, CIS, MOE, ou CIS são diferentes umas das outras em diferentes níveis de uma variável independente, como a Densidade Básica. O módulo ANOVA também pode ser utilizado para análises estatísticas simples tais como: regressões, médias, desvio padrão e resíduos.

3.2.1 Estudos de Regressão de espécies caracterizadas pelo LPF

Foram desenvolvidos nesta pesquisa estudos de regressões baseados nas correlações entre a Densidade Básica da madeira (variável independente) e suas propriedades físicas e mecânicas das 259 espécies tropicais de madeira da Amazônia, utilizando-se o software Excel da Microsoft. Este trabalho apresenta regressões na forma de funções lineares, polinomial de 2º grau e função potência. A partir das equações encontradas são apresentadas as relações obtidas entre a densidade básica e as propriedades mecânicas importantes para o uso e o projeto de elementos de madeira. Antes de se proceder a avaliação da regressão, deve-se verificar a condição imposta para validade dos testes, isto é, os resíduos obtidos da análise de regressão devem ter uma distribuição normal com média (\bar{x}) igual zero, e variância (s^2). A partir dos dados amostrais, pode-se verificar a hipótese por um teste estatístico de aderência da distribuição e, simultaneamente, testa-se também seus parâmetros, média e variância, a partir de estimativas amostrais. O teste de Qui-Quadrado (χ^2) pode ser utilizado para avaliar as hipóteses e consiste em comparar a estatística calculada χ_{teste}^2 com o valor $\chi_{crítico}^2$, ao nível de significância determinado, sob a seguinte hipótese nula (H_0):

$\chi^2_{teste} > \chi^2_{critico}$: rejeita-se a hipótese nula (H_0) e conclui-se que há uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis.

$\chi^2_{teste} < \chi^2_{critico}$: não é possível concluir que as variáveis estão associadas, mas não se deve rejeitar a hipótese nula (H_0).

Nesse estudo, adota-se que para o nível de significância $\alpha = 0,05$, a hipótese nula não é rejeitada. Satisfeitas estas condições necessárias é possível realizar a análise de regressão propriamente dita. O teste para significância da regressão é utilizado para determinar a existência de uma relação linear entre a variável resposta Y e uma variável regressora, com o nível de confiabilidade escolhido. Buscar um nível de confiança de 95%, significa que 95% dos resultados obtidos em uma amostra aleatória contêm os valores verdadeiros dos parâmetros estudados, tais como a média, desvio padrão e variância de uma população. Em relação ao teste de hipóteses, o nível de confiança é o complemento do nível de significância. Isso significa que um intervalo de confiança de 95% reflete um nível de significância de $\alpha = 0,05$. Para problemas de engenharia estrutural, o nível de significância α exigido é de 0,05 ou 1,96 desvios padrão σ da média amostral \bar{x} .

Para a análise e estudos adotou-se como princípio a regressão na forma de uma função linear. Essa função linear escolhida tem um grau adequado no aspecto geométrico da curva, descrevendo da forma o mais proporcional possível o fenômeno físico estudado relação constitutiva ($\sigma \times \varepsilon$) elástica linear, distribuição de tensões e deformações lineares na flexão e campo de pequenos deslocamentos e pequenas deformações. Isso permite a consideração das hipóteses da mecânica clássica no desenvolvimento de modelos de resistência, a partir da Densidade Básica, para estados limites de solicitação à tração e compressão axial, além da flexão simples e flexão composta. Os coeficientes de determinação R^2 obtida através do método dos mínimos quadrados resultou em valores superiores a 0.7, que para o estudo de madeira, podem ser considerados significativos estatisticamente (MELO & CAMARGOS, 2016).

3.3 Análise da significância estatística das correlação entre propriedades de espécies de madeira tropical e a densidade aparente - D_{ap}

Foram analisadas as 259 espécies a partir de um banco de dados do LPF. O Programa caracterizou espécies de madeiras selecionadas, geralmente com alta ocorrência na floresta, incluindo-se estudos e determinação de propriedades físicas e mecânicas, estudos de anatomia, química, secagem, preservação e durabilidade natural. Neste trabalho, serão analisadas as propriedades físicas e mecânicas, importantes para o projeto de estruturas e uso de madeira na construção civil. A pesquisa contém informações tanto para madeira em condição verde (umidade de saturação), quanto para a condição seca (umidade a 12%). Os ensaios foram realizados em corpos de prova

isentos de defeito, segundo as prescrições das Normas Pan-Americanas da COPANT (COPANT,1975). As propriedades constantes no banco de dados são listadas a seguir:

- CT* - Contração tangencial
- CR* - Contração radial
- CV* - Contração volumétrica
- D_b* - Densidade básica
- D_{ap}* - Densidade aparente (umidade a 12%)
- 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.

A floresta amazônica, estimam os botânicos, possui algo em torno de 3.000 espécies de árvores (MELO,2016). Dessa forma, o programa de pesquisa conduzido pelo LPF tem uma boa representatividade da floresta, pois apresenta uma amostra aleatória com, aproximadamente, 8,7% da população e com uma variabilidade de espécies de baixa, média e alta densidade, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1– Distribuição de Espécies de Árvores da Amazônia por Densidade Básica (MELO,2016)

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%

Para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira, utilizados em construção civil (peças submetidas à tração e compressão axial, flexão simples, flexão composta, efeitos de cargas localizadas, ligações), é necessário conhecer, além das propriedades físicas, algumas propriedades mecânicas, tais como MOE, MOR, CPA, CPE e CIS. Dessa forma, é importante elaborar estudos

no sentido de validar a significância estatística entre o modelo aqui proposto e a amostra, representada pelo banco de dados, resultado dos ensaios de laboratório do LPF. Nesse sentido, uma série de testes estatísticos serão elaborados visando avaliar probabilidades de o modelo proposto estimar adequadamente a amostra representada pelas 259 espécies. Assim, serão elaborados uma série de análises estatística entre os resultados estimados pelo modelo correlacionados com os resultados experimentais da amostra do banco de dados. Dentre esses testes de significância estatísticos entre os resultados estimados pelo modelo proposto e a amostra do banco de dados do LPF, incluem-se:

1. Matriz dos Coeficientes de Correlação de Pearson (r);
2. Coeficientes de Determinação R^2 ;
3. Análise de Dispersão dos Resíduos Padronizados;
4. Análise do Histograma de Resíduos Padronizados Confrontados com a Distribuição Normal;
5. Teste de Aderência de Qui-Quadrado (χ^2).

3.3.1 Análise da Matriz dos Coeficientes de Correlação de Pearson Entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical do Banco de Dados do LPF/SFB/MMA (r) – Madeira Seca

A Matriz de Pearson é uma matriz diagonal, cuja diagonal principal é igual a unidade, uma vez que contém como elementos a correlação de cada propriedade correlacionada com ela mesma. A Matriz de Pearson é condição necessária para estudo da consistência estatística entre o modelo e banco de dados experimentais. Contudo, uma matriz formada com elementos de valor elevado de r de Person, não é suficiente para atestar uma consistência estatística. A partir do banco de dados e os resultados estimados pelo modelo da Densidade Aparente, aqui proposto, foi elaborada a Matriz dos Coeficientes de Correlação de Pearson, entre as propriedades físicas e mecânicas, de 259 espécies para madeira tropical da Amazônia, na condição seca (umidade em 12%). A Tabela 3.2 apresenta a matriz para madeira seca, pode-se observar, logo abaixo de cada elemento da matriz, entre parênteses, o número de espécies correlacionadas.

Tabela 3.2 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira seca (12%)

	<i>Dap.</i>	<i>Db</i>	<i>Dv</i>	<i>MOE</i>	<i>MOR</i>	<i>CPA</i>	<i>CPE</i>	<i>CIS</i>	<i>DE</i>	<i>DT</i>	<i>TPER</i>	<i>FEND</i>	<i>CT</i>	<i>CR</i>	<i>CV</i>
<i>Dap.</i>	1 (259)														
<i>Db</i>	0.9791 (259)	1 (259)													
<i>Dv</i>	0.7894 (238)	0.8098 (238)	1 (238)												
<i>MOE</i>	0.8913 (253)	0.8850 (253)	0.7286 (238)	1 (253)											
<i>MOR</i>	0.9342 (252)	0.9384 (252)	0.7528 (238)	0.9348 (252)	1 (252)										
<i>CPA</i>	0.9098 (252)	0.9199 (252)	0.7381 (238)	0.8996 (252)	0.9493 (252)	1 (252)									
<i>CPE</i>	0.8896 (248)	0.9213 (248)	0.7560 (238)	0.7978 (248)	0.9008 (248)	0.8994 (248)	1 (248)								
<i>CIS</i>	0.8331 (248)	0.8403 (248)	0.6799 (238)	0.8253 (248)	0.8500 (248)	0.8239 (248)	0.8248 (248)	1 (248)							
<i>DE</i>	0.8700 (240)	0.8883 (240)	0.7535 (238)	0.8300 (240)	0.8822 (240)	0.8811 (240)	0.8676 (240)	0.8723 (240)	1 (240)						
<i>DT</i>	0.9067 (237)	0.9249 (237)	0.7682 (237)	0.8528 (237)	0.9138 (237)	0.9042 (237)	0.9149 (237)	0.8813 (237)	0.9654 (237)	1 (237)					
<i>TPER</i>	0.5540 (248)	0.5723 (248)	0.3963 (238)	0.4966 (248)	0.5447 (248)	0.5305 (248)	0.5043 (248)	0.5675 (248)	0.5109 (240)	0.5192 (237)	1 (248)				
<i>FEND</i>	0.6740 (184)	0.6892 (184)	0.5349 (184)	0.6832 (184)	0.6961 (184)	0.6997 (184)	0.6141 (184)	0.6754 (184)	0.6424 (184)	0.6519 (184)	0.7458 (184)	1 (184)			
<i>CT</i>	0.4988 (258)	0.4502 (258)	0.4540 (238)	0.5878 (253)	0.4966 (252)	0.4655 (252)	0.3405 (248)	0.3941 (248)	0.4936 (240)	0.4692 (237)	0.3104 (248)	0.4521 (184)	1 (258)		
<i>CR</i>	0.5651 (257)	0.5473 (257)	0.4993 (238)	0.6270 (253)	0.5955 (252)	0.5836 (252)	0.4783 (248)	0.4742 (248)	0.5515 (240)	0.5264 (237)	0.2554 (248)	0.4042 (184)	0.6770 (257)	1 (257)	
<i>CV</i>	0.5722 (258)	0.5380 (258)	0.5085 (238)	0.6466 (253)	0.5700 (252)	0.5484 (252)	0.4265 (248)	0.4525 (248)	0.5652 (240)	0.5328 (237)	0.3063 (248)	0.4605 (184)	0.9162 (258)	0.8102 (257)	1 (258)

Obs.: Os valores entre parênteses representam os números de pares (X, Y) utilizados na correlação

Onde,

	correlação fraca
	correlação moderada
	correlação forte
	correlação muito forte

Pode-se verificar na Tabela 3.2 que existem correlações fortes e muito fortes (SHIMAKURA, 2006), entre a densidade aparente D_{ap} e as propriedades mecânicas importantes e, normalmente, utilizadas nos modelos que estimam a resistência de elementos estruturais em estruturas de madeira. A tensão resistente nominal de ruptura a compressão na flexão – MOR está ligada diretamente ao dimensionamento de elementos à tração e compressão axial (NBR 7190, 1997), à flexão simples e à flexão composta. O coeficiente de Pearson para MOR x D_{ap} apresenta um valor $r = 0,9342$, podendo ser considerado muito forte. Para verificação de elementos solicitados, a compressão axial e a flexão composta, além do MOR, a NBR-7190/97, utilizam a tensão resistente nominal de compressão axial paralela às fibras – CPA. O coeficiente de Pearson para CPA x D_{ap} apresenta um valor $r = 0,9098$, também muito forte. O coeficiente de Pearson para MOE x D_{ap} tem valor igual a $r = 0,8913$, CPE x D_{ap} tem $r = 0,8896$ e CIS x D_{ap} um $r = 0,8331$, todos na

fronteira superior de classificação forte. Portanto, uma significância estatística para as correlações estimadas entre essas propriedades e a densidade aparente - D_{ap} é provável, sendo sugerida pelos altos coeficientes de Pearson, conforme visto acima. Isso reforça a consistência dos modelos de resistência, propostos nos capítulos seguintes, para verificação de estados limites de tração e compressão axial, além de flexão e flexão composta.

A correlação entre CPA x CPE apresenta um coeficiente de Pearson $r = 0,8994$, já visto acima, indicando uma correlação forte. Alguns códigos de projeto, incluindo a NBR-7190/97, utiliza-se de uma correlação entre CPE x CPA para estimar a resistência sob o efeito de cargas localizadas (especialmente em apoios de vigas submetidas à carga elevada, ou apoio de treliças com vãos médios, ou grandes). Uma das razões para isso (estimar CPE a partir de CPA) é que a maioria dos programas de pesquisa, no Brasil, que caracterizaram espécies de madeiras tropicais, não incluíram os ensaios experimentais para estimativa da tensão resistente nominal de compressão perpendicular às fibras – CPE. O programa conduzido pelo LPF, ao contrário, estimou o CPE para 248 espécies de madeiras tropicais. Dessa forma, é possível não só utilizar a correlação entre CPE x CPA e, assim, avaliar o critério atualmente proposto pela norma brasileira (NBR 7190, 97). Além disso, é possível utilizar-se da correlação entre CPE x D_{ap} , e apresentar uma alternativa mais simples, além de ser mecanicamente mais coerente (porque faz uso direto dos resultados dos ensaios de CPE), para verificação de efeito de cargas localizadas.

A verificação de peças à tração paralela às fibras, pelo critério atualmente proposto pela NBR-7190/97, é feita a partir de uma estimativa da tensão resistente nominal à tração (F_t), a partir de uma correlação com o CPA. Contudo, ensaios à tração de corpos de prova de madeira isentos de defeitos, são difíceis de se executar, em virtude de ser frequente o rompimento na seção de contato do corpo de prova com a garra da máquina de ensaio (especialmente em espécies de madeira de baixa e média densidade básica, por apresentarem baixos valores de CPE). Portanto, não há evidências de significância estatística da correlação entre F_t x CPA, proposta pela NBR-7190/97, em virtude da pequena quantidade de ensaios à tração disponíveis para madeiras tropicais da Amazônia.

Para verificar os estados limites de utilização e também estados limites últimos (para instabilidade elástica de Euler, ou de instabilidade inelástica), é necessário conhecer o módulo de elasticidade a flexão E_m (MOE), ou o módulo de elasticidade a compressão E_c . O programa experimental conduzido pelo LPF estimou o módulo de elasticidade E_m para 253 espécies da madeira tropical, de baixa, média e alta densidade básica, conforme distribuição constante na Tabela 3.1 (não fez ensaios com corpos de prova a compressão paralela às fibras, não estimando E_c). O coeficiente de Pearson para MOE x D_{ap} tem valor igual a $r = 0,8913$, indicando uma forte correlação e já na

fronteira para classificação como uma correlação muito forte (SHIMAKURA, 2006). Para o estado limite de utilização de deslocamentos máximos em estruturas de edifícios, vibração em pisos (especialmente ações induzidas pelo caminhar, ou a movimentação rítmica de pessoas), a estimativa precisa do módulo de elasticidade é fundamental. A partir de uma significância estatística entre MOE x D_{ap} , já indicada pela forte correlação de Pearson, esses estados limites de utilização poderão ser analisados, pela função de correlação entre MOE x D_{ap} .

A propriedade mecânica de dureza janka é de grande relevância na construção civil, especialmente, na industrialização de pisos. Esses elementos estruturais estão sujeitos ao arraste de móveis, o movimento intenso de pessoas, pisoteio com saltos de sapato, queda de objetos e situações similares, necessitando então de espécies resistentes a esses tipos de esforços. Em via de regra, quanto maior densidade básica do piso, mais qualidade e durabilidade ele terá. Os coeficientes de correlação de Pearson, para as correlações entre DE x D_{ap} e DT x D_{ap} , são $r = 0,8700$ e $r = 0,9067$, respectivamente. Portanto, ambas as correlações podem ser classificadas respectivamente como forte e muito forte, sendo possível selecionar espécies de madeiras, que poderão ser utilizadas para finalidades específicas, somente a partir da densidade aparente - D_{ap} .

A menor correlação entre as propriedades mecânicas observadas utilizada na verificação de resistência de elementos estruturais, foi D_{ap} x CIS cujo valor $r = 0,8331$. Apesar de ser a menor, ainda assim é uma correlação forte, sendo importante para explicar o comportamento de elementos sujeitos ao cisalhamento na flexão simples.

Para as propriedades físicas de contrações, a correlação é moderada. Apresentam o máximo valor as contrações volumétricas - CV onde $r = 0,5722$ e o menor, a contração tangencial - CT com $r = 0,4988$. Com esses valores, não é possível explicar de maneira precisa o seu comportamento, ou seja, não temos uma significância estatística para determinar o fenômeno físico somente com as contrações. Contudo, somente outros testes de significância poderão confirmar essa hipótese.

Os resultados obtidos no banco de dados do LPF, apresentam o mesmo comportamento que os obtidos por (ARAÚJO, 2007), (MELO *et al*, 1992), (PAULA *et al*, 1986) e (NASCIMENTO, 1993), mostrando coerência e congruência nesta análise.

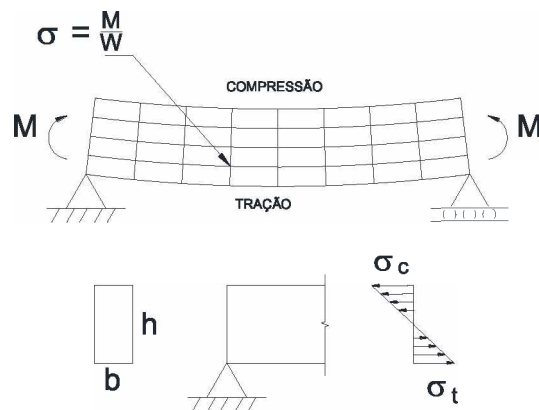
3.3.2 Estudo de Regressão Para Madeira Seca

Inicialmente foram realizados estudos de regressão com a Densidade Aparente D_{ap} como variável independente. Essa propriedade física, juntamente com a Densidade Básica D_b é a que melhor expressa relação com as outras propriedades mecânicas, além de poder ser facilmente determinada através de ensaios simples. Como visto anteriormente na Tabela 6.3 os coeficientes de Pearson apresentaram valores $r \geq 0,83$, evidenciando assim a possibilidade de se desenvolver um modelo matemático para funções de resistência de elementos estruturais de com significância estatística.

a) Densidade Aparente - D_{ap} e Tensão Resistente Nominal à Compressão na Flexão (MOR)

A Tensão Resistente Nominal de Compressão na Flexão (MOR) é utilizada na verificação de elementos estruturais submetidos à flexão simples e flexão composta (pelo método do ASD), correspondentes a um estado de tensões gradientes na flexão, conforme a Figura 3.2.

Figura 3.2 - Tensão de flexão em vigas



Para o estudo de regressão linear foi utilizado o software comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. e seu módulo ANOVA, em que os cálculos são realizados utilizando-se uma abordagem de regressão de mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre o preditor e uma variável contínua. A Tabela 3.3 mostra os resultados obtidos por essas análises.

Tabela 3.3 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – MOR x D_{ap}

RESUMO DOS RESULTADOS

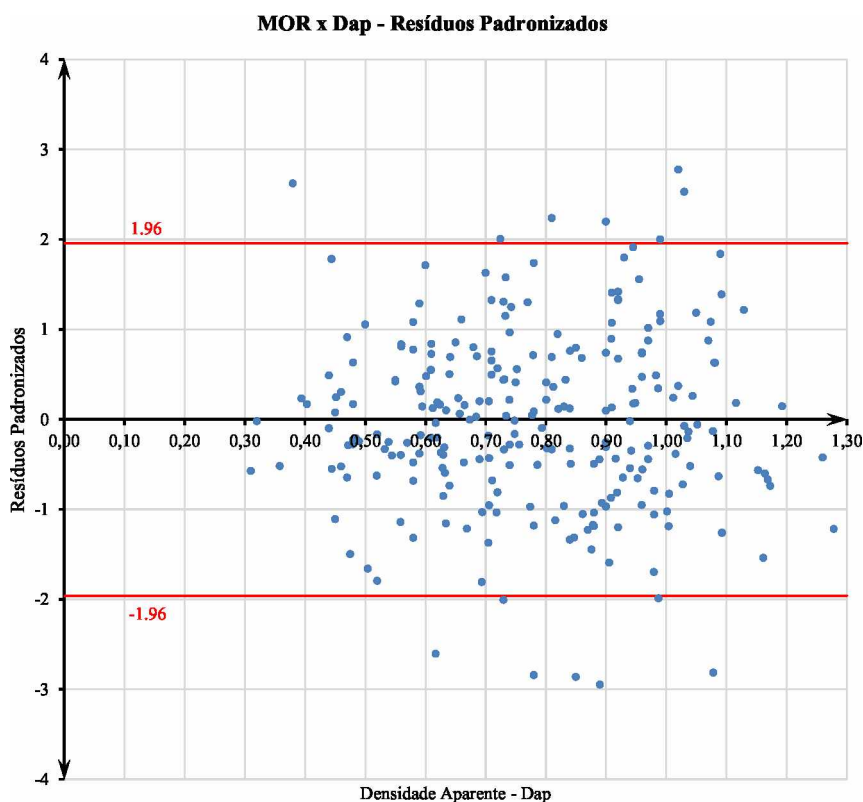
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,934705363
R-Quadrado	0,873674116
R-quadrado ajustar	0,873166783
Erro padrão	12,77751553
Observações	251

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	281157,2614	281157,2614	1722,092	7,3837E-114
Resíduo	249	40652,96086	163,2649031		
Total	250	321810,2222			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-13,20905454	3,23397757	-4,08446078	5,96E-05	-19,5784926	-6,839616492	-19,5784926	-6,839616492
D_{ap}	166,7424644	4,018074466	41,49810209	7,4E-114	158,8287186	174,6562102	158,8287186	174,6562102

Pela regressão linear estimada pelo módulo ANOVA, é possível determinar os resíduos entre os valores estimados e os valores observados da amostra. A Figura 3.3 mostra os resíduos padronizados em relação a densidade aparente D_{ap} .

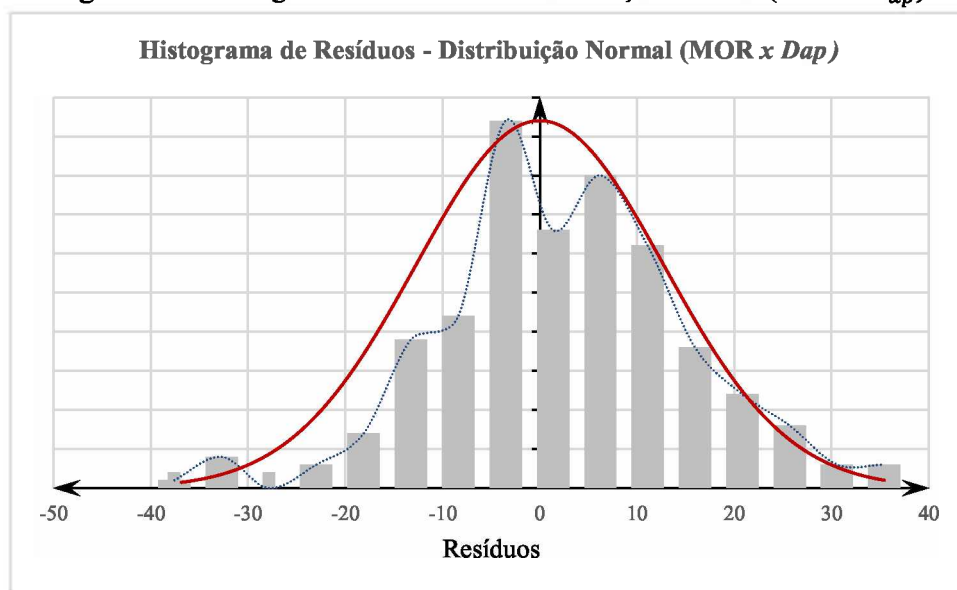
Figura 3.3– Diagrama de Dispersão MOR x D_{ap} (Resíduos Padronizados)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta um comportamento aleatório, não indicando tendências, ou padrões. Isso mostra que a função linear (equação da reta)

proposta pelo ANOVA apresenta, aparentemente, um bom resultado. Analisando-se o gráfico de resíduos, verifica-se que apenas 14 espécimes da amostra (espécies de árvores), correspondendo a 5,58% do espaço amostral analisado, possuem valores fora do intervalo de confiança (95% ou $1,96\sigma$). A distribuição dos resíduos é relativamente simétrica em relação ao desvio padrão nulo, ao longo da densidade básica. A distribuição resulta em 49,0% acima e 51,0% abaixo da linha correspondente ao desvio padrão nulo. Isso indica aparentemente uma distribuição uniforme e quase simétrica da amostra, que é um fator significativo para escolha de uma equação de regressão. Para garantir que os resíduos são independentes, é necessário traçar o histograma e fazer o teste de aderência do *Qui-Quadrado* (χ^2). O histograma dos resíduos apresentado na Figura 3.4 mostra a distribuição dos resíduos para todas as observações e a linha de distribuição das frequências. Pode-se observar que o comportamento das classes acompanha uma distribuição normal, sendo necessária apenas a confirmação com o teste de aderência, qui-quadrado (χ^2), para garantir a independência entre os resíduos obtidos pela diferença entre valores estimados pela função e os valores observados experimentalmente no laboratório.

Figura 3.4– Histograma de Resíduos / Distribuição Normal ($MOR \times D_{ap}$)



A Tabela 3.4 mostra os cálculos realizados para análise do teste de qui-quadrado (χ^2), onde foram determinadas as classes de frequência observada e as classes esperadas, conforme uma distribuição normal.

Tabela 3.4 -Teste do qui-quadrado (χ^2)

	<i>Frequência Observada (fo)</i>	<i>Probabilidade de Dist.normal</i>	<i>Frequência esperada (fe)</i>	$\chi^2 = (fe - fo)^2 / fe$	
3.σ	38,26	8	99,87%	5,37	1,286
2.σ	25,50	30	97,72%	34,11	0,496
1.σ	12,75	85	84,13%	85,68	0,005
0.σ	0,00	90	50,00%	85,68	0,218
-1.σ	-12,75	32	15,87%	34,11	0,131
-2.σ	-25,50	6	2,28%	5,71	0,015
-3.σ	-38,26	0			

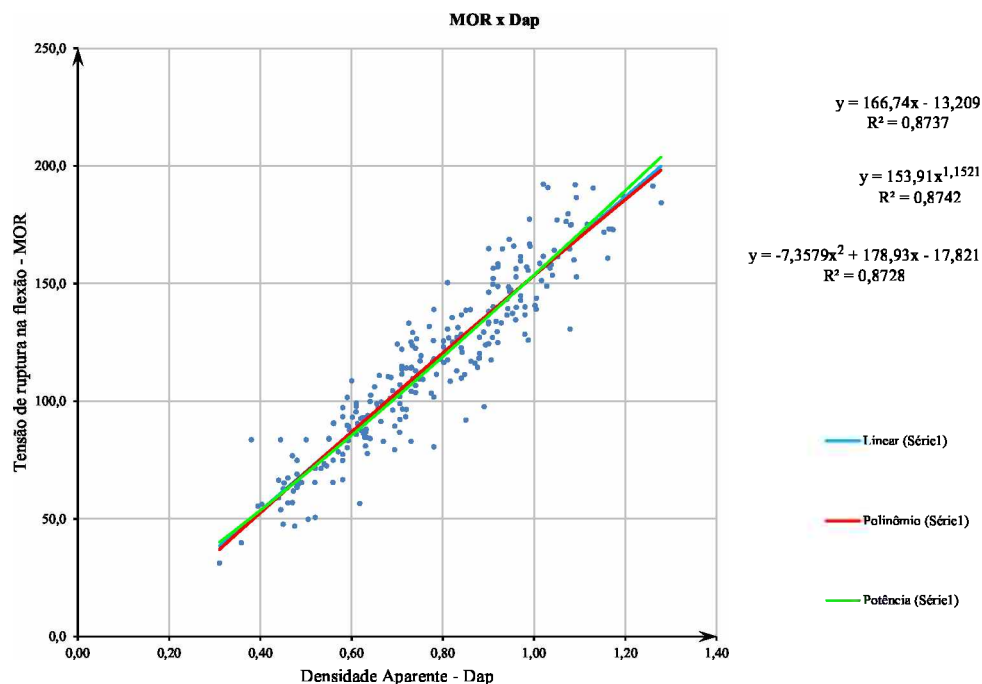
<i>Análise dos resíduos</i>	
Média	0
Desvio Padrão	12,75
Amostras	251

$$\begin{aligned} \Sigma \chi^2_{(TESTE)} &= 2,151 \\ GL &= 4 \\ \chi^2_{(CRÍTICO)} &= 9,49 \\ P(\Sigma \chi^2_{(TESTE)} > \chi^2_{(\alpha=0,05)}) &= 70,80\% \\ \Sigma \chi^2_{(TESTE)} &< \chi^2_{(CRÍTICO)} \end{aligned}$$

Não rejeitamos H0

Analisando os resultados obtidos, verifica-se $\chi^2_{teste} = 2,151 < \chi^2_{critico} = 9,49$. Esse resultado demonstra que não podemos rejeitar a hipótese nula (H_0), comprovando a existência de significância estatística entre a amostra (banco de dados de espécies) e a função escolhida. Foram traçados diagramas de dispersão para as 251 amostras e visualização do comportamento entre as duas variáveis MOR x D_{ap} . Em seguida, foram acrescentadas as linhas de tendência sobre a nuvem de pontos plotada neste diagrama e suas respectivas funções de regressão, conforme a Figura 3.5.

Figura 3.5 - Diagrama de Dispersão MOR x D_{ap} para Madeira Seca



O maior coeficiente de determinação encontrado é para a equação de potência ($R^2 = 0,8742$). Para a função polinomial de 2º grau, foi encontrado o menor dos valores do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8728$). Para a relação entre $MOR \times D_{ap}$, o F de significância obtido foi de $7,38 \times 10^{-114}$, que é muito menor que o valor de referência, normalmente considerado em análise de variância estatística – igual a 0,05. Isso confirma que a amostra apresenta significância estatística. Os testes de *Valor – P* para o interceptor e a variável independente apresentam os valores, respectivamente, de $5,96 \times 10^{-5}$ e $7,4 \times 10^{-114}$. Isso demonstra também que as duas constantes da função linear, estimada pelo ANOVA, tem significância estatística. O valor do coeficiente de determinação R^2 encontrado para a função de potência ($R^2 = 0,8742$) é 0,06% superior, quando comparado com o R^2 da função linear. Essa variação é irrelevante, não havendo nenhum ganho expressivo na escolha da função de potência, para estimar a tensão de resistência a compressão na flexão (MOR), como sugere Lahr (2004) em seus estudos. Portanto, tem-se a Tensão Resistente Nominal de Compressão na Flexão (MOR) em função da Densidade Aparente, para madeira seca, com $R^2 = 0,8737$, como abaixo:

$$MOR = 166,7425D_{ap} - 13,2091 \quad (3.1)$$

Onde:

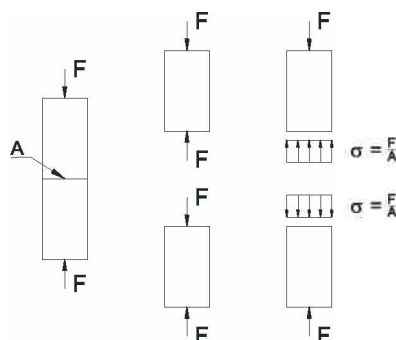
MOR : Tensão resistente nominal de compressão na flexão (MPa)

D_{ap} : Densidade Aparente (g/cm^3)

b) Densidade Aparente - D_{ap} e Tensão Resistente Nominal à Compressão Axial (CPA)

Diversos elementos estruturais são verificados através do uso da tensão resistente nominal de compressão axial (CPA) como elementos comprimidos de treliças, estroncas, pilares onde são feitas associações entre as cargas aplicadas e área da seção da peça a ser avaliada. Na Figura 3.6, pode-se verificar o exemplo de peças sujeitas à compressão axial em que as tensões são distribuídas uniformemente em qualquer seção transversal perpendicular ao ponto de aplicação da carga.

Figura 3.6 - Distribuição de Tensão de compressão



Esta propriedade também é utilizada na verificação da resistência de elementos sujeitos à flexocompressão, tração uniforme e compressão perpendicular as fibras.

Para o estudo de regressão linear, foi utilizado o software comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. e seu módulo ANOVA, em que os cálculos são realizados utilizando-se uma abordagem de regressão de mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre o preditor e uma variável contínua. A Tabela 3.5 mostra os resultados obtidos por essas análises.

Tabela 3.5 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – CPA x D_{ap}

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,94480784
R-Quadrado	0,892661854
R-quadrado ajustad	0,892203144
Erro padrão	5,882950446
Observações	236

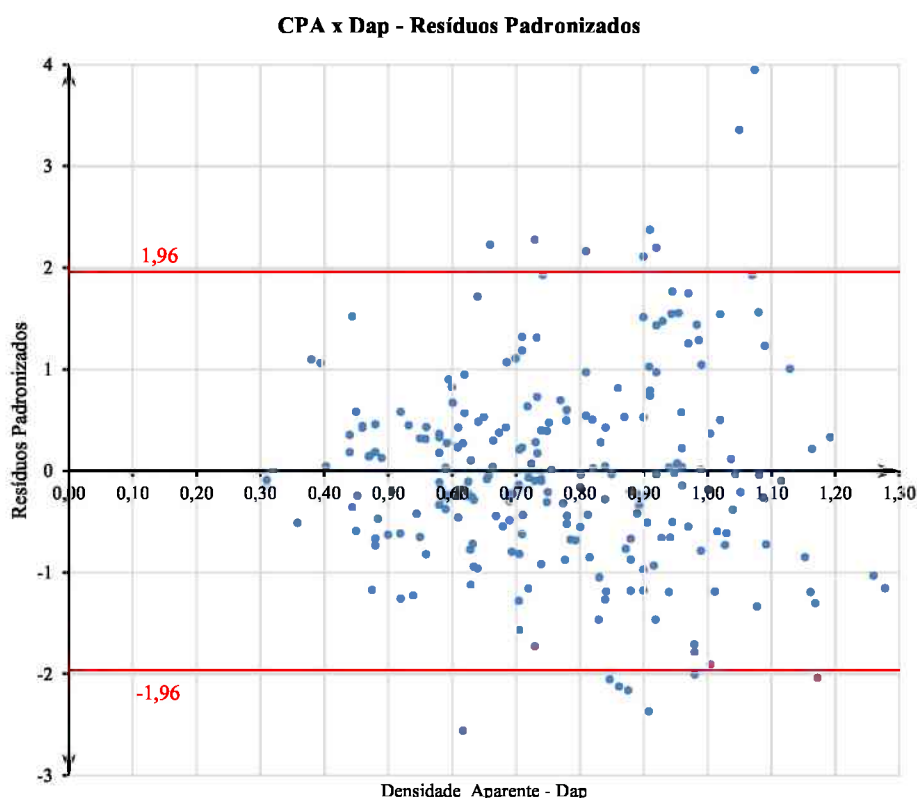
ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	67350,2365	67350,2365	1946,026	2,1854E-115
Resíduo	234	8098,530792	34,60910595		
Total	235	75448,76729			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
interseção	-3,068946504	1,531531438	-2,003841663	0,04624	-6,086298746	-0,051594262	-6,086298746	-0,051594262
Variável X 1	84,53863638	1,91637663	44,11379009	2,2E-115	80,76307998	88,31419277	80,76307998	88,31419277

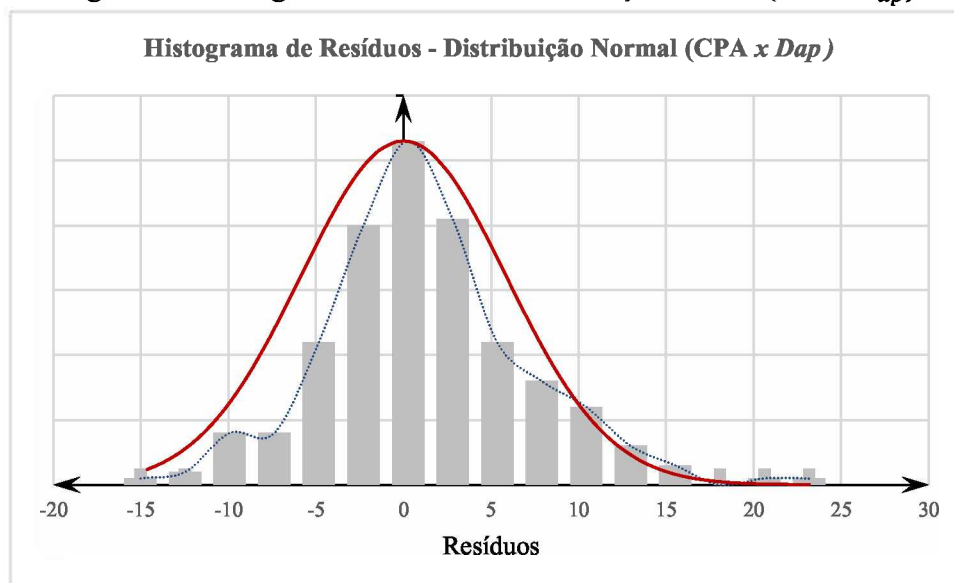
Pela regressão linear estimada pelo módulo ANOVA, é possível determinar os resíduos entre os valores estimados e os valores observados da amostra. A Figura 3.7 mostra os resíduos padronizados em relação à densidade aparente D_{ap} .

Figura 3.7– Diagrama de Dispersão CPA x D_{ap} (Resíduos Padronizados)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta um comportamento aleatório, não indicando tendências, ou padrões. Isso mostra que a função linear (equação da reta) proposta pelo ANOVA apresenta, aparentemente, um bom resultado. Analisando-se o gráfico de resíduos, verifica-se que apenas 14 espécimes da amostra (espécies de árvores), correspondendo a 6,78% do espaço amostral analisado, possuem valores fora do intervalo de confiança (95% ou $1,96\sigma$). A distribuição dos resíduos é relativamente simétrica em relação ao desvio padrão nulo, ao longo da densidade básica. A distribuição resulta em 47,46% acima e 52,54% abaixo da linha correspondente ao desvio padrão nulo. Isso indica aparentemente uma distribuição uniforme e quase simétrica da amostra, que é um fator significativo para escolha de uma equação de regressão. Para garantir que os resíduos são independentes, é necessário traçar o histograma e fazer o teste de aderência do *Qui-Quadrado* (χ^2). O histograma dos resíduos apresentado na Figura 3.8 mostra a distribuição dos resíduos para todas as observações e a linha de distribuição das frequências. Pode-se observar que o comportamento das classes acompanha uma distribuição normal, sendo necessária apenas a confirmação com o teste de aderência, qui-quadrado (χ^2), para garantir a independência entre os resíduos obtidos pela diferença entre valores estimados pela função e os valores observados experimentalmente no laboratório.

Figura 3.8 - Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (CPA x D_{ap})



A Tabela 3.6 - Teste do qui-quadrado (χ^2) mostra os cálculos realizados para análise do teste de qui-quadrado (χ^2), em que foram determinadas as classes de frequência observadas e as classes esperadas, conforme uma distribuição normal.

Tabela 3.6 - Teste do qui-quadrado (χ^2)

	<i>Frequência Observada (fo)</i>	<i>Probabilidade de Dist.normal</i>	<i>Frequência esperada (fe)</i>	$\chi^2 = (fe - fo)^2 / fe$	
3.σ	17,61	7	99,87%	5,05	0,753
2.σ	11,74	27	97,72%	32,07	0,803
1.σ	5,87	76	84,13%	80,56	0,258
0.σ	0,00	92	50,00%	80,56	1,625
-1.σ	-5,87	25	15,87%	32,07	1,560
-2.σ	-11,74	7	2,28%	5,37	0,495
-3.σ	-17,61	0			

<i>Análise dos resíduos</i>	
Média	0
Desvio Padrão	5,87
Amostras	236

$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} = 5,494$$

$$GL = 4$$

$$\chi^2_{(CRÍTICO)} = 9,49$$

$$P(\Sigma \chi^2_{(TESTE)} > \chi^2_{(\alpha=0,05)}) = 24,03\%$$

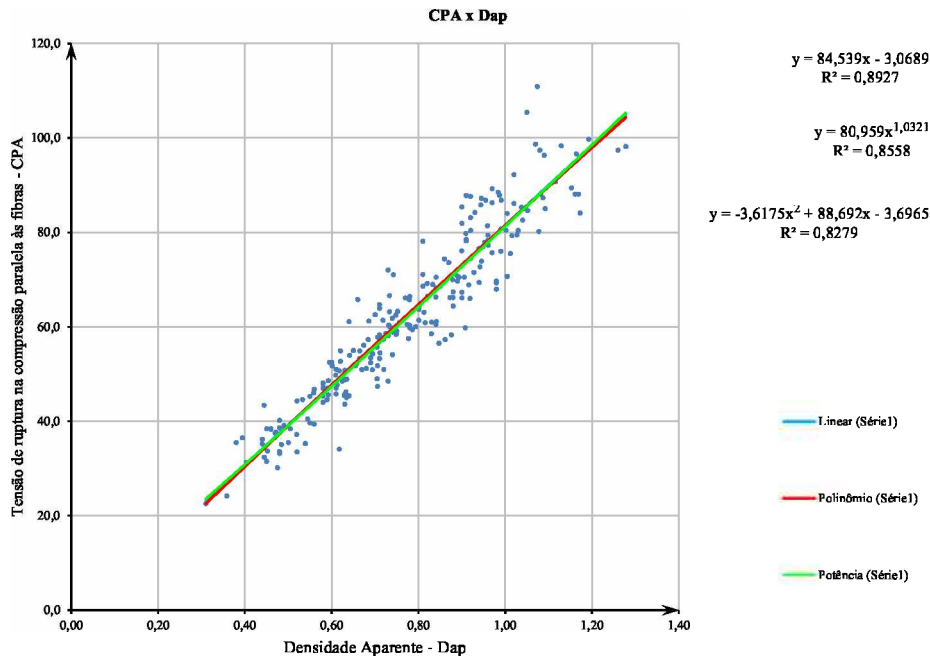
$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} < \chi^2_{(CRÍTICO)}$$

Não rejeitamos H₀

Analisando os resultados obtidos verifica-se $\chi^2_{teste} = 5,494 < \chi^2_{critico} = 9,49$. Esse resultado demonstra que não podemos rejeitar a hipótese nula (H₀), comprovando a existência de significância estatística entre a amostra (banco de dados de espécies) e a função escolhida. Foram traçados diagramas de dispersão para as 236 amostras e visualização do comportamento entre as

duas variáveis $CPA \times D_{ap}$. Em seguida, foram acrescentadas as linhas de tendência sobre a nuvem de pontos plotada neste diagrama e suas respectivas funções de regressão, conforme a Figura 3.9.

Figura 3.9 – Diagrama de Dispersão $CPA \times D_{ap}$ para Madeira Seca



O maior coeficiente de determinação encontrado é para a equação de 1º grau ($R^2 = 0,8927$). Para a função de 2º grau foi encontrado o menor dos valores do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8279$). Para a relação entre $CPA \times D_{ap}$, o F de significância obtido foi de $2,18 \times 10^{-115}$, que é muito menor que o valor de referência, normalmente considerado em análise de variância estatística – igual a 0,05. Isso confirma que a amostra apresenta significância estatística. Os testes de *Valor - P* para o interceptor e a variável independente apresentam os valores, respectivamente, de 0,04624 e $2,2 \times 10^{-115}$. Isso demonstra também que as duas constantes da função linear, estimada pelo ANOVA, tem significância estatística. O valor do coeficiente de determinação R^2 encontrado para a função de 1º grau ($R^2 = 0,8927$) é 4,31% superior, quando comparado com o R^2 da função potência. A equação do 1º grau apresenta melhores resultados para estimar a tensão resistente nominal de compressão axial (CPA), em desacordo com o que é sugerido pelos estudo de Lahr, (2004). Portanto, tem-se a Tensão Resistente Nominal de Compressão Axial (CPA) em função da Densidade Aparente, para madeira seca, com $R^2 = 0,8927$, como abaixo:

$$CPA = 84,5386D_{ap} - 3,0689 \quad (3.2)$$

Onde:

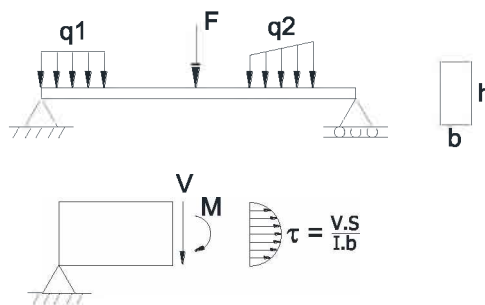
CPA : Tensão resistente nominal de compressão axial (MPa)

D_{ap} : Densidade Aparente (g/cm^3)

c) Densidade Aparente - D_{ap} e Tensão Resistente Nominal ao Cisalhamento Paralelo às Fibras (CIS)

A Tensão Resistente Nominal de Cisalhamento Paralelo às fibras (CIS) é utilizada na verificação de elementos estruturais submetidos a carregamentos perpendiculares (transversais) ao seu eixo longitudinal. A distribuição de tensão de cisalhamento para elementos retangulares sujeitos à flexão simples se dá de forma parabólica, conforme a Figura 3.10.

Figura 3.10 - Distribuição de Tensão de Cisalhamento



Para o estudo de regressão linear, foi utilizado o software comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. e seu módulo ANOVA, em que os cálculos são realizados, utilizando-se uma abordagem de regressão de mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre o preditor e uma variável contínua. A Tabela 3.7 mostra os resultados obtidos por essas análises.

Tabela 3.7– Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – CIS x D_{ap}

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,840210031
R-Quadrado	0,705952896
R-quadrado ajustado	0,704747785
Erro padrão	2,184148017
Observações	246

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	2794,555749	2794,555749	585,7990249	8,50242E-67
Resíduo	244	1164,002625	4,770502561		
Total	245	3958,558374			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-0,283342368	0,558730154	-0,507118448	0,612529718	-1,383892144	0,817207408	-1,383892144	0,817207408
Variável X1	16,79822476	0,694047294	24,20328542	8,50242E-67	15,43113621	18,16531331	15,43113621	18,16531331

Os testes de *Valor – P* para o intercepto e a variável independente apresentam os valores, respectivamente, de 0,6125 e $8,5024 \times 10^{-67}$. Isso demonstra que não podemos utilizar essa equação, pois o intercepto ultrapassa o valor de 0,05. Como os valores das amostras são obtidos através de ensaios, representando assim um comportamento físico, portanto de causa e efeito, pode-se então fazer com que a função linear de regressão passe pela origem ($x=0, y=0$), já que não se conhece todos os aspectos que explicam esse fenômeno. Elaborando novamente a análise estatística, obtém-se outro valor para a variável independente como mostra a

Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – CIS x D_{ap} , com a função linear passando pela origem.

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,986774361
R-Quadrado	0,973723639
R-quadrado ajustado	0,969642006
Ero padrão	2,180834376
Observações	246

ANOVA

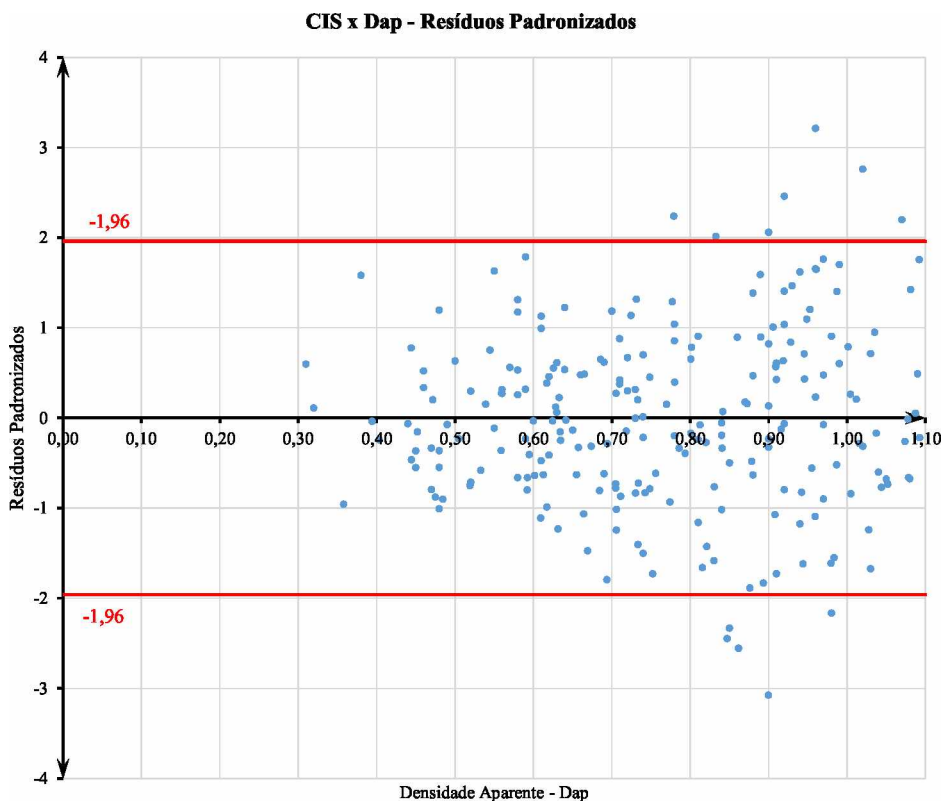
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	43179,93055	43179,93055	9078,969791	4,8916E-195
Resíduo	245	1165,229451	4,756038575		
Total	246	44345,16			

	Coefficientes	Ero padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intersecção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Variável Dap	16,45736767	0,172719784	95,28362814	1,2864E-195	16,11716256	16,79757278	16,11716256	16,79757278

Com a nova regressão linear estimada pelo módulo ANOVA, é possível determinar os resíduos entre os valores estimados e os valores observados da amostra. A

Figura 3.11 mostra os resíduos padronizados em relação a densidade aparente D_{ap} .

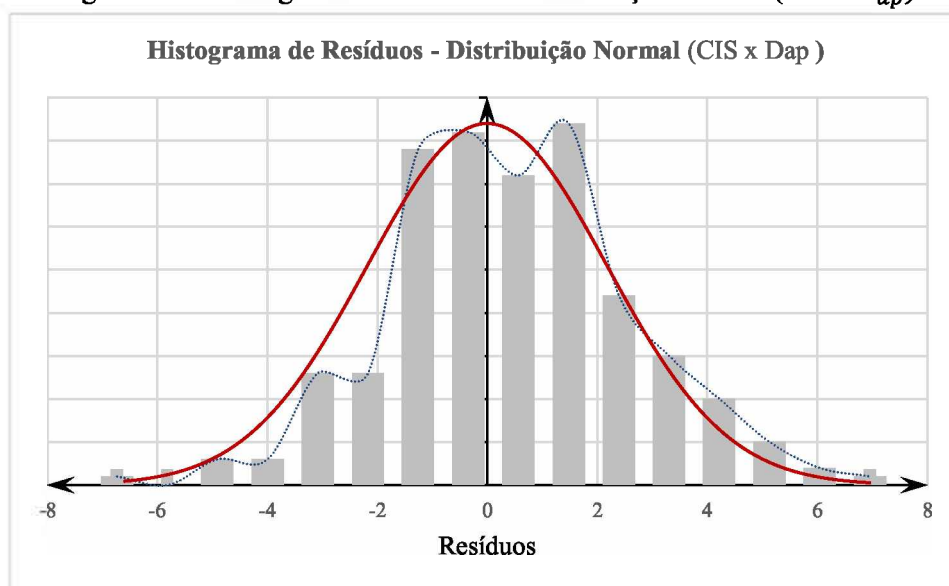
Figura 3.11 - Diagrama de Dispersão CIS x D_{ap} (Resíduos Padronizados)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta um comportamento aleatório, não indicando tendências, ou padrões. Isso mostra que a função linear (equação da reta) proposta

pelo ANOVA apresenta, aparentemente, um bom resultado. Analisando-se o gráfico de resíduos, verifica-se que apenas 13 espécimes da amostra (espécies de árvores), correspondendo a 4,37% do espaço amostral analisado, possuem valores fora do intervalo de confiança (95% ou $\pm 1,96\sigma$). A distribuição dos resíduos é relativamente simétrica em relação ao desvio padrão nulo, ao longo da densidade básica. A distribuição resulta em 46,34% acima e 53,66% abaixo da linha correspondente ao desvio padrão nulo. Isso indica aparentemente uma distribuição uniforme e quase simétrica da amostra, o que é um fator significativo para escolha de uma equação de regressão. Para garantir que os resíduos são independentes, é necessário traçar o histograma e fazer o teste de aderência do *Qui-Quadrado* (χ^2). O histograma dos resíduos apresentado na Figura 3.12 mostra a distribuição dos resíduos para todas as observações e a linha de distribuição das frequências. Pode-se observar que o comportamento das classes acompanha uma distribuição normal, sendo necessária apenas a confirmação com o teste de aderência, qui-quadrado (χ^2), para garantir a independência entre os resíduos obtidos pela diferença entre valores estimados pela função e os valores observados experimentalmente no laboratório.

Figura 3.12– Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (CIS x D_{ap})



A Tabela 3.9 mostra os cálculos realizados para análise do teste de qui-quadrado (χ^2), onde foram determinadas as classes de frequência observadas e as classes esperada, conforme uma distribuição normal.

Tabela 3.9 - Tabela de teste do qui-quadrado (χ^2)

	<i>Frequência Observada (fo)</i>	<i>Probabilidade de Dist.normal</i>	<i>Frequência esperada (fe)</i>	$\chi^2 = (fe - fo)^2 / fe$	
3. σ	6,54	7	99,87%	5,26	0,572
2. σ	4,36	29	97,72%	33,43	0,588
1. σ	2,18	77	84,13%	83,97	0,579
0. σ	0,00	98	50,00%	83,97	2,344
-1. σ	-2,18	29	15,87%	33,43	0,588
-2. σ	-4,36	4	2,28%	5,59	0,452
-3. σ	-6,54	1	0,13%	0,32	1,408
-3. σ	-8,72	0	0,00%	0,01	0,008

<i>Análise dos resíduos</i>	
Média	0
Desvio Padrão	2,18
Amostras	246

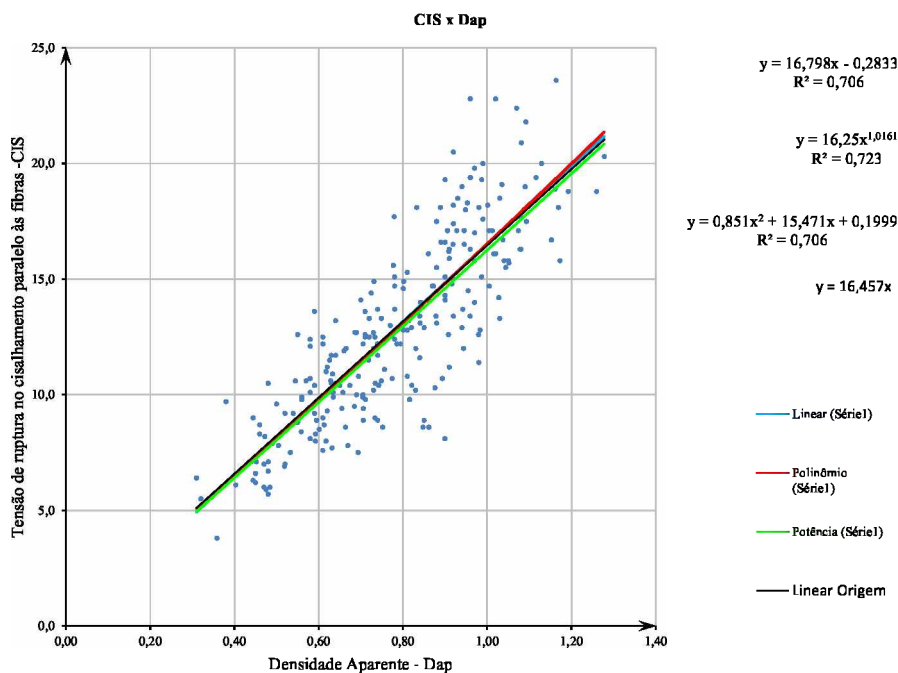
$$\begin{aligned} \Sigma \chi^2_{(TESTE)} &= 6,538 \\ GL &= 6 \\ \chi^2_{(CRÍTICO)} &= 12,59 \\ P(\Sigma \chi^2_{(TESTE)} > \chi^2_{(\alpha=0,05)}) &= 36,57\% \end{aligned}$$

$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} < \chi^2_{(CRÍTICO)}$$

Não rejeitamos H0

Analisando os resultados obtidos, verifica-se $\chi^2_{teste} = 6,538 < \chi^2_{crítico} = 12,59$. Esse resultado demonstra que não podemos rejeitar a hipótese nula (H_0), comprovando a existência de significância estatística entre a amostra (banco de dados de espécies) e a função escolhida. Foram traçados diagramas de dispersão para as 246 amostras e visualização do comportamento entre as duas variáveis $CIS \times D_{ap}$. Em seguida, foram acrescentadas as linhas de tendência sobre a nuvem de pontos plotada neste diagrama e suas respectivas funções de regressão, conforme a Figura 3.13.

Figura 3.13– Diagrama de Dispersão $CIS \times D_{ap}$ para Madeira Seca



Para a relação entre CIS x D_{ap} , o F de significância obtido foi de $4,891 \times 10^{-195}$, que é muito menor que o valor de referência, normalmente considerado em análise de variância estatística – igual a 0,05. Isso confirma que a amostra apresenta significância estatística. O teste de *Valor – P* para a variável independente apresenta o valor de $1,286 \times 10^{-195}$. Isso demonstra também que variável independente, estimada pelo ANOVA, tem significância estatística. Portanto, tem-se a Tensão Resistente Nominal de Cisalhamento Paralelo às Fibras (CIS) em função da Densidade Aparente, para madeira verde, como abaixo:

$$CIS = 16,4574D_{ap} \quad (3.3)$$

Onde:

CIS : Tensão resistente nominal ao cisalhamento paralelo às fibras (MPa)

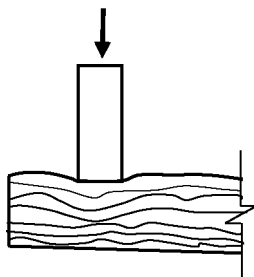
D_{ap} : Densidade Aparente (g/cm^3)

d) Densidade Aparente - D_{ap} e Tensão Resistente Nominal à Compressão Perpendicular às Fibras (CPE)

A Tensão Resistente Nominal de Compressão Perpendicular às Fibras (CPE) não é utilizada para o dimensionamento de elementos madeira pela NBR 7190, mas como foi visto anteriormente existe uma forte correlação entre CPE e CPA podendo ser utilizada, em futuro próximo, como a tensão resistente para o dimensionamento de peças com cargas localizadas como apoios de vigas, treliças, e dormentes de 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. A Figura

3.14 apresenta a tensão de compressão normal as fibras entre duas peças de madeira de seção retangular.

Figura 3.14 - Tensão de Compressão Normal as Fibras em peças de Madeira



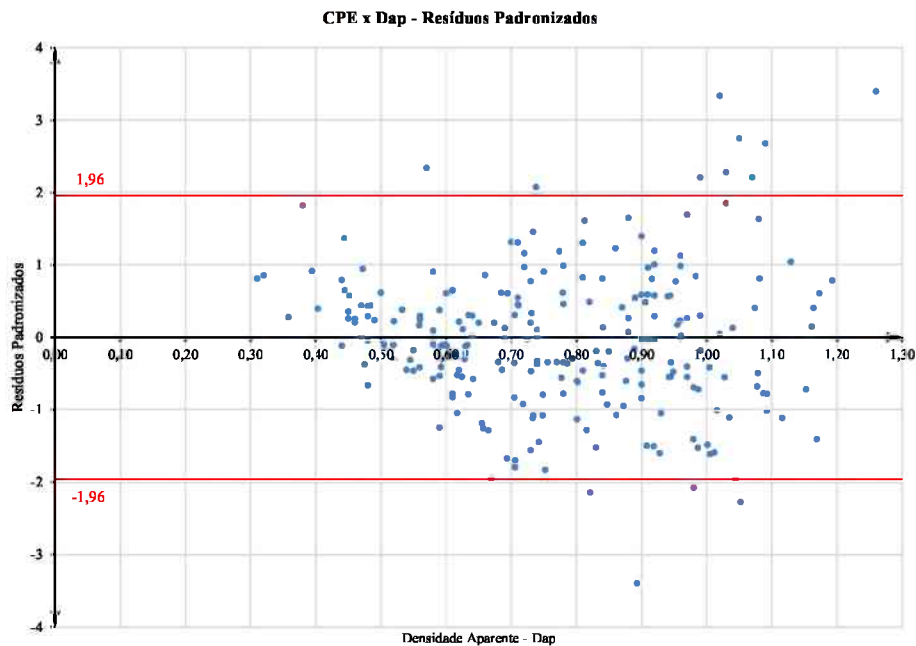
Para o estudo de regressão linear foi utilizado o software comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. e seu módulo ANOVA, em que os cálculos são realizados, utilizando-se uma abordagem de regressão de mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre o preditor e uma variável contínua. A Tabela 3.10, mostra os resultados obtidos por essas análises.

Tabela 3.10 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $CPE \times D_{ap}$

RESUMO DOS RESULTADOS							
<i>Estatística de regressão</i>							
R múltiplo	0,897120622						
R-Quadrado	0,80482541						
R-quadrado ajustad	0,804025515						
Erro padrão	2,101157175						
Observações	246						
ANOVA							
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>		
Regressão	1	4442,069125	4442,069125	1006,163	1,53519E-88		
Resíduo	244	1077,2262	4,414861474				
Total	245	5519,295325					
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i> <i>superior 95,0%</i>
Interseção	-6,254102866	0,535983673	-11,66845778	2,72E-25	-7,309848127	-5,198357605	-7,30984813 -5,1983576
Variável X 1	21,13519195	0,666303479	31,72006844	1,54E-88	19,82275134	22,44763257	19,82275134 22,4476326

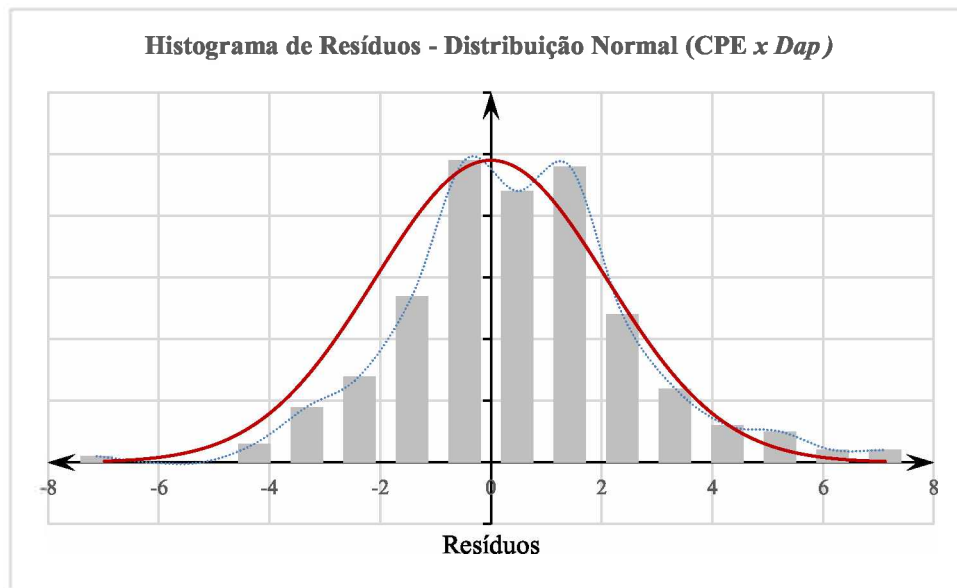
Pela regressão linear estimada pelo módulo ANOVA, é possível determinar os resíduos entre os valores estimados e os valores observados da amostra. A Figura 3.15 mostra os resíduos padronizados em relação à densidade aparente D_{ap} .

Figura 3.15– Diagrama de Dispersão $CPE \times D_{ap}$ (Resíduos Padronizados)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta um comportamento aleatório, não indicando tendências ou padrões. Isso mostra que a função linear (equação da reta) proposta pelo ANOVA apresenta, aparentemente, um bom resultado. Analisando-se o gráfico de resíduos, verifica-se que apenas 14 espécimes da amostra (espécies de árvores), correspondendo a 5,69% do espaço amostral analisado, possuem valores fora do intervalo de confiança (95% ou $\pm 1,96\sigma$). A distribuição dos resíduos é relativamente simétrica em relação ao desvio padrão nulo, ao longo da densidade básica. A distribuição resulta em 49,19% acima e 50,81% abaixo da linha correspondente ao desvio padrão nulo. Isso indica aparentemente uma distribuição uniforme e quase simétrica da amostra, que é um fator significativo para escolha de uma equação de regressão. Para garantir que os resíduos são independentes, é necessário traçar o histograma e fazer o teste de aderência do *Qui-Quadrado* (χ^2). O histograma dos resíduos apresentados na Figura 3.16 mostra a distribuição dos resíduos para todas as observações e a linha de distribuição das frequências. Pode-se observar que o comportamento das classes acompanha uma distribuição normal, sendo necessária apenas a confirmação com o teste de aderência, qui-quadrado (χ^2), para garantir a independência entre os resíduos obtidos pela diferença entre valores estimados pela função e os valores observados experimentalmente no laboratório.

Figura 3.16 - Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (*CPE x D_{ap}*)



A

Tabela 3.11 mostra os cálculos realizados para análise do teste de qui-quadrado (χ^2), em que foram determinadas as classes de frequência observadas e as classes esperada, conforme uma distribuição normal.

Tabela 3.11-Tabela de teste do qui-quadrado (χ^2)

	<i>Frequência Observada (fo)</i>	<i>Probabilidade de Dist.normal</i>	<i>Frequência esperada (fe)</i>	$\chi^2 = (fe - fo)^2 / fe$	
3. σ	6,29	7	99,87%	5,26	0,572
2. σ	4,19	22	97,72%	33,43	3,910
1. σ	2,10	90	84,13%	83,97	0,433
0. σ	0,00	87	50,00%	83,97	0,109
-1. σ	-2,10	34	15,87%	33,43	0,010
-2. σ	-4,19	3	2,28%	5,26	0,974
-3. σ	-6,29	1	0,13%	0,33	1,343

<i>Análise dos resíduos</i>	
Média	0
Desvio Padrão	2,10
Amostras	246

$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} = 7,351$$

$$GL = 5$$

$$\chi^2_{(CRÍTICO)} = 11,07$$

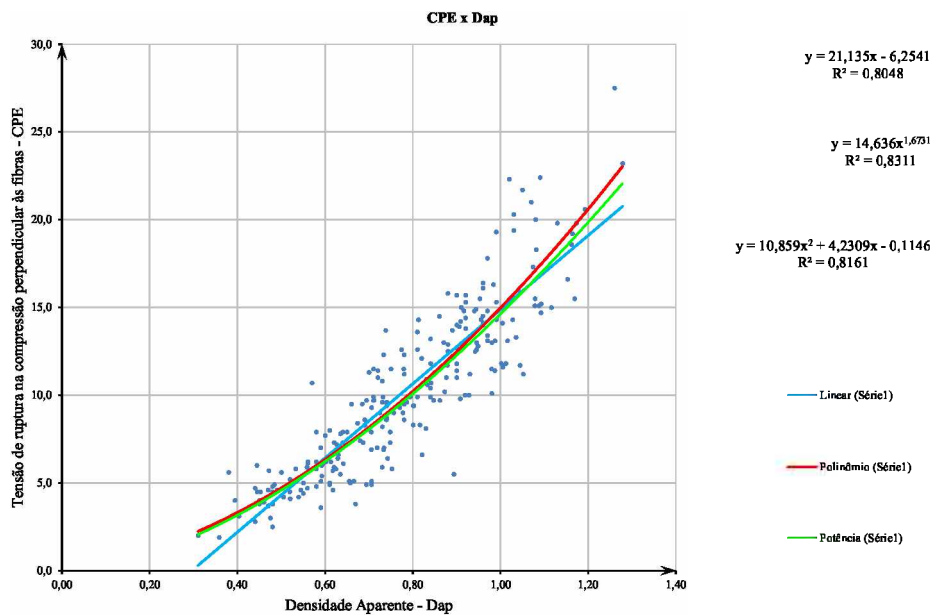
$$P(\Sigma \chi^2_{(TESTE)} > \chi^2_{(\alpha=0,05)}) = 19,58\%$$

$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} < \chi^2_{(CRÍTICO)}$$

Não rejeitamos H0

Analisando os resultados obtidos, verifica-se $\chi^2_{teste} = 7,351 < \chi^2_{critico} = 11,07$. Esse resultado demonstra que não podemos rejeitar a hipótese nula (H_0), comprovando a existência de significância estatística entre a amostra (banco de dados de espécies) e a função escolhida. Foram traçados diagramas de dispersão para as 246 amostras e visualização do comportamento entre as duas variáveis $CPE \times D_{ap}$. Em seguida, foram acrescentadas as linhas de tendência sobre a nuvem de pontos plotada neste diagrama e suas respectivas funções de regressão, conforme a Figura 3.17.

Figura 3.17 - Diagrama de Dispersão $CPE \times D_{ap}$ para Madeira Seca



O maior coeficiente de determinação encontrado é para a equação de potência ($R^2 = 0,8311$). Para a função de 1º grau, foi encontrado o menor dos valores do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8048$). Para a relação entre $CPE \times D_{ap}$, o F de significância obtido foi de $1,53 \times 10^{-88}$, que é muito menor que o valor de referência, normalmente considerado em análise de variância estatística – igual a 0,05. Isso confirma que a amostra apresenta significância estatística. Os testes de *Valor – P* para o intercepto e a variável independente apresentam os valores, respectivamente, de $2,72 \times 10^{-25}$ e $1,54 \times 10^{-88}$. Isso demonstra também que as duas constantes da função linear, estimada pelo ANOVA, tem significância estatística. O valor do coeficiente de determinação R^2 encontrado para a função de potência ($R^2 = 0,8311$) é 3,27% superior, quando comparado com o R^2 da função linear. Essa variação não é relevante, não havendo nenhum ganho expressivo na escolha da função de potência, para estimar tensão resistente nominal de compressão perpendicular às fibras (CPE), como sugere Lahr (2004) em seus estudos. Portanto, tem-se a Tensão Resistente Nominal de Compressão Perpendicular às Fibras (CPE) em função da Densidade Aparente, para madeira seca, com $R^2 = 0,8048$, como abaixo:

$$CPE = 23,1352D_{ap} - 6,2541 \quad (3.4)$$

Onde:

CPE : Tensão Resistente Nominal à Compressão Perpendicular às Fibras (MPa)

D_{ap} : Densidade básica (g/cm^3)

e) Densidade Aparente - D_{ap} e Módulo de Elasticidade à Flexão (MOE)

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. O Módulo de Elasticidade é utilizado na avaliação do estado limite de utilização, especialmente para verificação de deslocamentos em elementos estruturais e vibração. O Módulo de Elasticidade também é importante para estudos de arqueamento de peças de madeira e, também, para a comparação entre espécies. A Figura 3.18 apresenta a tensão de compressão normal às fibras entre duas peças de madeira de seção retangular.

Figura 3.18 - Tensão de Compressão Normal às Fibras em peças de Madeira



Para o estudo de regressão linear, foi utilizado o software comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. e seu módulo ANOVA, em que os cálculos são realizados, utilizando-se uma abordagem de regressão de mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre o preditor e uma variável contínua. A Tabela 3.12, mostra os resultados obtidos por essas análises.

Tabela 3.12 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA – $MOE \times D_{ap}$

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,890750382
R-Quadrado	0,793436244
R-quadrado ajustar	0,792609988
Erro padrão	1305,013073
Observações	252

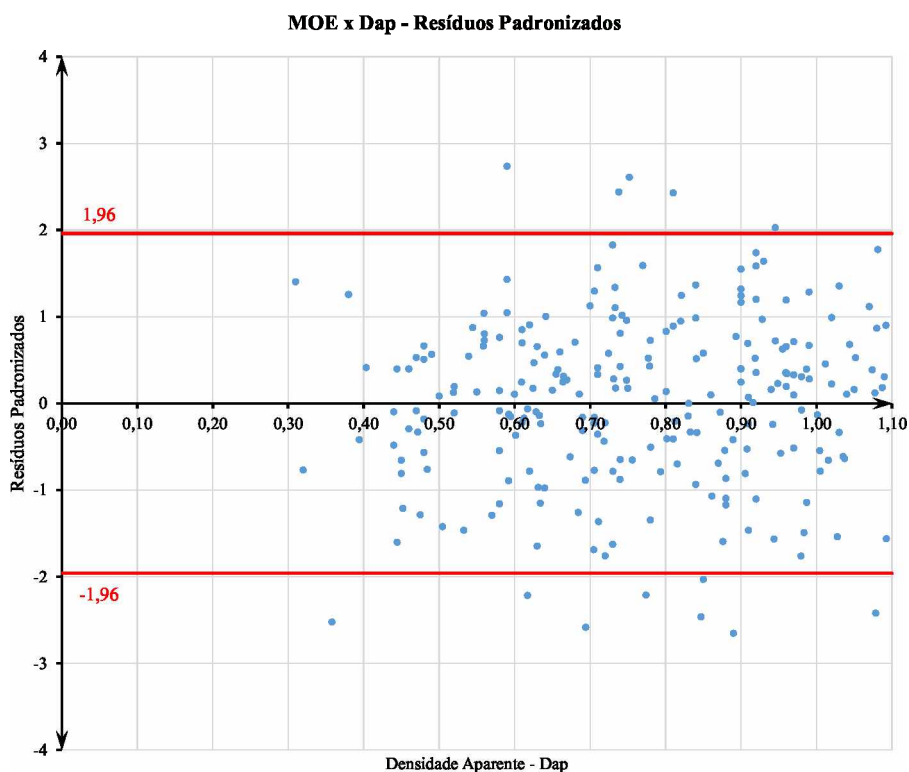
ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	1635413751	1635413751	960,2800813	1,36175E-87
Resíduo	250	425764780,3	1703059,121		
Total	251	2061178532			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	3229,165692	330,3223221	9,775802229	2,53121E-19	2578,59641	3879,734975	2578,59641	3879,734975
Variável D_{ap}	12726,75046	410,6941989	30,98838623	1,36175E-87	11917,88889	13535,61202	11917,88889	13535,61202

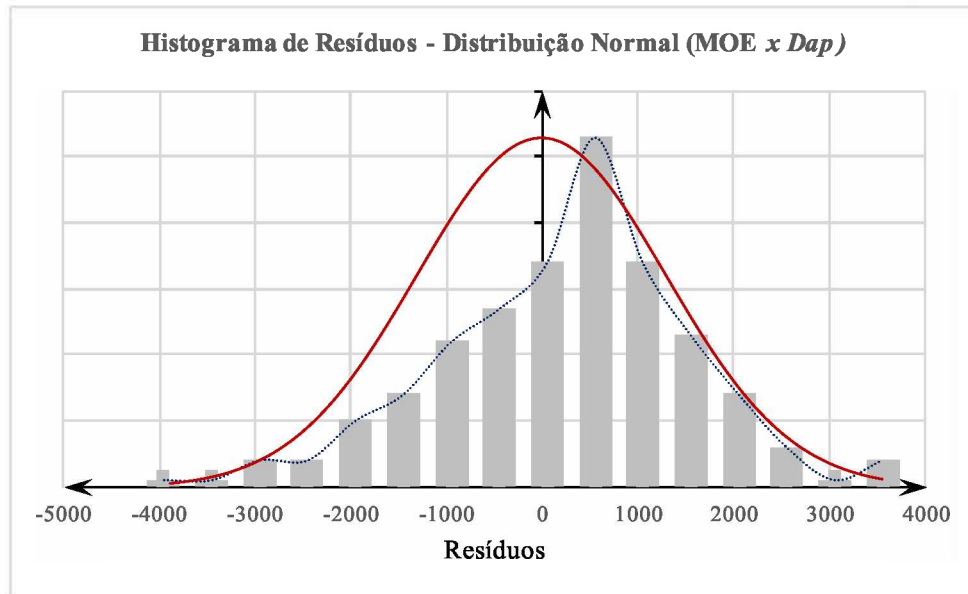
Pela regressão linear estimada pelo módulo ANOVA, é possível determinar os resíduos entre os valores estimados e os valores observados da amostra. A Figura 3.19 mostra os resíduos padronizados em relação a densidade aparente D_{ap} .

Figura 3.19 - Diagrama de Dispersão $MOE \times D_{ap}$ (Resíduos Padronizados)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta um comportamento aleatório, não indicando tendências, ou padrões. Isso mostra que a função linear (equação da reta) proposta pelo ANOVA apresenta, aparentemente, um bom resultado. Analisando-se o gráfico de resíduos, verifica-se que apenas 15 espécimes da amostra (espécies de árvores), correspondendo a 5,95% do espaço amostral analisado, possuem valores fora do intervalo de confiança (95% ou $\pm 1,96\sigma$). A distribuição dos resíduos é relativamente simétrica em relação ao desvio padrão nulo, ao longo da densidade básica. A distribuição resulta em 54,76% acima e 45,24% abaixo da linha correspondente ao desvio padrão nulo. Isso indica aparentemente uma distribuição uniforme e quase simétrica da amostra, que é um fator significativo para escolha de uma equação de regressão. Para garantir que os resíduos são independentes, é necessário traçar o histograma e fazer o teste de aderência do *Qui-Quadrado* (χ^2). O histograma dos resíduos apresentados na Figura 3.20 mostra a distribuição dos resíduos para todas as observações e a linha de distribuição das frequências. Pode-se observar que o comportamento das classes acompanha uma distribuição normal, sendo necessário apenas a confirmação com o teste de aderência, qui-quadrado (χ^2), para garantir a independência entre os resíduos obtidos pela diferença entre valores estimados pela função e os valores observados experimentalmente no laboratório.

Figura 3.20 - Histograma de Resíduos / Distribuição Normal (MOE x D_{ap})



A Tabela 3.13 mostra os cálculos realizados para análise do teste de qui-quadrado (χ^2), onde foram determinadas as classes de frequência observadas e as classes esperada, conforme uma distribuição normal.

Tabela 3.13 - Teste do qui-quadrado (χ^2)

	<i>Frequência Observada (fo)</i>	<i>Probabilidade de Dist.normal</i>	<i>Frequência esperada (fe)</i>	$\chi^2 = (fe - fo)^2 / fe$
3.σ	6,29	7	99,87%	5,26
2.σ	4,19	22	97,72%	33,43
1.σ	2,10	90	84,13%	83,97
0.σ	0,00	87	50,00%	83,97
-1.σ	-2,10	34	15,87%	33,43
-2.σ	-4,19	3	2,28%	5,26
-3.σ	-6,29	1	0,13%	0,33

<i>Análise dos resíduos</i>	
Média	0
Desvio Padrão	2,10
Amostras	246

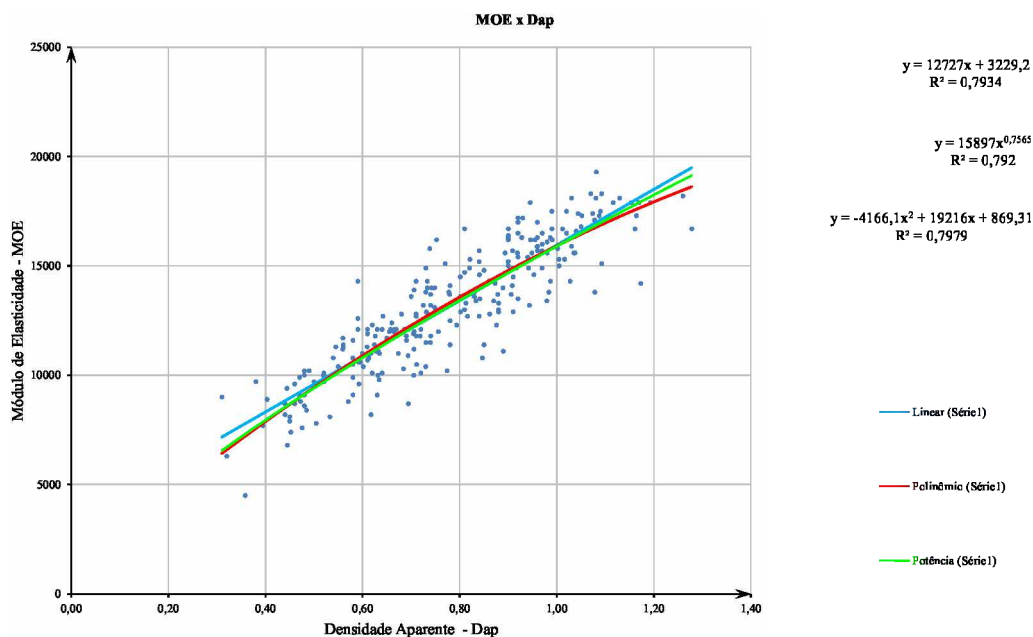
$$\begin{aligned} \Sigma \chi^2_{(TESTE)} &= 7,351 \\ GL &= 5 \\ \chi^2_{(CRÍTICO)} &= 11,07 \\ P(\Sigma \chi^2_{(TESTE)} > \chi^2_{(\alpha=0,05)}) &= 19,58\% \end{aligned}$$

$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} < \chi^2_{(CRÍTICO)}$$

Não rejeitamos H₀

Analisando os resultados obtidos verifica-se $\chi^2_{teste} = 7,907 < \chi^2_{critico} = 11,07$. Esse resultado demonstra que não podemos rejeitar a hipótese nula (H₀), comprovando a existência de significância estatística entre a amostra (banco de dados de espécies) e a função escolhida. Foram traçados diagramas de dispersão para as 252 amostras e visualização do comportamento entre as duas variáveis MOE x D_{ap}. Em seguida, foram acrescentadas as linhas de tendência sobre a nuvem de pontos plotada neste diagrama e suas respectivas funções de regressão, conforme a Figura 3.21.

Figura 3.21– Diagrama de Dispersão MOE x D_{ap} para Madeira Seca



O maior coeficiente de determinação encontrado é para a equação de 2º grau ($R^2 = 0,7979$). Para a função potência, foi encontrado o menor dos valores do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,792$). Para a relação entre MOE x D_{ap} , o F de significância obtido foi de $1,362 \times 10^{-87}$, que é muito menor que o valor de referência, normalmente considerado em análise de variância estatística – igual a 0,05. Isso confirma que a amostra apresenta significância estatística. Os testes de Valor – P para o interceptor e a variável independente apresentam os valores, respectivamente, de $2,531 \times 10^{-19}$ e $1,362 \times 10^{-87}$. Isso demonstra também que as duas constantes da função linear, estimadas pelo ANOVA, têm significância estatística. O valor do coeficiente de determinação R^2 encontrado para a função de 2º grau ($R^2 = 0,7979$) é 0,57% superior, quando comparado com o R^2 da função linear. Essa variação não é relevante, não havendo nenhum ganho expressivo na escolha da função de 2º grau, para estimar módulo de elasticidade à flexão.

Portanto, tem-se a módulo de elasticidade à flexão (MOE) em função da Densidade Básica, para madeira verde, com $R^2 = 0,7934$, como abaixo:

$$MOE = 12.726,7504D_{ap} + 3.229,1657 \quad (3.5)$$

Onde:

MOE : Módulo de elasticidade à flexão (MPa)

D_{ap} : Densidade Aparente (g/cm^3)

3.3.3 Estudo de Regressão Entre a Densidade Aparente D_{ap} e Densidade Básica D_b

Devido à existência de uma correlação muito forte $r = 0,9791$ entre a densidade aparente D_{ap} e densidade básica D_b (Tabela 3.2), pode-se estimar as equações de resistência mecânica para madeira seca em função da densidade básica D_b . Para esse estudo de regressão linear, foi utilizado o software comercial Excel da Microsoft Corporation Inc. e seu módulo ANOVA, em que os cálculos são realizados, utilizando-se uma abordagem de regressão de mínimos quadrados para descrever a relação estatística entre o preditor e uma variável contínua. A Tabela 3.14, mostra os resultados obtidos por essas análises.

Tabela 3.14 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA $D_{ap} \times D_b$

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estadística de regressão</i>	
R múltiplo	0,9791353
R-Quadrado	0,958032513
R-quadrado ajustado	0,957868577
Erro padrão	0,041050901
Observações	258

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	9,848103996	9,848103996	5843,960187	2,751E-178
Resíduo	256	0,431405167	0,001685176		
Total	257	10,27950916			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-0,004862209	0,010576534	-0,459716694	0,646109752	-0,025690302	0,015965883	-0,025690302	0,015965883
Db	1,267895022	0,016585542	76,44579901	2,751E-178	1,235233547	1,300556497	1,235233547	1,300556497

Os testes de Valor – P para o intercepto e a variável independente apresentam os valores, respectivamente, de 0,6461 e $2,75 \times 10^{-178}$. Isso demonstra que não podemos utilizar essa equação, pois o intercepto ultrapassa o valor de 0,05, portanto realiza-se um novo estudo onde a função linear de regressão passe pela origem ($x=0$, $y=0$). Elaborando novamente a análise estatística obtém-se outro valor para a variável independente como mostra a Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Estudo de Regressão linear pelo ANOVA- D_{ap} x D_b com a função linear passando pela origem.

RESUMO DOS RESULTADOS

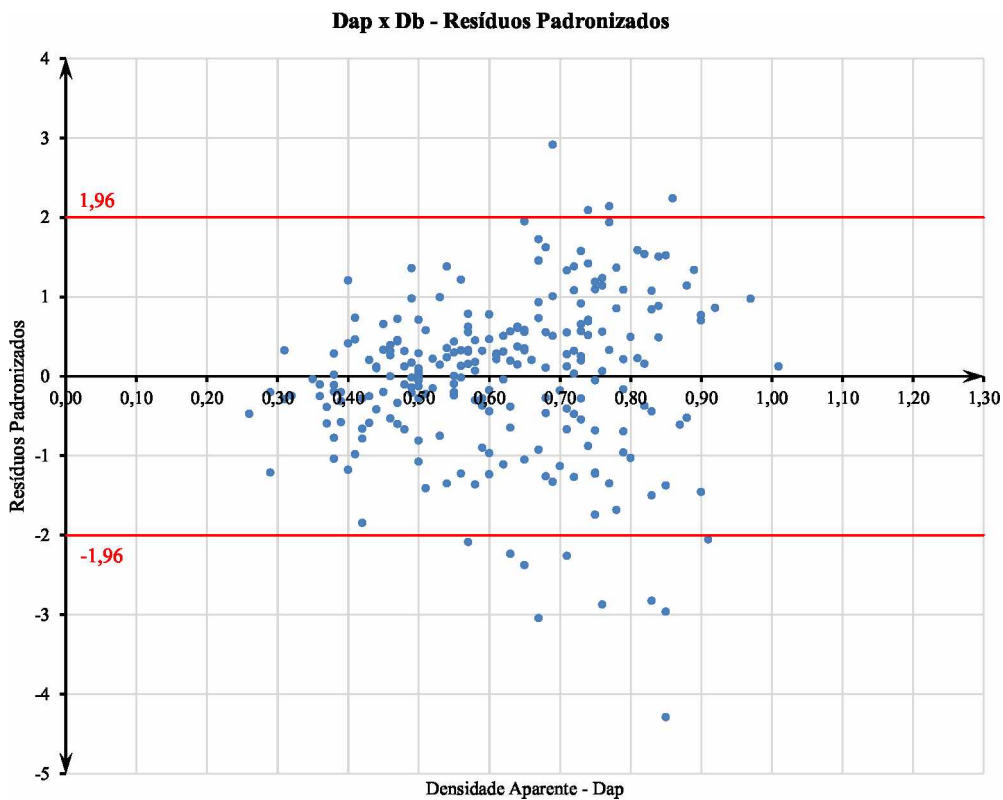
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,998894816
R-Quadrado	0,997790853
R-quadrado ajustado	0,993838284
Erro padrão	0,03781594
Observações	254

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	163,4125143	163,4125143	114270,8631	0
Resíduo	253	0,361801469	0,001430045		
Total	254	163,7743158			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Variável Dap	1,260928504	0,003730119	338,039736	0	1,253582464	1,268274544	1,253582464	1,268274544

Com a nova regressão linear estimada pelo módulo ANOVA, é possível determinar os resíduos entre os valores estimados e os valores observados da amostra. Os resíduos obtidos por essa regressão apresentam um comportamento aleatório, não indicando tendências ou padrões, conforme a Figura 3.22

Figura 3.22 - Diagrama de Dispersão D_{ap} x D_b (Resíduos Padronizados)



Para garantir que os resíduos são independentes, é necessário traçar o histograma e fazer o teste de aderência do Qui-Quadrado (χ^2). A Tabela 3.16 mostra os cálculos realizados para análise do teste de Qui-quadrado (χ^2), em que foram determinadas as classes de frequência observadas e as classes esperadas, conforme uma distribuição normal.

Tabela 3.16 - Tabela de teste do qui-quadrado (χ^2)

		<i>Frequência Observada (fo)</i>	<i>Probabilidade de Dist.normal</i>	<i>Frequência esperada (fe)</i>	$\chi^2 = (fe - fo)^2 / fe$
3.σ	0,11	4	99,87%	5,41	0,369
2.σ	0,07	29	97,72%	34,38	0,843
1.σ	0,04	104	84,13%	86,36	3,603
0.σ	0,00	79	50,00%	86,36	0,627
-1.σ	-0,04	27	15,87%	34,38	1,586
-2.σ	-0,07	9	2,28%	5,76	1,829
-3.σ	-0,11	1	0,13%	0,34	1,270
-3.σ	-0,15	0			

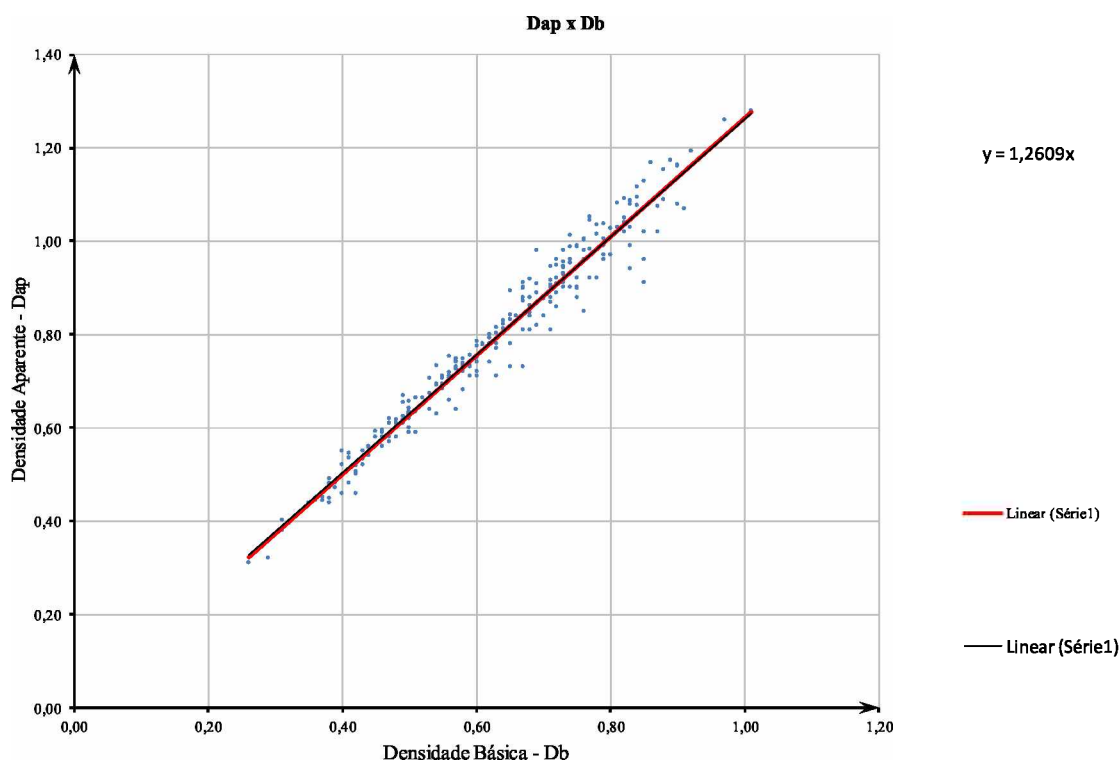
<i>Análise dos resíduos</i>			
Média	0	$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} =$	10,127
Desvio Padrão	0,04	GL =	5
Amostras	253	$\chi^2_{(CRÍTICO)} =$	11,07
		$P(\Sigma \chi^2_{(TESTE)} > \chi^2_{(\alpha=0,05)}) =$	7,17%

$$\Sigma \chi^2_{(TESTE)} < \chi^2_{(CRÍTICO)}$$

Não rejeitamos H0

Analisando os resultados obtidos verifica-se $\chi^2_{teste} = 10,127 < \chi^2_{critico} = 11,07$. Esse resultado demonstra que não podemos rejeitar a hipótese nula (H_0), comprovando a existência de significância estatística entre a amostra (banco de dados de espécies) e a função escolhida. Foram traçados diagramas de dispersão para as 254 amostras e visualização do comportamento entre as duas variáveis D_{ap} x D_b . Em seguida, foram acrescentadas as linhas de tendência sobre a nuvem de pontos plotada neste diagrama e suas respectivas funções de regressão, conforme a Figura 3.23.

Figura 3.23– Diagrama de Dispersão D_{ap} x D_b para Madeira



Para a relação entre D_{ap} x D_b , o F de significância obtido foi de 0 e o teste de Valor – P para a variável independente apresentou também o valor de 0. Isso demonstra também que variável independente, estimada pelo ANOVA, tem significância estatística. Portanto, tem-se que a equação linear da Densidade Aparente D_{ap} em função da Densidade Básica D_b , é:

$$D_{ap} = 1,26093D_b \quad (3.6)$$

Onde:

D_b : Densidade Básica (g/cm^3)

D_{ap} : Densidade Aparente (g/cm^3)

3.3.4 Funções de Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical

Através do teste de aderência, Qui-quadrado, foi verificada que a distribuição dos dados obtidos pelo modelo matemático estatístico proposto, adéqua-se bem à amostra representada pelo banco de dados do LPF. Foi realizada, para todas as propriedades mecânicas utilizadas no dimensionamento de estruturas de madeira, a comparação entre as frequências amostrais e as frequências estimadas, observando-se que, em nenhum dos casos, a amostra foi rejeitada.

Para uma melhor visualização das funções obtidas pelo modelo matemático estatístico, foi elaborada uma Tabela 3.17 com todos resultados obtidos. A tabela apresenta funções em que a variável independente é a densidade aparente D_{ap} .

Tabela 3.17 - Funções da Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical na Condição Seca – Variável Independente D_{ap}

Propriedade Mecânica	Condição da Madeira	Função da Correlação	R^2	Número de amostras
MOE (MPa)	Seca (12%)	$MOE = 12.726,7504D_{ap} + 3.229,1667$	0,7934	252
MOR (MPa)	Seca (12%)	$MOR = 166,7425D_{ap} - 13,2091$	0,8737	251
CPA (MPa)	Seca (12%)	$CPA = 84,5386D_{ap} - 3,0689$	0,8927	236
CPE (MPa)	Seca (12%)	$CPE = 23,1352D_{ap} - 6,2541$	0,8048	246
CIS (MPa)	Seca (12%)	$CIS = 16,4574D_{ap}$	-	246

Onde:

MOE: Módulo de elasticidade à flexão

MOR: Tensão resistente nominal à compressão na flexão

CPA: Tensão resistente nominal à compressão axial

CPE: Tensão resistente nominal à compressão perpendicular às fibras

CIS: Tensão resistente nominal ao cisalhamento paralelo às fibras

As funções de correlação da Tabela 3.17 tem a densidade aparente D_{ap} como variável independente na forma $Y = f(D_{ap})$, onde Y é uma variável dependente, que representa as propriedades mecânicas (MOE, MOR, CPA, CPE, CIS). A variável D_{ap} pode ser expressa linearmente em função da densidade básica D_b (variável independente), na forma $D_{ap} = f(D_b)$. Portanto, é possível a partir de uma função composta, estabelecer uma relação bijetora, de modo a expressar a variável Y (propriedades mecânicas da madeira), pela variável D_b (densidade básica da madeira). O domínio da função composta Z é o conjunto dos elementos representados pelas densidades básicas da amostra, expressa pelo banco de dados do LPF. A imagem dessa função é o conjunto de elementos estimados pelas funções obtidas pelo modelo matemático estatístico, constantes na Tabela 3.17.

$$Z = f(Y) = f(D_{ap}) = f(f(D_b)) \therefore$$

$$Z = f(f(D_b))$$

$$D_{ap} = 1,26093D_b$$

As funções obtidas pela função composta $Z = f(Y)$ são apresentadas na Tabela 3.18 abaixo:

Tabela 3.18 – Funções da Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeira Tropical na Condição Seca – Variável Independente D_b

Propriedade Mecânica	Condição da Madeira	Função da Correlação	R^2	Número de amostras
MOE (MPa)	Seca (12%)	$MOE = 16.047,5414D_b + 3.229,1667$	-	252
MOR (MPa)	Seca (12%)	$MOR = 210,2506D_b - 13,2091$	-	251
CPA (MPa)	Seca (12%)	$CPA = 106,5973D_b - 3,0689$	-	236
CPE (MPa)	Seca (12%)	$CPE = 29,1719D_b - 6,2541$	-	246
CIS (MPa)	Seca (12%)	$CIS = 20,7516D_b$	-	246

Os valores para o coeficiente de determinação R^2 da Tabela 3.18 não podem ser definidos. Neste caso, as correlações foram determinadas por uma função composta. Portanto, não existe significância estatística uma vez que não foram obtidos por regressão. O mesmo se aplica para a função CIS da Tabela 3.17, já que foi obtida por um ajuste matemático, de modo que a função tivesse significância estatística no sentido de poder estimar a amostra.

4 MODELO PARA DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DE MADEIRA NA CONDIÇÃO SECA A PARTIR DA DENSIDADE BÁSICA

O modelo de dimensionamento aqui descrito tem por base as prescrições estabelecidas pela antiga norma brasileira NBR-7190/82 - que 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. A norma brasileira é baseada no Método das Tensões Admissíveis – ASD (NBR-7190/1982), tais como os códigos americanos da NDS - *National Design Standard* (NDS, 2015) e ASCE-*American Society of Civil Engineering* (ASCE, 1997). O modelo proposto neste trabalho utiliza a densidade básica como variável independente, para estimar a resistência de elementos de madeira, quando solicitados a tensões de tração e compressão axial paralela às fibras, tensões de tração e compressão na flexão paralela às fibras e tensões resultantes da interação normal fletor, além do efeito de cargas localizadas. Atualmente, outra tese está em desenvolvimento (PPG-FAU) utilizando o modelo da densidade básica pelo Método dos Estados Limites – LRFD. É importante ressaltar que o modelo proposto é independente do método de dimensionamento e do código de projeto de estruturas em madeira que for utilizado como base.

4.1 Barras Tracionadas Para Madeira Seca (umidade a 12%)

4.1.1 Hipóteses Básicas

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.

A carga admissível à tração axial na madeira seca, admitindo-se as hipóteses acima, pode ser determinada por:

$$T_a = \phi_t A_n (2102,51 D_b - 132,09) \quad (4.1)$$

Onde:

T_a = carga admissível à tração axial (Kgf)

ϕ_t = 0,15 fator de ponderação da resistência à tração

A_n = área líquida da seção transversal (cm²)

D_b = densidade básica (g/cm³).

4.2 Barras Comprimidas Para Madeira Seca (umidade a 12%)

4.2.1 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 a 12% de umidade.

A carga admissível à compressão axial na madeira seca, admitindo-se as hipóteses acima, pode ser determinada por:

$$P_a = \phi_c \rho A_g (1065,97 D_b - 30,69) \quad (4.2)$$

Onde:

P_a = carga admissível à compressão axial (Kgf)

ϕ_c = 0,20 fator de ponderação da resistência à compressão

A_g = área bruta da seção transversal (cm²)

D_b = densidade básica (g/cm³)

ρ = função resistência à compressão axial

$\bar{\lambda}$ = esbeltez reduzida, ou fictícia, da barra.

a) Para $\bar{\lambda} \leq 40/\alpha$ (Barra Curta)

$$\rho = 1,0 \quad (4.3)$$

b) Para $40/\alpha < \bar{\lambda} \leq 1,369$ (Barra Intermediária)

$$\rho = 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha\bar{\lambda} - 40}{1,369\alpha - 40} \right) \quad (4.4)$$

c) Para $1,369 < \bar{\lambda} \leq 140/\alpha$ (Barra Esbelta)

$$\rho = \left(\frac{1,25}{\bar{\lambda}^2} \right) \quad (4.5)$$

Onde:

$$\alpha = \pi \cdot \sqrt{\frac{16,047,54D_b + 3229,17}{106,597D_b - 3,069}}, \text{ coeficiente que transforma o domínio da função } \rho$$

$\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$: esbeltez reduzida, ou fictícia

$\lambda = Kl/i$: igual a esbeltez real da barra

ρ = função adimensional resistência à compressão axial

K = coeficiente para determinação comprimento efetivo de flambagem da barra isolada

l = comprimento real da barra

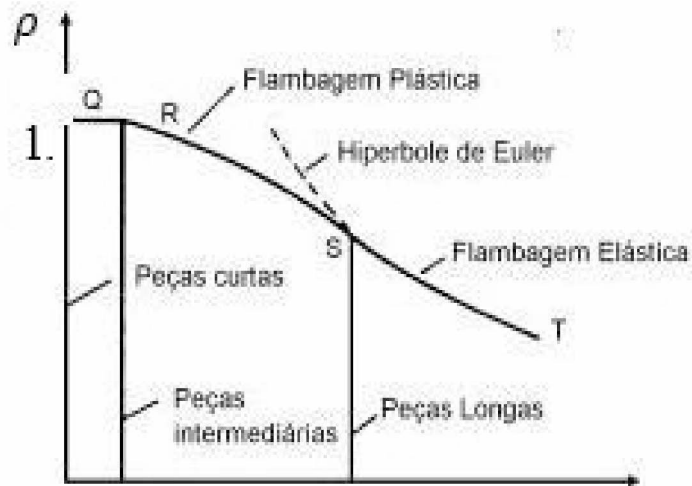
i = raio de giração da seção transversal

D_b = densidade básica (g/cm^3).

4.2.2 Análise da Função de Resistência à Compressão Axial

A função adimensional à compressão axial ρ tem relação com a esbeltez reduzida da peça, com módulo de elasticidade à flexão da madeira seca (umidade a 12%) e com as características da seção transversal, as condições de contorno da peça e seu comprimento. Desse modo, foram ajustados o domínio e a imagem da função, para facilitar a sua informatização, precisão da representação gráfica e tornando a função adimensional. Portanto, para normalização da função ρ , toma-se como norma o CPA (tensão resistente nominal a compressão axial) para a imagem. Para o domínio, adota-se uma esbeltez limite a partir de uma tensão de instabilidade elástica de Euler, também correspondente a CPA. A imagem da função ρ é dada por $I(\rho) = [0, 1]$ e o seu domínio é $D_{om}(\rho) = [0, 3,3]$. O domínio tem sentido físico para o intervalo de densidades básica mínima ($D_b = 0,26 g/cm^3$) e máxima ($D_b = 1,01 g/cm^3$) do banco de dados do LPF/MMA. Uma representação gráfica esquemática da função ρ , correspondente à barra curta, intermediária e esbelta, ou longa, é dada na Figura 4.1, a seguir:

Figura 4.1- Curva de Flambagem



Obtiveram-se, a partir do banco de dados, as curvas de resistência à compressão para madeiras com Densidade Básica baixa, Densidade Básica média e Densidade Básica alta, seguindo os limites definidos por Melo (2008), conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Intervalos dos valores de Densidade Básica

Densidade Básica - D_b		
Baixa (kg/m^3)	Média (kg/m^3)	Alta (kg/m^3)
$D_b < 500$	$500 \leq D_b \leq 720$	$D_b > 720$

E sendo assim, para os valores limites destes intervalos, obtiveram-se as funções de resistência à compressão (Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4), de modo a perceber como tais funções variam com a Densidade Básica.

Figura 4.2 - Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com baixa Densidade
Básica

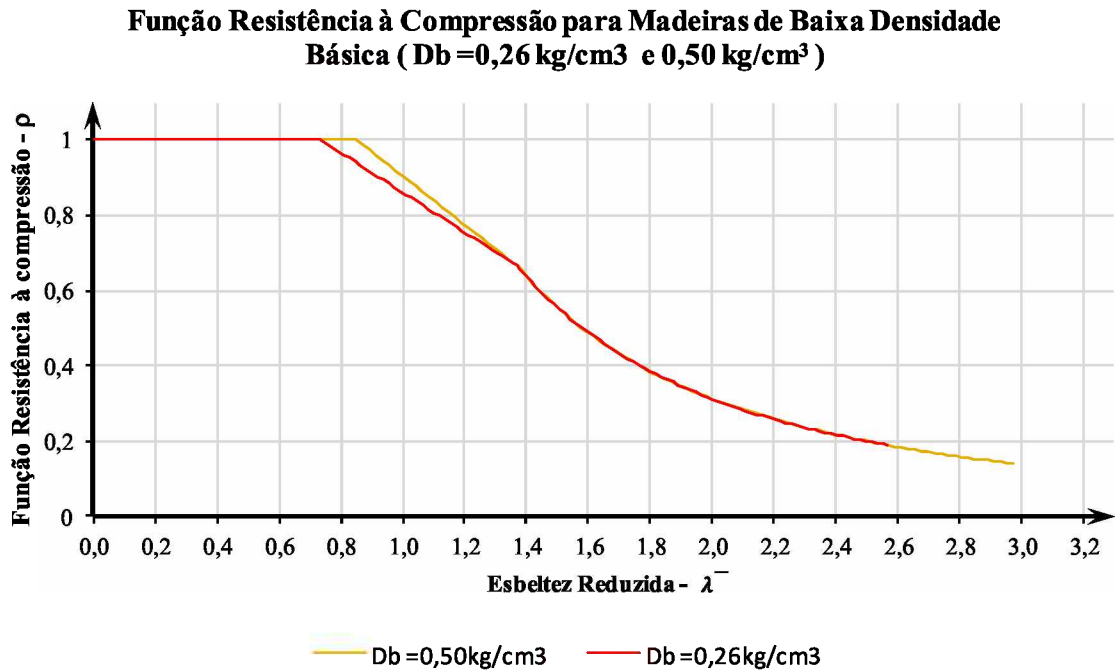


Figura 4.3: Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com média Densidade
Básica

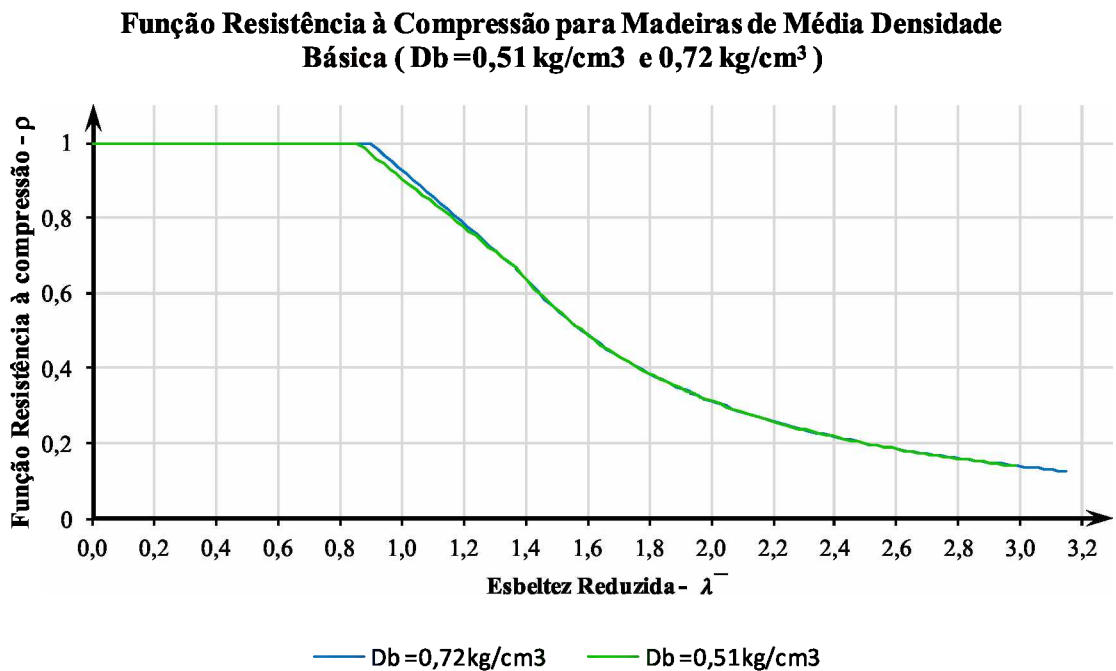
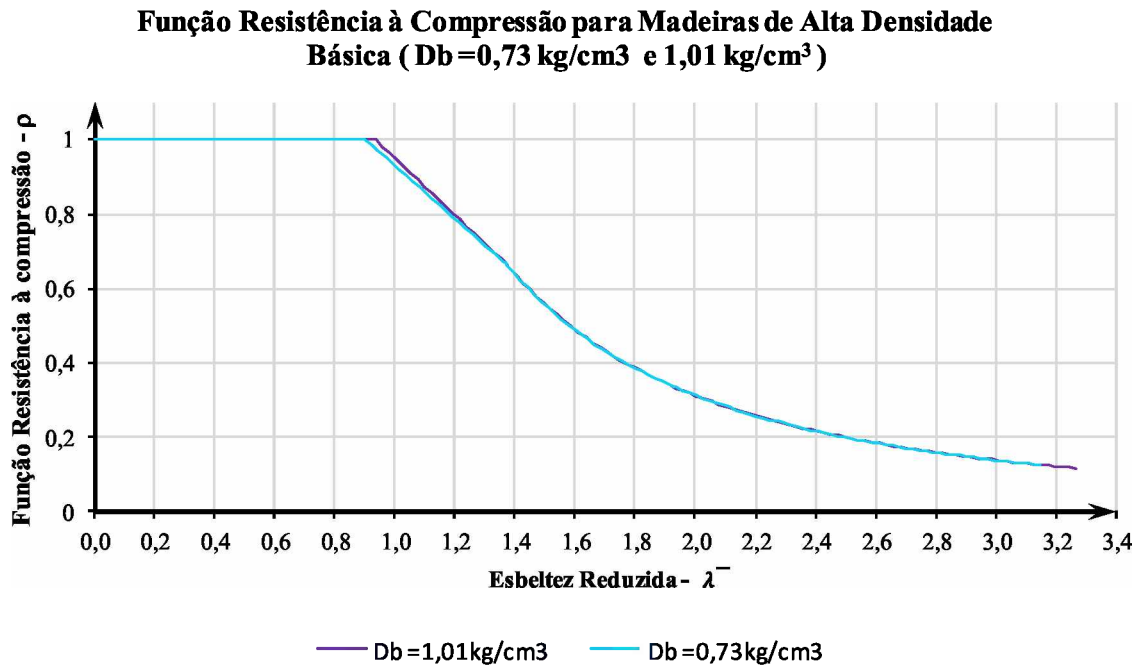


Figura 4.4: Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com média Densidade Básica

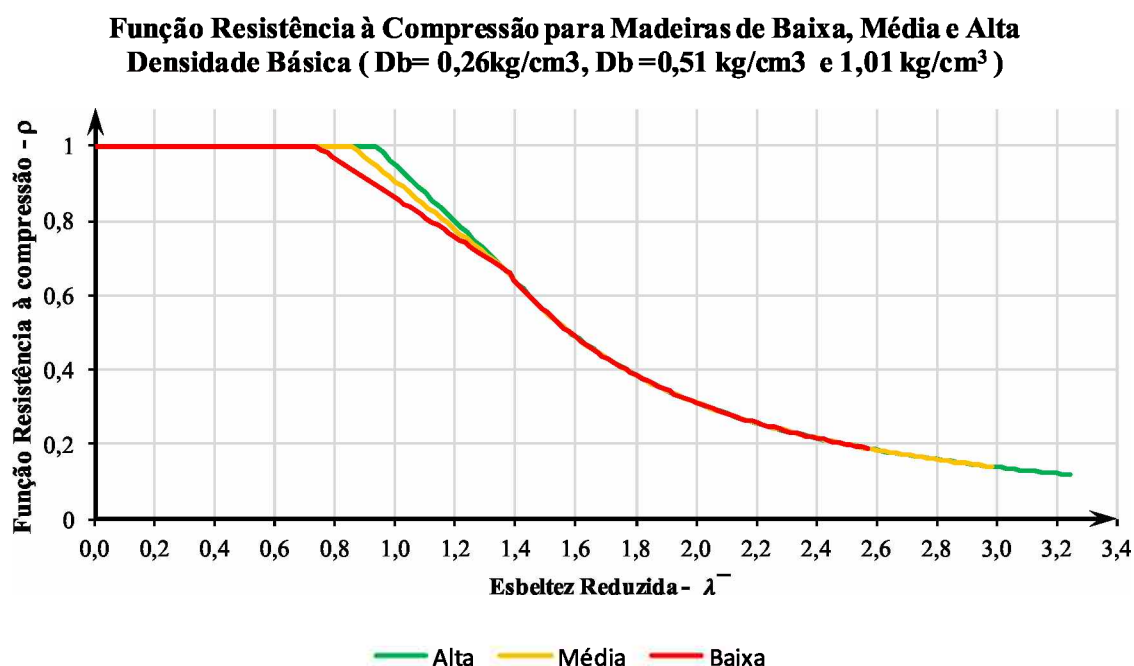


Sendo possível fazer uma série de considerações sobre o formato de tais funções, bem como de sua significância física. Dentre elas:

- Observa-se que para madeira seca, os valores de ρ são iguais em determinadas regiões para valores com $\bar{\lambda} \geq 1,369$, ou seja, para barras esbeltas as peças comprimidas apresentam comportamento semelhante;
- Quanto menor a Densidade Básica das peças, maior é a região de flambagem inelástica;
- Outra constatação interessante que pode ser feita é em função das curvas de resistência para as madeiras de densidade média que praticamente coincidem em seus valores, o que ratifica que madeiras pertencentes ao mesmo intervalo de valores de Densidade Básica apresentam comportamentos similares;
- Os valores de esbeltez para os quais a barra passa a não resistir mais à compressão (perde estabilidade) são diretamente maiores, tão maiores forem os valores de Densidade Básica, de modo que se conclui que a quantidade de material lenhoso influencia diretamente na resistência das peças, bem como em sua estabilidade.

A partir de tais análises, elaboraram-se, também, gráficos que comparam os diversos valores de Densidade Básica (dentro dos intervalos da Tabela 4.1) para madeira seca.

Figura 4.5: Função de Resistência à compressão para madeiras secas (12%) com Baixa, Média e Alta Densidade Básica

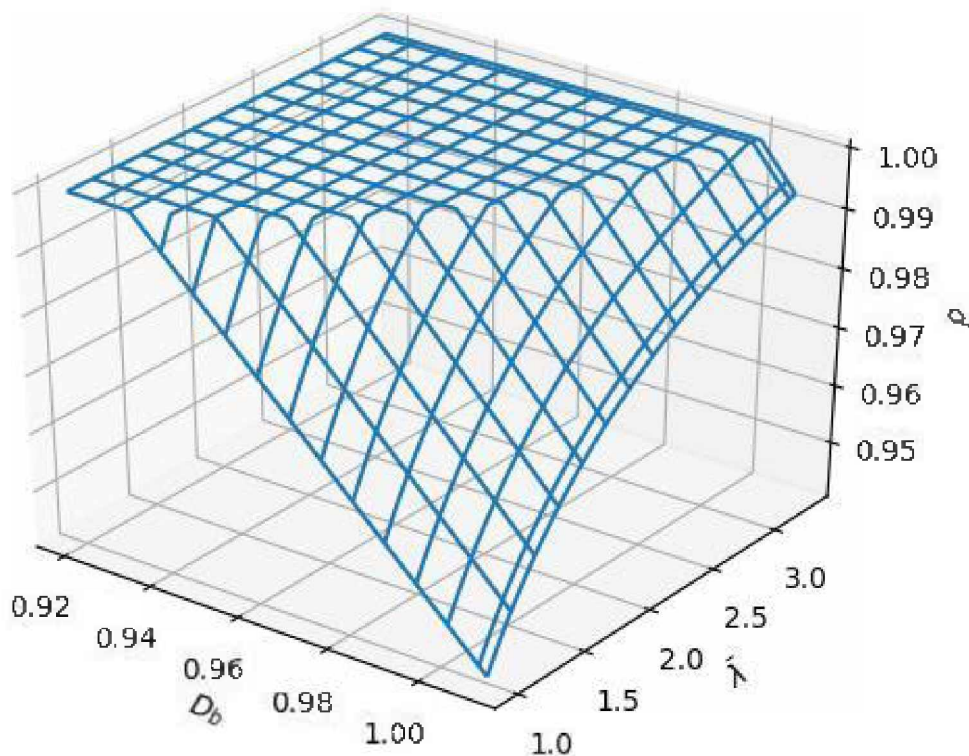


A partir dos comparativos obtidos acima, pode-se considerar que:

- Os valores de ρ para os quais a peça começa a perder estabilidade são crescentes em função do valor de Densidade Básica, de modo que madeiras mais densas apresentam maior resistência do que barras menos densas, na condição seca;
- Os valores de esbeltez são crescentes em função da Densidade Básica da madeira, de modo que se pode construir barras mais esbeltas com madeiras com maior valor de Densidade Básica.

E, por fim, para os casos da madeira seca, em que tais grandezas relacionadas com a flambagem são funções da Densidade Básica, pode-se obter uma superfície que define a função de resistência à compressão axial em função da esbeltez e da Densidade Básica, como mostra a Figura 4.6.

Figura 4.6: Superfície de Flambagem: madeira seca



É importante, ainda, observar a existência de diferenças na resistência entre a madeiras na base verde e seca, e o quanto é importante considerar as madeiras no estado em que realmente estão (diferentemente do que preconiza a NBR 7190/97, que considera o uso apenas de madeiras que passaram pelo processo de secagem. Em praticamente todos os casos demonstrados neste trabalho, ao considerar apenas madeiras secas, admite-se um projeto contra a segurança das estruturas (em peças curtas e intermediárias), em virtude das variações de resistência inerentes ao teor de umidade. Além disso, ressalta-se que cerca de 98% das madeiras comercializadas no Brasil não passaram por correto procedimento de secagem. Sendo assim o dimensionamento considerando esta hipótese incorreria em erro grosseiro, ameaçando a segurança e o desempenho das estruturas.

4.3 Barras Fletidas

4.3.1 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.

Momento fletor admissível para tensão de compressão na flexão, na madeira seca:

$$M_a = \phi_b W (2102,51D_b - 132,09)$$

M_a : Momento admissível à flexão simples (m.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).

4.4 Esforço cortante admissível na flexão simples

4.4.1 Hipóteses Básicas

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.

4.4.2 Considerações sobre o dimensionamento

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.

Resistência ao esforço cortante

$$V_a = \phi_v \left(\frac{b \cdot I}{S} \right) (207,52 D_b)$$

V_a : Esforço cortante admissível na seção (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 transversal em relação à linha neutra (cm³).

D_b : Densidade básica da madeira (g/cm³).

4.5 Barras submetidas à flexão composta reta para madeira seca (umidade a 12%)

4.5.1 Hipóteses básicas

Este item trata do estudo das barras submetidas à flexão composta. Estas normalmente ocorrem em pilares de canto em edificações, estacas de fundações, e estruturas cuja arquitetura exija a aplicação de uma excentricidade inicial. 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;
- 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;
- Madeira na base verde e seca.

4.5.2 Considerações sobre o dimensionamento

A tensão admissível na flexão composta (F_{fca}), na borda comprimida, não deverá ultrapassar um valor intermediário entre as tensões admissíveis na compressão paralela às fibras e na flexão simples. Para considerar os efeitos combinados de momento fletor e esforço normal, estabeleceu-se uma excentricidade fictícia (e), determinada pela razão entre momento fletor atuante e esforço normal:

$$e = \frac{|M|}{|N|} \quad (4.6)$$

Define-se também a razão entre a Tensão Nominal de Flexão Simples e a Tensão Nominal da Flexão Composta como:

$$\varepsilon = \frac{\text{Tensão na Flexão simples}}{\text{Tensão na Flexão composta}} = \frac{\frac{|M|y}{I}}{\frac{|M|y}{I} + \frac{|N|}{A}} \quad (4.7)$$

Onde:

ε = excentricidade relativa à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta

$|M|$ = valor absoluto do momento fletor atuante

$|N|$ = valor absoluto da força axial de compressão

A = área da seção transversal;

y = Distância do centro de gravidade da peça a fibra mais comprimida ou tracionada.

Devido principalmente à estética, nas edificações residenciais, os pilares ou colunas de madeira são utilizados na forma quadrada ou circular. Como a flexão composta ocorre na maioria das vezes nessas condições, a equação acima pode ser simplificada.

No caso específico de seção quadrada tem-se:

$$\varepsilon = \frac{6e}{6e + h} \quad \text{Para seção retangular} \quad (4.8)$$

$$\varepsilon = \frac{8e}{8e + D} \quad \text{Para seção circular} \quad (4.9)$$

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:

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \quad (4.10)$$

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:

Para peças com $0 < \lambda < 40$ (Barra Curta)

O intervalo para barras curtas apresentado em função da esbeltez real λ , pode ser dado em função da esbeltez reduzida $\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$. Assim, para a esbeltez reduzida, o intervalo passa a ser: $0 < \bar{\lambda} \leq 40/\alpha$ (veja-se o item 4.2).

A tensão admissível na flexão composta F_{fca} , é dada pela Equação (4.11), após algumas manipulações algébricas a partir da função de resistência para barras curtas, proposta pela antiga NBR-7190/82:

$$F_{fca} = \phi_c \rho CPA(1 - \varepsilon) + \phi_b MOR \varepsilon \quad (4.11)$$

A Equação (4.11) 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 (4.12) e Equação (4.13) na Equação (4.14), vem:

$$CPA = 1065,97D_b - 30,69 \quad (4.12)$$

$$MOR = 2102,51D_b - 132,09 \quad (4.13)$$

$$F_{fca} = \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69)(1 - \varepsilon) + \phi_b (2102,51D_b - 132,09)\varepsilon \quad (4.14)$$

Para barra curta, não há necessidade de se considerar a flambagem, já que a ruína se dará por esmagamento à compressão axial paralela às fibras. Portanto, para esse caso $\rho = 1,0$ (veja item 4.2), a Equação (4.14) pode tomar a forma abaixo, dada pela Equação (4.15), assumindo-se a função ρ igual a unidade (sem flambagem). Ou:

$$F_{fca} = \phi_c(1065,97D_b - 30,69)(1 - \varepsilon) + \phi_b(2102,51D_b - 132,09)\varepsilon \quad (4.15)$$

Onde:

F_{fca} = tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm²)

$\rho = 1,0$ é a função adimensional de resistência nominal crítica à 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 (4.7), Equação (4.8) ou Equação (4.9)

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 à compressão na flexão

$\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência à compressão axial

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$ 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)

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) $\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$. 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 (4.16), 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:

$$F_{fca} = \phi_c \rho CPA (1 - \varepsilon) + \phi_b MOR \varepsilon \quad (4.16)$$

Na Equação (4.16) 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 (4.12) e Equação (4.13) e as considerações do item 4.2 (barras comprimidas axialmente), vem:

$$F_{fca} = \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69)(1 - \varepsilon) + \phi_b (2102,51D_b - 132,09)\varepsilon \quad (4.17)$$

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 à tensão de compressão na flexão simples e a tensão na flexão composta, dada pela Equação (4.7), Equação (4.8), ou Equação (4.9)

CPA = tensão resistente nominal de compressão axial (Kgf/cm²)

MOR = tensão resistente nominal de compressão na flexão (Kgf/cm²)

ϕ_b = 0,15 fator de ponderação da resistência à compressão na flexão

ϕ_c = 0,20 fator de ponderação da resistência à compressão axial

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$ 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 (4.17), nota-se que ρ é obtido mediante a normalização da função de resistência à compressão axial a partir da tensão de ruína à compressão paralela às fibras (CPA) e a esbeltez de instabilidade elástica de Euler (Euler, 1744), correspondente a 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 .

a) 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 $\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$. Assim, para a esbeltez reduzida o intervalo passa a ser: $1,369 < \bar{\lambda} \leq 140/\alpha$ (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 (4.18), abaixo:

$$\varepsilon_0 = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right) \quad (4.18)$$

Seguindo o item 4.2 deste trabalho, sobre o dimensionamento de barras comprimidas axialmente, $\lambda_0 = 1,369\alpha$ e $\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$. Assim, ε_0 pode ser definido a partir α , λ e $\bar{\lambda}$. Ou:

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{15\alpha^2}{8\lambda^2} \quad (4.19)$$

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{15}{8\bar{\lambda}^2} \quad (4.20)$$

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:

$$F_{fca} = \phi_c \rho CPA$$

$$F_{fca} = \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69) \quad (4.21)$$

A partir de manipulações algébricas na Equação (4.21), 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.

Assim:

$$F_{fca} = 12,5\phi_c \frac{\pi^2(16.047,54D_b + 3229,17)}{\lambda^2} \quad (4.22)$$

$$F_{fca} = 12,5\phi_c \frac{\pi^2(1065,977D_b - 30,69)}{\bar{\lambda}^2} \quad (4.23)$$

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 à 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 (4.7), Equação (4.8), ou Equação (4.9)

CPA = tensão resistente nominal de compressão axial (Kgf/cm²)

$\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência à compressão axial

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$ 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 que a tensão na borda não deve ultrapassar a tensão na flexão composta F_{fca} , resultado da interação da tensão nominal resistente à compressão axial na direção das fibras (CPA) e a tensão resistente nominal de compressão na flexão (MOR), dada pela Equação (4.24). 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:

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho F_{cr} + (\phi_b MOR - \frac{2}{3} \phi_c F_{cr})(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (4.24)$$

Assim, vem da Equação (4.24):

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69)[1 - (\varepsilon - \varepsilon_0)] + \phi_b (2102,51D_b - 132,09)(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (4.25)$$

A partir de manipulações algébricas na Equação (4.25), 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:

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,69) \left[1 - \left(\varepsilon + \frac{15\alpha^2}{8\lambda^2} - 1 \right) \right] + \phi_b (2102,51D_b - 132,09) \left(\varepsilon + \frac{15\alpha^2}{8\lambda^2} - 1 \right) \quad (4.26)$$

$$F_{fca} = \frac{2}{3} \phi_c \rho (1065,97D_b - 30,6) \left[1 - \left(\varepsilon + \frac{15}{8\bar{\lambda}^2} - 1 \right) \right] + \phi_b (2102,51D_b - 132,09) \left(\varepsilon + \frac{15}{8\bar{\lambda}^2} - 1 \right) \quad (4.27)$$

Onde:

F_{fca} = tensão admissível na flexão composta (Kgf/cm²)

$\rho = 1,0$ é a função adimensional de resistência nominal crítica à 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(4.7), Equação (4.8), ou Equação (4.9)

CPA = tensão resistente nominal de compressão axial para madeira seca (umidade a 12%) (Kgf/cm²)

$\phi_c = 0,20$ fator de ponderação da resistência à compressão axial

$\phi_b = 0,15$ fator de ponderação da resistência à compressão na flexão

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³).

λ = esbeltez real da peça

$\bar{\lambda} = \lambda/\alpha$ 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)

4.6 Verificação de cargas localizadas para madeira seca (umidade em 12%)

4.6.1 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 à 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).

4.6.2 Considerações de dimensionamento

A tensão de compressão perpendicular às fibras (F_n) deve ser verificada nos apoios e em outros pontos em que haja cargas concentradas em pequenas áreas:

$$F_{n(\text{atuante})} = \frac{V}{A} \leq F_n$$

Sendo:

V = Força aplicada ou reação de apoio;

A = Área de contato ou apoio;

F_n = Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras.

Sabendo que F_n é dado pela expressão

$$F_n = 0,3\phi_c CPA\gamma'$$

Onde:

F_n = Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras;

ϕ_c = Fator de ponderação da resistência à compressão = 0,20;

CPA = Tensão resistente nominal de compressão axial (MPa).

γ' = Coeficiente que considera o efeito de carga pontual 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:

Coeficiente γ' na compressão normal às fibras.

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

A tensão admissível na compressão normal às fibras para a madeira seca, considerando as condições de dimensionamento descritas acima é:

$$F_n = 0,3\gamma'\phi_c(1065,97D_b - 30,69)$$

Onde:

F_n = Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras;

ϕ_c = Fator de ponderação da resistência à compressão = 0,20;

D_b = Densidade básica da madeira (g/cm^3);

γ' = Coeficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira.

5 APLICAÇÃO DO MODELO – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo é avaliada a eficácia do modelo proposto nesta tese em situações de projeto com estudos de casos típicos de engenharia para madeira na condição seca. Assim foram verificadas as condições de segurança para estados limites últimos e de utilização, através de análises comparativas entre dimensões de elementos estruturais estimadas pelo modelo proposto nesta tese e os obtidos a partir das considerações da norma brasileira (NBR-7190, 1982).

O modelo de dimensionamento proposto neste trabalho toma como base teórica as condições de segurança prevista na norma brasileira NBR-7190/82-Projeto de Estruturas de Madeira brasileira (NBR-7190, 1982). A razão de também se fundamentar o método da densidade básica na versão da norma brasileira baseada em tensões admissíveis se deve ao fato de inúmeros escritórios de engenharia, no Brasil, ainda utilizarem a antiga versão da norma brasileira. Além disso, os códigos americanos da NDS-*National Design Standard* (NDS, 2015) e ASCE-*American Society of Civil Engineering* (ASCE, 1997) para projetos de estruturas de madeira, apresentam no mesmo corpo de suas normas, tanto o método dos estados limites (LRFD-*Load and Resistance Factor Design*), quanto o método das tensões admissíveis (ASD-*Allowable Strength Design*).

A partir destes estudos de casos foram realizados estudos a fim de verificar as diferenças (parte aleatória do método) entre os dados obtidos a partir de resultados experimentais constantes na amostra do LPF e o método da densidade básica.

5.1 Estudos de Caso de Aplicação do Método da Densidade Básica

Foram elaborados problemas que visam abordar de maneira direta soluções de projeto que são comuns, tanto para engenheiros e arquitetos, nos escritórios de engenharia. A comparação dos resultados obtidos tem-se como objetivo mostrar a maior facilidade de aplicação do método pelo usuário comum, seja o arquiteto ou o engenheiro, mas especialmente demonstrar que as soluções encontradas a partir dos resultados experimentais e a partir do método proposto são muito próximas, considerando as condições normais de segurança em projetos de engenharia civil.

Os exemplos propostos são descritos a seguir:

1. Dimensionamento de viga sujeita a ações advindas de painéis de lajes maciças;
2. Dimensionamento de viga sujeita a ações advindas de barrote e piso de madeira;
3. Verificação dos elementos de cobertura com tesouras e telhas de barro;
4. Dimensionamento de elementos sujeitos a esforços de compressão axial;
5. Verificação de pilares sujeitos a esforços de compressão axial e momento fletor (Flexão-composta)

5.1.1 Estudo de Caso 1

Este primeiro exemplo consiste no projeto de um mezanino composto por um painel de duas lajes maciças quadradas apoiadas em vigas de madeira, onde será calculada a altura da viga V1. Será calculada a altura da viga utilizando o modelo proposto nesta tese e utilizando as resistências mecânicas das espécies ensaiadas pelo LPF. A altura da viga será calculada para todas as espécies (madeira de baixa, média e alta densidade básica). Serão realizadas verificações de flexão, cisalhamento e flecha. Os dados referentes às ações, topologia e tipologia estruturais são apresentados na Figura 5.1, abaixo.

Figura 5.1 -Estudo de Caso 1 – Mezanino composto por painéis de laje maciça

Para que a seção transversal de uma viga apresente uma boa estética arquitetônica, um bom desempenho estrutural e atendam as hipóteses fundamentais da teoria da elasticidade para flexão (as seções planas, tomadas normalmente a seu eixo, permanecem planas após a viga ser submetida

Dados:

$b = 10 \text{ cm}; b=12\text{cm}; b=14\text{cm}$

Laje = 10 cm (maciça)

Carga acidental = 150 kgf/m^2

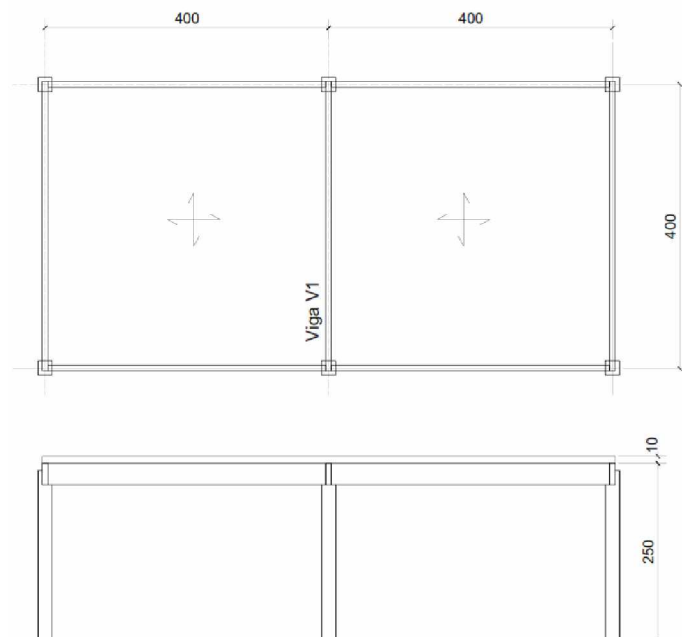
Carga permanente = 100 kgf/m^2

Viga = 40 kgf/m

Carga V1= 1040 kgf/m

Momento Fletor = 2080 m.kgf

Esforço Cortante = 2080 kgf



à flexão e que as deformações ocasionadas pelo esforço cortante são desprezadas), é recomendável que a relação entre a altura (h) e base (b) da viga se encontre no intervalo definido abaixo:

$$2 \leq \frac{h}{b} \leq 3,5$$

Utilizando-se o método da densidade básica e o método tradicional a partir dos resultados de estudos experimentais, é possível determinar as tensões admissíveis para estados limites de compressão na flexão para madeira seca. Baseada nas tensões admissíveis obtidas e definindo a

base da seção transversal da peça, é possível determinar as alturas das seções e posteriormente calcular as diferenças relativas entre os valores obtidos pelo programa experimental e os valores estimados pelas equações de regressão do método da densidade básica, conforme abaixo.

$$E = \frac{h_{exp} - h_{est}}{h_{exp}}$$

Onde:

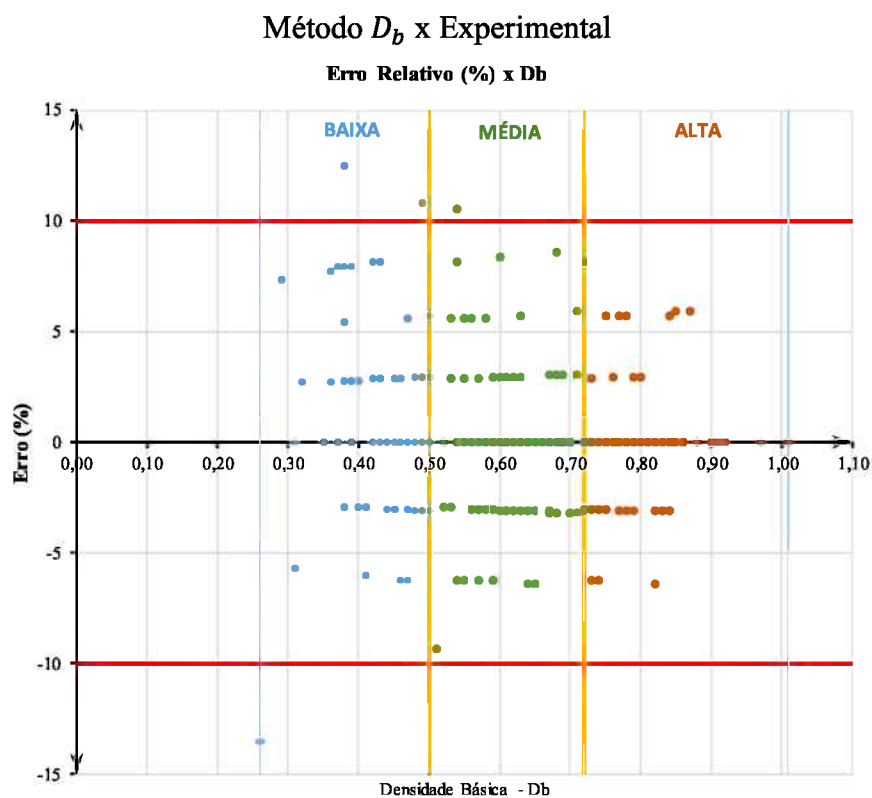
E - Erro relativo (%);

h_{exp} - Altura da viga definida pelo programa experimental;

h_{est} - Altura da viga estimada pelas equações de regressão;

A Figura 5.2 mostra a relação entre as diferenças relativas e a densidade básica D_b para madeiras de baixa, média e alta densidade.

Figura 5.2 – Diagrama de dispersão de diferenças relativa da altura de vigas (Estudo de caso 1)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta, em sua grande maioria, diferenças relativas abaixo de 10%, conforme pode-se observar na Figura 5.2 e também na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Frequências de diferenças relativas para altura de vigas (Estudo de Caso 1)
Método D_b x Experimental

Diferença Relativa (%)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum. (%)	<i>n</i>	(%)	Acum. (%)	<i>n</i>	(%)	Acum. (%)
$E > 15$	0	0,0%	2,9%	0	0,0%	1,0%	0	0,0%	0,0%
$10 < E \leq 15$	2	2,9%		1	1,0%		0	0,0%	
$5 < E \leq 10$	12	17,4%	95,7%	11	11,0%	99,0%	8	11,9%	100,0%
$0 < E \leq 5$	17	24,6%		21	21,0%		8	11,9%	
0,0	18	26,1%		33	33,0%		33	49,3%	
$0 > E \geq -5$	15	21,7%	1,4%	26	26,0%	0,0%	13	19,4%	0,0%
$-5 < E \leq -10$	4	5,8%		8	8,0%		5	7,5%	
$-10 < E \leq -15$	1	1,4%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
$E < -15$	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
Total	69			100			67		

As bases da viga variaram de acordo com o intervalo de densidade das espécies de madeira seca estudadas Baixa $b = 14\text{cm}$, Média $b = 12\text{cm}$ e Alta $b = 10\text{cm}$.

Para manter a relação $2 \leq \frac{h}{b} \leq 3,5$ foram calculadas as alturas com os seguintes resultados:

- Densidade Básica - Baixa: $b = 14\text{cm}$, $33\text{cm} \leq H_{est} \leq 42\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Baixa: $b = 14\text{cm}$, $32\text{cm} \leq H_{est} \leq 41\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Média: $b = 12\text{cm}$, $32\text{cm} \leq H_{est} \leq 35\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Média: $b = 12\text{cm}$, $31\text{cm} \leq H_{est} \leq 38\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10\text{cm}$, $31\text{cm} \leq H_{est} \leq 34\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10\text{cm}$, $31\text{cm} \leq H_{est} \leq 35\text{cm}$ (estimado)

Analisando-se a

Tabela 5.2, verifica-se que, para as madeiras de média e alta densidade, a frequência das diferenças absolutas se deu para um intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$, o que em termos práticos de projeto é insignificante, foram de 80,0% e 80,6%, respectivamente. Para madeiras de baixa densidade básica, 72,5% da frequência das frequências absolutas da altura da viga se deram em um intervalo de $\pm 1\text{cm}$.

Tabela 5.2– Frequências de Diferenças Absolutas para altura de vigas (Estudo de Caso 1)

Método D_b x Experimental

Diferença Absoluta (cm)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)
> 3	1	1,4%	7,2%	1	1,0%	8,0%	0	0,0%	7,5%
2	4	5,8%		7	7,0%		5	7,5%	
1	15	21,7%	72,5%	26	26,0%	80,0%	13	19,4%	80,6%
0	18	26,1%		33	33,0%		33	49,3%	
-1	17	24,6%	20,3%	21	21,0%	12,0%	8	11,9%	11,9%
-2	4	5,8%		7	7,0%		8	11,9%	
> -3	10	14,5%		5	5,0%		0	0,0%	
Total	69			100			67		

5.1.2 Estudo de Caso 2

O Estudo de Caso 2 consiste em um projeto de um mezanino composto por barrotes e assoalhos de madeira de tábua corrida de 2cm de espessura, apoiadas em vigas de madeira, onde será calculada a altura da viga V1. Será calculada a altura da viga utilizando o modelo proposto nesta tese e utilizando as resistências mecânicas das espécies ensaiadas pelo LPF. A altura da viga será calculada para todas as espécies (madeira de baixa, média e alta densidade básica). Serão realizadas verificações de flexão, cisalhamento e flecha. Os dados referentes às ações, topologia e tipologia estruturais são apresentados na Figura 5.3, abaixo:

Figura 5.3 – Exemplo 2 – Mezanino composto por barrotes e piso em tábua corrida

Dados:

$b = 10 \text{ cm}; b=12\text{cm}; b=14\text{cm}$

Piso = Ipê 2cm

Barrotes = 5x15 cm

Carga acidental = 200 kgf/m²

Carga permanente = 40

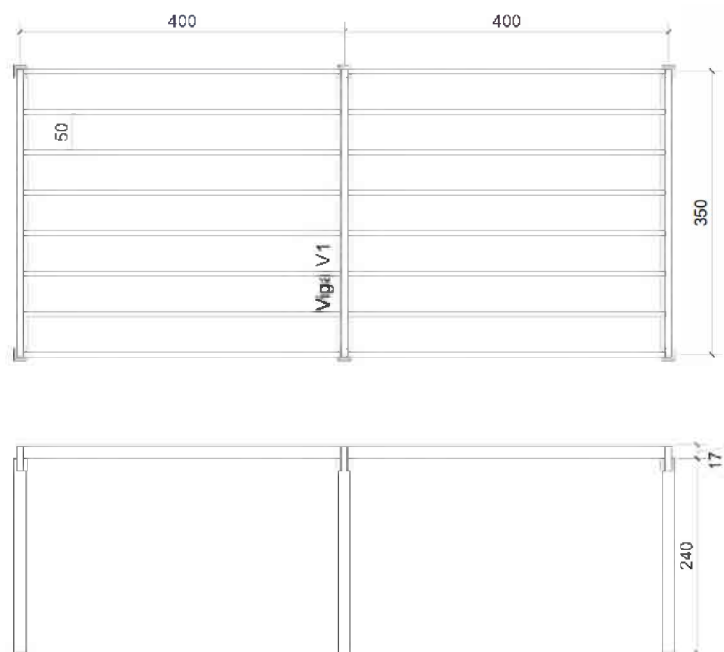
kgf/m²

Viga = 40 kgf/m

Carga V1= 1000 kgf/m

Momento Fletor =1531 m.kgf

Esforço Cortante = 1750 kgf

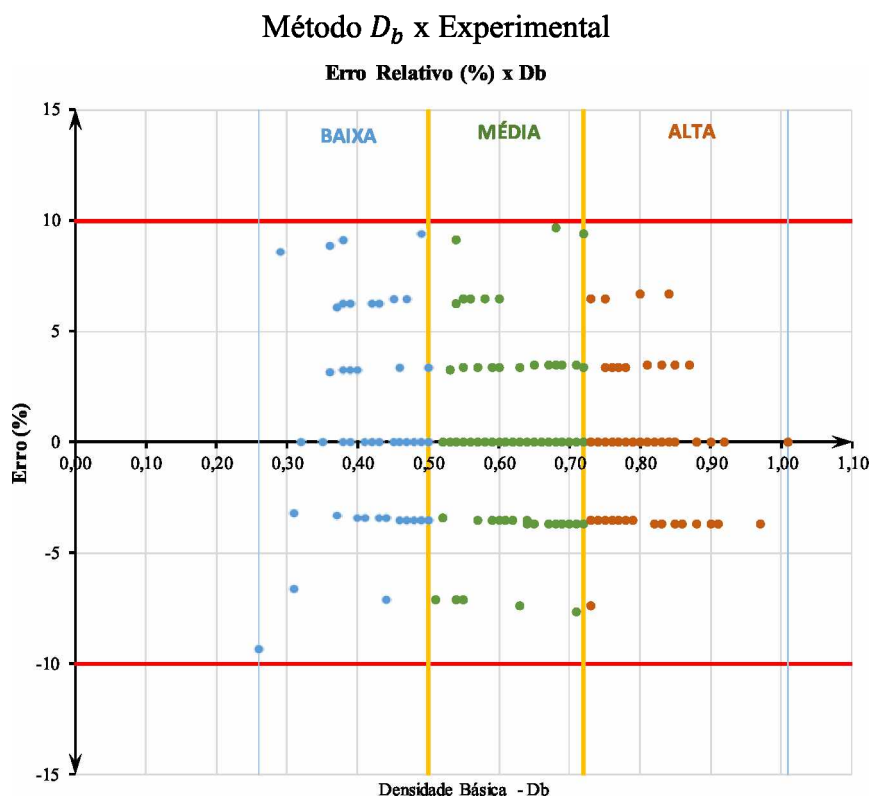


Para o Estudo de Caso 2, serão mantidas as mesmas premissas do primeiro exemplo em relação às escolhas das dimensões da seção transversal:

$$2 \leq \frac{h}{b} \leq 3,5$$

A Figura 5.4 mostra a relação entre os erros relativos e a densidade básica D_b , para madeiras de baixa, média e alta densidade básica.

Figura 5.4 –Diagrama de dispersão de diferenças relativas da altura de vigas (Estudo de Caso 2)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta, em sua grande maioria, diferenças relativas abaixo de 10%, conforme pode-se observar na Figura 5.4 e também na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Frequências de Diferenças Relativas para altura de vigas (Estudo de Caso 2)
- Método D_b x Experimental

Diferença Relativa (%)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)
$E > 15$	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
$10 < E \leq 15$	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
$5 < E \leq 10$	14	20,3%	100,0%	9	9,0%	100,0%	4	6,0%	100,0%
$0 < E \leq 5$	10	14,5%		20	20,0%		11	16,4%	
0,0	23	33,3%		40	40,0%		30	44,8%	
$0 > E \geq -5$	19	27,5%	0,0%	26	26,0%	0,0%	21	31,3%	0,0%
$-5 < E \leq -10$	3	4,3%		5	5,0%		1	1,5%	
$-10 < E \leq -15$	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
$E < -15$	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%			
Total	69			100			67		

As bases da viga variaram de acordo com o intervalo de densidade das espécies de madeira seca estudadas Baixa $b = 14\text{cm}$, Média $b = 12\text{cm}$ e Alta $b = 10\text{cm}$.

Para manter a relação $2 \leq \frac{h}{b} \leq 3,5$ foram calculadas as alturas com os seguintes resultados:

- Densidade Básica - Baixa: $b = 14\text{cm}$, $29\text{cm} \leq H_{est} \leq 35\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Baixa: $b = 14\text{cm}$, $28\text{cm} \leq H_{est} \leq 35\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Média: $b = 12\text{cm}$, $28\text{cm} \leq H_{est} \leq 30\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Média: $b = 12\text{cm}$, $26\text{cm} \leq H_{est} \leq 33\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10\text{cm}$, $27\text{cm} \leq H_{est} \leq 29\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10\text{cm}$, $27\text{cm} \leq H_{est} \leq 31\text{cm}$ (estimado)

Analisando-se a

Tabela 5.4, verifica-se que, para madeiras densidade básica baixa, 75,4% da frequência das diferenças absolutas da altura da viga se deram em um intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$, o que é insignificante em termos de dimensões de seções de madeira em projeto. Para as madeiras de média e alta densidade básica, a frequência dos erros absolutos, neste mesmo intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$, foram de 86% e 92,5% respectivamente.

Tabela 5.4– Frequências de diferenças absolutas para altura de vigas (Estudo de Caso 2)

D_b x Experimental

Diferença Absoluta (cm)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)
> 3	1	1,4%		0	0,0%		0	0,0%	
2	2	2,9%	4,3%	5	5,0%	5,0%	1	1,5%	1,5%
1	19	27,5%		26	26,0%		21	31,3%	
0	23	33,3%	75,4%	40	40,0%	86,0%	30	44,8%	92,5%
-1	10	14,5%		20	20,0%		11	16,4%	
-2	9	13,0%	20,3%	6	6,0%	9,0%	4	6,0%	6,0%
> -3	5	7,2%		3	3,0%		0	0,0%	
Total	69			100			67		

5.1.3 Estudo de Caso 3

O Estudo de Caso 3 consiste em um projeto de cobertura com telhas cerâmicas (MELO, 2016), em que as tesouras são apoiadas sobre pilares de madeira. Foram verificadas três tesouras com madeiras de baixa, média e alta densidade básica. Os dados referentes aos esforços, à topologia e à tipologia estrutural são apresentados na Figura 5.5 e Figura 5.6.

Figura 5.5 –Estudo de Caso 3 – Cobertura de telha cerâmica em tesoura de madeira (Melo, 2014)

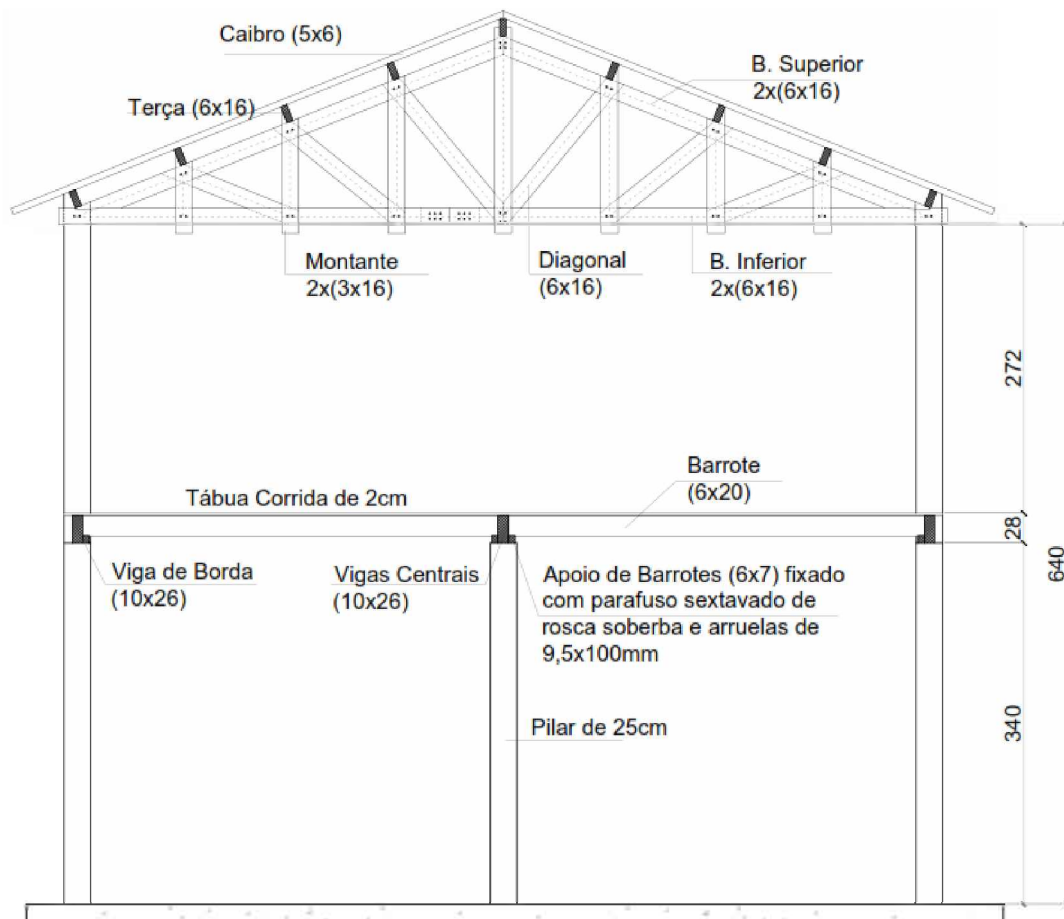
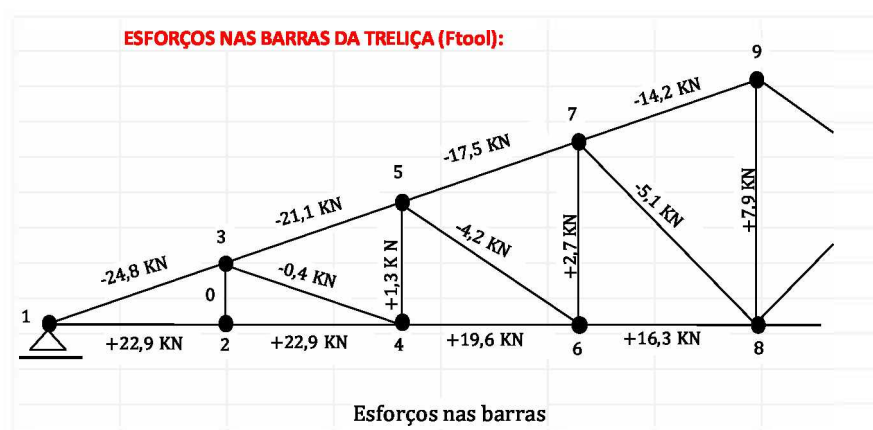


Figura 5.6– Estudo de Caso 3 – Esforços nas barras (Melo,2014)



O fator determinante que influencia as dimensões de elementos de treliça, especialmente para esforços de tração axial são as ligações. Nestas situações, as variáveis que mais afetam a resistência final das barras são:

- Distância entre furos;
- Distância entre os furos e as bordas;
- Diâmetro dos furos;
- Sentido de aplicação das cargas em relação à direção das fibras;
- Uniformização das dimensões das seções comerciais das peças.

A partir das dimensões da treliça constante na figura 8.6, foram obtidas as cargas admissíveis para cada elemento, por meio do programa experimental e pela metodologia proposta por este trabalho.

Foram estudadas 03 treliças, com diferentes densidades básicas, conforme a Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Espécies de madeira utilizadas nas tesouras

Espécie da Madeira		D_b (g/cm ³)	Espaçamento Tesouras (cm)
Nome Científico	Nome Comum		
<i>Tachigali cavipes</i>	Tachi-Branco	0,40	100
<i>Hymenolobium nitidum</i>	Angelim-Pedra	0,55	200
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú	0,91	300

As Tabela 5.6, Tabela 5.7 e Tabela 5.8 apresentam os resultados das cargas admissíveis obtidas pelo programa experimental P_{a-exp} e os obtidos pela metodologia proposta P_{a-est} , em que são calculados as diferenças relativas entre as cargas admissíveis.

Tabela 5.6 – Comparação de cargas admissíveis pelo programa experimental e estimadas pela densidade básica – Tachi Branco ($D_b = 0,40$ g/cm³)

Elemento	Esforço kgf	l (cm)	λ	Faixa de Esbeltez	P_{a-exp} LPF (kgf)	P_{a-est} D_b (kgf)	Diferença Relativa (%)
Banzo Superior	-800	107,7	31,1	Curta	1.228	1.106	9,9%
Banzo Inferior	739	100	115,5	Intermediária	12.082	10.196	15,6%
Montante 1	0	40	46,2	Intermediária	6.041	5.098	15,6%
Montante 2	42	80	92,4	Longa	6.041	5.098	15,6%
Montante 3	87	120	138,6	Longa	6.041	5.098	15,6%
Montante 4	255	160	184,8	Longa	6.041	5.098	15,6%
Diagonal 1	-13	107,7	62,2	Intermediária	614	553	9,9%
Diagonal 2	-135	128,6	74,2	Longa	447	415	7,2%
Diagonal 3	-165	156,2	90,2	Longa	303	281	7,3%

Tabela 5.7 – Comparação de cargas admissíveis pelo programa experimental e estimadas pela densidade básica – Angelim-Pedra ($D_b = 0,55 \text{ g/cm}^3$)

Elemento	Esforço (kgf)	l (cm)	λ	Faixa de Esbeltez	P_{a-exp} LPF (kgf)	P_{a-est} D_b (kgf)	Diferença Relativa (%)
Banzo Superior	-1600	107,7	31,1	curta	2.054	2.132	-3,8%
Banzo Inferior	1477	100	115,5	Intermediária	13.852	14.746	-6,5%
Montante 1	0	40	46,2	Intermediária	6.926	7.373	-6,5%
Montante 2	84	80	92,4	Longa	6.926	7.373	-6,5%
Montante 3	174	120	138,6	Longa	6.926	7.373	-6,5%
Montante 4	510	160	184,8	Longa	6.926	7.373	-6,5%
Diagonal 1	-26	107,7	62,2	Intermediária	709	729	-2,8%
Diagonal 2	-271	128,6	74,2	Longa	507	518	-2,2%
Diagonal 3	-329	156,2	90,2	Longa	344	351	-2,0%

Tabela 5.8 – Comparação de cargas admissíveis pelo programa experimental e estimadas pela densidade básica – Cumaru ($D_b = 0,91 \text{ g/cm}^3$)

Elemento	Esforço (kgf)	l (cm)	λ	Faixa de Esbeltez	P_{a-exp} LPF (kgf)	P_{a-est} D_b (kgf)	Diferença Relativa (%)
Banzo Superior	-2480	107,7	31,1	Curta	3.790	3.606	4,9%
Banzo Inferior	2290	100	115,5	Intermediária	25.402	25.646	-1,0%
Montante 1	0	40	46,2	Intermediária	12.701	12.823	-1,0%
Montante 2	130	80	92,4	Longa	12.701	12.823	-1,0%
Montante 3	270	120	138,6	Longa	12.701	12.823	-1,0%
Montante 4	790	160	184,8	Longa	12.701	12.823	-1,0%
Diagonal 1	-40	107,7	62,2	Intermediária	1.121	1.092	2,6%
Diagonal 2	-420	128,6	74,2	Longa	786	766	2,5%
Diagonal 3	-510	156,2	90,2	Longa	533	519	2,6%

5.1.4 Estudo de Caso 4

O Estudo de Caso 4 consiste em projetar um elemento sujeito a compressão centrada ($kl = l$) para madeiras com baixa, média e alta densidade básica. Os dados referentes as ações, à topologia e tipologia estruturais são apresentadas na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Estudo de Caso 4 – Elemento estrutural submetido a compressão axial centrada

	Barra Curta		
	D_b -Baixa	D_b -Média	D_b -Alta
l (cm)	34,0	34,0	34,0
b (cm)	3,0	3,0	3,0
P (kgf)	2175	4612	6300

	Barra Intermediária		
	D_b -Baixa	D_b -Média	D_b -Alta
l (cm)	45,0	45,0	45,0
b (cm)	3,0	3,0	3,0
P (kgf)	1914	3751	5292

	Barra Longa		
	D_b -Baixa	D_b -Média	D_b -Alta
l (cm)	80,0	80,0	80,0
b (cm)	3,0	3,0	3,0
P (kgf)	928	1461	1863



Para que uma peça submetida à compressão axial centrada apresente uma forma adequada para uma função estrutural e atendam às hipóteses fundamentais da teoria da elasticidade para compressão axial de elementos estruturais, é necessário que a relação entre a altura (h) e base (b) da seção transversal seja definida como mostra a expressão a seguir:

$$\frac{h}{b} \leq 5$$

Pelas equações obtidas pelo modelo de regressão linear e pelos estudos experimentais, é possível determinar as tensões admissíveis para madeira seca, de barras comprimidas axialmente. Baseada nas tensões admissíveis obtidas e definindo a largura da seção transversal, é possível determinar as alturas das seções e posteriormente estudar os erros relativos entre os valores determinados a partir do programa experimental (LPF) e os valores estimados pelas equações de regressão pelo modelo da densidade básica.

$$E = \frac{h_{exp} - h_{est}}{h_{exp}}$$

Onde:

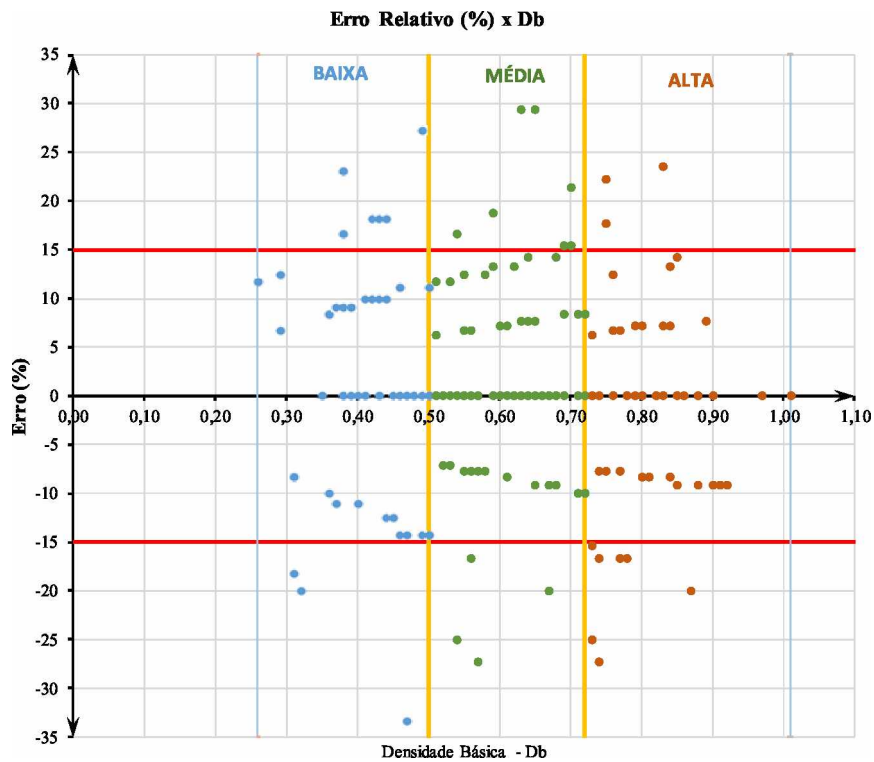
E - Diferença relativa;

h_{exp} - Altura da viga determinada pelo programa experimental;

h_{est} - Altura da viga estimada pelo modelo de regressão linear simples.

A Figura 5.8 mostra a relação entre os erros relativos e a densidade básica D_b para madeiras de baixa, média e alta densidade básica e índice de esbeltez fictício $\bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha}$ (peça curta).

Figura 5.8 – Diagrama de dispersão para barras curtas - Diferença Relativa x D_b



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta, em sua grande maioria, diferenças relativas abaixo de 10% e poucos pontos fora do intervalo $\pm 15\%$, conforme pode-se observar na Figura 5.8 e também na Tabela 5.1 Tabela 5.9

Tabela 5.9 – Frequências de diferenças relativas para elementos curtos $\bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha}$ (Experimental - D_b)

Diferença Relativa (%)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)
> 20	2	2,8%	8,3%	3	2,9%	6,7%	3	4,2%	5,6%
15 < E ≤ 20	4	5,6%	84,7%	4	3,8%	88,6%	1	1,4%	76,1%
10 < E ≤ 15	5	6,9%		12	11,4%		4	5,6%	
5 < E ≤ 10	13	18,1%		18	17,1%		13	18,3%	
0 < E ≤ 5	0	0,0%	6,9%	0	0,0%	4,8%	0	0,0%	18,3%
0,0	29	40,3%		41	39,0%		20	28,2%	
0 > E ≥ - 5	0	0,0%	6,9%	0	0,0%	4,8%	0	0,0%	18,3%
-5 < E ≤ -10	2	2,8%		22	21,0%		17	23,9%	
-10 < E ≤ -15	12	16,7%	6,9%	0	0,0%	4,8%	0	0,0%	18,3%
-15 < E ≤ -20	2	2,8%		2	1,9%		9	12,7%	
< -20	3	4,2%	6,9%	3	2,9%	4,8%	4	5,6%	18,3%
Total	72			105			71		

As larguras da seção transversal da barra do Estudo de Caso 4 não variam a cada intervalo de densidade básica. Variam somente as alturas determinadas a partir dos resultados experimentais e as estimativas do modelo proposto. Para manter a relação recomendada para elementos de madeira comprimidos, foram adotadas:

- Densidade Básica - Baixa: $b = 3 \text{ cm}$, $7\text{cm} \leq H_{est} \leq 17\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Baixa: $b = 3 \text{ cm}$, $8\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Média: $b = 3 \text{ cm}$, $10\text{cm} \leq H_{est} \leq 17\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Média: $b = 3 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Alta: $b = 3 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)

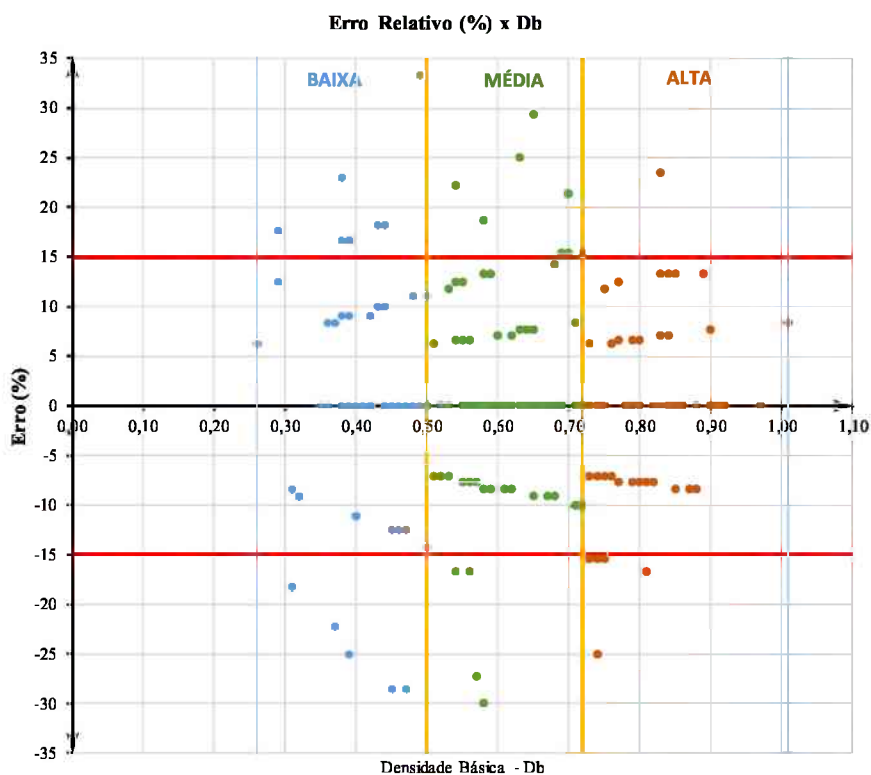
Analisando-se a Tabela 5.9, verifica-se que, para elementos curtos de madeiras de baixa densidade básica, 81,9 % da frequência dos erros absolutos da altura da viga se deram em um intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$, que é insignificante em casos práticos de projeto. Para as madeiras de média e alta densidade básica, a frequência dos erros absolutos, neste mesmo intervalo, esteve abaixo de $\pm 1,0\text{cm}$, foram de 77,1% e 70,4% respectivamente.

Tabela 5.9 – Frequências de diferenças absolutas para elementos curtos $\bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha}$ (Experimental - D_b)

Diferença Absoluta (cm)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)
> 3	2	2,8%		5	4,8%		4	5,6%	
2	6	8,3%	11,1%	14	13,3%	18,1%	4	5,6%	11,3%
1	16	22,2%		18	17,1%		13	18,3%	70,4%
0	29	40,3%	81,9%	41	39,0%	77,1%	20	28,2%	
-1	14	19,4%		22	21,0%		17	23,9%	
-2	3	4,2%	6,9%	2	1,9%	4,8%	9	12,7%	18,3%
> -3	2	2,8%		3	2,9%		4	5,6%	
Total	72			105			71		

Para barras de esbeltez intermediária $40/\alpha < \bar{\lambda} \leq 1,369$, as distribuições das frequências das diferenças relativas são apresentadas na Figura 5.10.

Figura 5.10– Diagrama de dispersão para barras intermediárias – Diferenças Relativa (%) x D_b



Pode-se observar que a nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresentam poucos pontos fora do intervalo $\pm 15\%$.

A Tabela 5.10 mostra que a frequência de distribuição $\pm 15\%$ em torno do eixo das densidades básica é 84,7% para madeiras de baixa densidade básica e 88,6% e 76,1% para madeiras de média e alta densidade básica, respectivamente.

Tabela 5.10 – Frequências de diferenças relativas para barras intermediárias $40/\alpha < \bar{\lambda} \leq 1,369$

Diferença Relativa (%)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)
> 20	2	2,8%	11,1%	4	3,8%	7,5%	2	2,8%	2,8%
15 < E ≤ 20	6	8,3%		4	3,8%		0	0,0%	
10 < E ≤ 15	6	8,3%	81,9%	8	11,3%	87,7%	7	9,9%	84,5%
5 < E ≤ 10	11	15,3%		18	17,0%		13	18,3%	
0 < E ≤ 5	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
0,0	32	44,4%	6,9%	39	38,7%	4,7%	24	33,8%	12,7%
0 > E ≥ - 5	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
-5 < E ≤ -10	2	2,8%	6,9%	28	20,8%	4,7%	16	22,5%	12,7%
-10 < E ≤ -15	8	11,1%		0	0,0%		0	0,0%	
-15 < E ≤ -20	1	1,4%	6,9%	2	1,9%	4,7%	8	11,3%	12,7%
< -20	4	5,6%		2	2,8%		1	1,4%	
Total	72			105			71		

A largura da base das seções transversais da barra comprimida, também permanece constante para barras comprimidas de esbeltez intermediária, para todas as faixas de densidade básica das espécies de madeira estudadas da amostra. Para manter a relação $\frac{h}{b} \leq 5$ foi adotada as seguintes bases:

- Densidade Básica - Baixa: $b = 3 \text{ cm}$, $7\text{cm} \leq H_{est} \leq 16\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Baixa: $b = 3 \text{ cm}$, $8\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Média: $b = 3 \text{ cm}$, $10\text{cm} \leq H_{est} \leq 16\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Média: $b = 3 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10 \text{ cm}$, $12\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Alta: $b = 3 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)

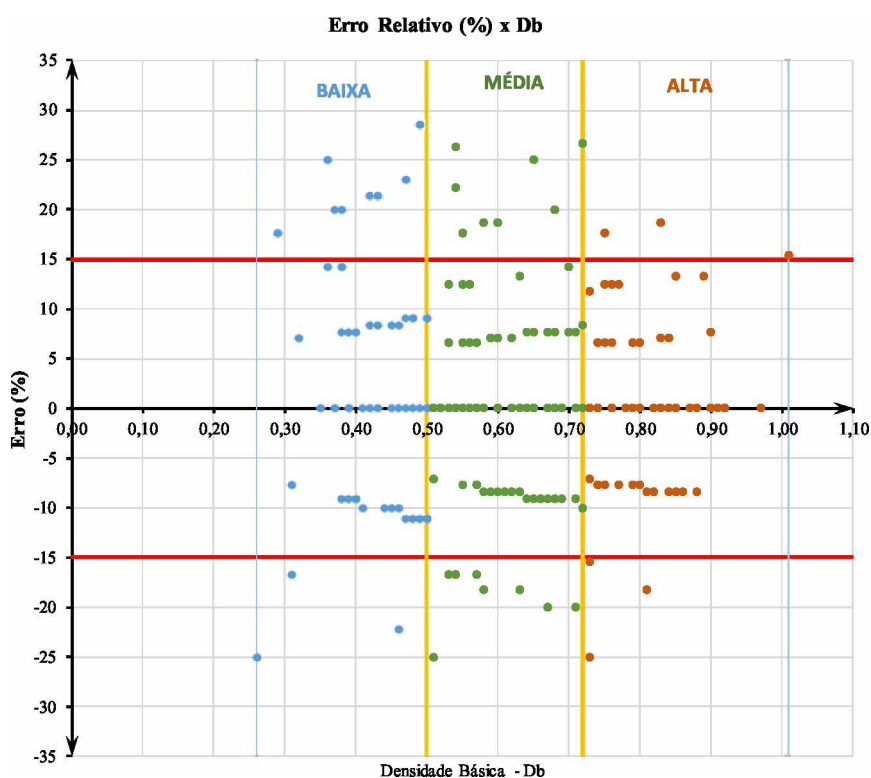
Analisando-se a Tabela 5.11 verifica-se que para elementos de esbeltez intermediária de madeiras de baixa densidade básica, 80,6 % da frequência das diferenças absolutas da altura da seção de viga se deram em um intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$. Para as madeiras de média e alta densidade básica, a frequência dos erros absolutos, neste mesmo intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$ (que é um valor insignificante em situações normais em projeto de madeira), foi de 81,0% e 74,6%, respectivamente.

Tabela 5.11– Frequências de Diferenças absolutas para barras intermediárias $40/\alpha < \bar{\lambda} \leq 1,369$
(Experimental- D_b)

Diferença Absoluta (cm)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	n	(%)	Acumulada (%)	n	(%)	Acumulada (%)	n	(%)	Acumulada (%)
> 3	3	4,2%	12,5%	5	4,8%	15,2%	2	2,8%	12,7%
2	6	8,3%		11	10,5%		7	9,9%	
1	16	22,2%		18	17,1%		13	18,3%	
0	32	44,4%	80,6%	39	37,1%	81,0%	24	33,8%	74,6%
-1	10	13,9%		28	26,7%		16	22,5%	
-2	5	6,9%		2	1,9%		8	11,3%	
> -3	0	0,0%	6,9%	2	1,9%	3,8%	1	1,4%	12,7%
Total	72			105			71		

Para barras longas $1,369 < \bar{\lambda} \leq 140/\alpha$, as distribuições das frequências do erro relativo são apresentadas na Figura 5.11.

Figura 5.11– Diagrama de dispersão para barras longas - Erro Relativo - Experimental x D_b



Pode-se observar que a nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresentam poucos pontos fora do intervalo $\pm 15\%$.

A Tabela 5.12 mostra que a frequência de distribuição $\pm 15\%$ em torno do eixo das densidades básica é 83,3% para madeiras de baixa densidade e 87,7 e 85,9 para madeiras de média e alta densidade, respectivamente.

Tabela 5.12– Frequências de diferenças relativas para barras longas $1,369 < \bar{\lambda} \leq 140/\alpha$ (Experimental x D_b)

Diferença Relativa (%)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)	<i>n</i>	(%)	Acum (%)
> 20	6	8,3%	12,5%	4	3,8%	7,5%	1	1,4%	5,6%
15 < E ≤ 20	3	4,2%		4	3,8%		3	4,2%	
10 < E ≤ 15	3	4,2%		5	11,3%		7	9,9%	
5 < E ≤ 10	16	22,2%		20	17,0%		11	15,5%	
0 < E ≤ 5	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
0,0	20	27,8%	83,3%	33	38,7%	87,7%	24	33,8%	85,9%
0 > E ≥ - 5	0	0,0%		0	0,0%		0	0,0%	
-5 < E ≤ -10	12	16,7%		29	20,8%		19	26,8%	
-10 < E ≤ -15	9	12,5%		0	0,0%		0	0,0%	
-15 < E ≤ -20	1	1,4%		8	1,9%		5	7,0%	
< -20	2	2,8%	4,2%	2	2,8%	4,7%	1	1,4%	8,5%
Total	72			105			71		

A largura das bases para barras esbeltas em elementos comprimidos para as seções deste Estudo de Caso 4, também, são constantes nas faixas de densidade básica, conforme abaixo. Para manter a relação $\frac{h}{b} \leq 5$ adequada em projeto de barras axialmente comprimidas, foi adotada as seguintes bases:

- Densidade Básica - Baixa: $b = 3 \text{ cm}$, $12\text{cm} \leq H_{est} \leq 17\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Baixa: $b = 3 \text{ cm}$, $10\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Média: $b = 3 \text{ cm}$, $10\text{cm} \leq H_{est} \leq 19\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Média: $b = 3 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)
- Densidade Básica - Alta: $b = 10 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 17\text{cm}$ (experimental)
- Densidade Básica - Alta: $b = 3 \text{ cm}$, $11\text{cm} \leq H_{est} \leq 15\text{cm}$ (estimado)

Analisando-se a Tabela 5.13, verifica-se que para elementos esbeltos de madeiras de baixa densidade básica, que 79,2 % da frequência dos erros absoluto para os resultados para altura do elemento comprimido, estão em um intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$. Para as madeiras de média e alta densidade, a frequência dos erros absolutos, neste mesmo intervalo de $\pm 1,0\text{cm}$, foram de 78,1% e 76,1% respectivamente.

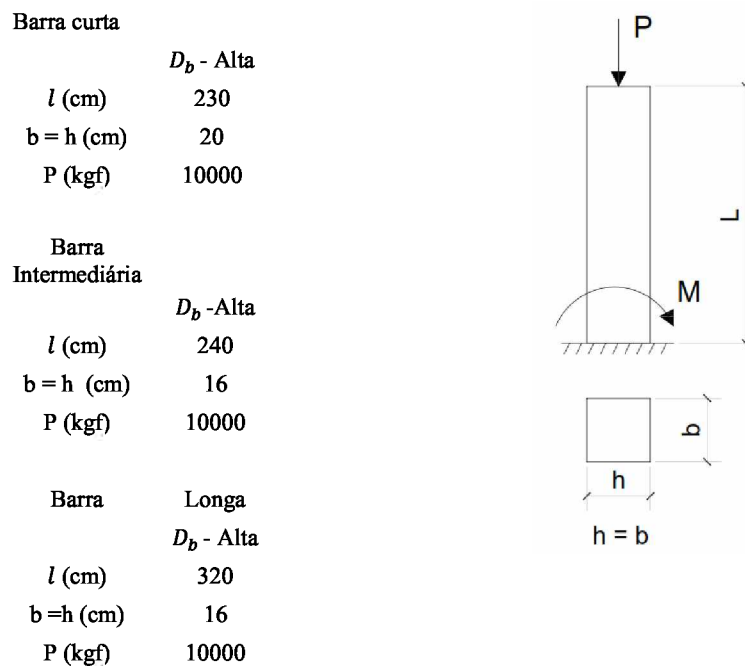
Tabela 5.13 – Frequências de erros absolutos para barras longas $1,369 < \bar{\lambda} \leq 140/\alpha$
(Experimentalx D_b)

Diferença Absoluta (cm)	D_b - Baixa			D_b - Média			D_b - Alta		
	Frequência			Frequência			Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)	<i>n</i>	(%)	Acumulada (%)
> 3	9	12,5%	16,7%	8	7,6%	12,4%	3	4,2%	15,5%
2	3	4,2%		5	4,8%		8	11,3%	
1	16	22,2%	79,2%	20	19,0%	78,1%	11	15,5%	76,1%
0	20	27,8%		33	31,4%		24	33,8%	
-1	21	29,2%	4,2%	29	27,6%	9,5%	19	26,8%	8,5%
-2	2	2,8%		8	7,6%		5	7,0%	
> -3	1	1,4%		2	1,9%		1	1,4%	
Total	72			105			71		

5.1.5 Estudo de Caso 5

O Estudo de Caso 5 consiste em verificar um elemento à sujeito flexão normal composta com momento fletor aplicado na extremidade inferior ($kl = l$) para madeiras com baixa, média e alta densidade básica. Os dados referentes às ações, a topologia e tipologias estruturais são apresentadas na Figura 5.12.

Figura 5.12 – Exemplo 5 – Elemento estrutural submetido a Flexão Composta



Barras submetidas a flexão composta são frequentemente utilizadas como pilares nas edificações e para expressar uma forma estrutural adequada à função estrutural, a seção transversal mais utilizada é a quadrada, com a relação entre a altura (h) e base (b) da seção. Portanto, a relação é $\frac{h}{b} = 1$.

Pilares são elementos estruturais primários cuja sua ruína ou instabilidade podem levar à ruína catastrófica da estrutura. Sendo assim é de grande importância que os pilares sejam construídos com madeiras de alta densidade básica, que além de suportar solicitações mais elevadas, tem maior durabilidade. Portanto, as análises foram realizadas apenas para espécies com densidade básica $D_b \geq 0,72 \text{ g/cm}^3$, para barras curtas, intermediárias e longas.

Pelas equações obtidas para o modelo de regressão linear simples e pelos estudos experimentais é possível determinar as tensões admissíveis para madeira seca e calcular as diferenças relativas.

$$E = \frac{\sigma_{exp} - \sigma_{est}}{\sigma_{exp}}$$

Onde:

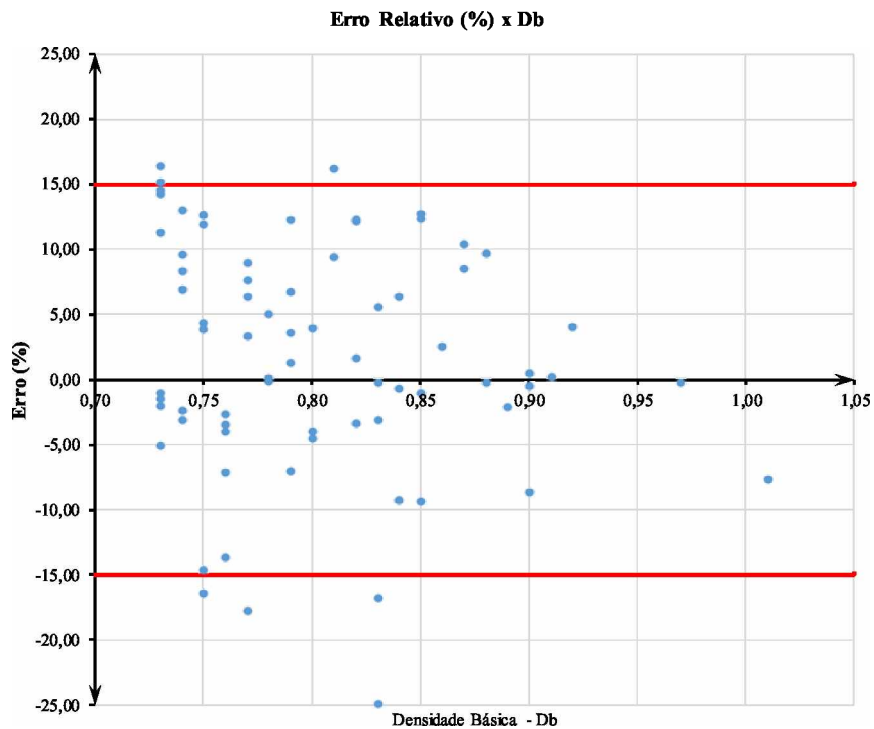
E - Diferenças relativas;

σ_{exp} - Tensão admissível na flexão composta na seção mais solicitada do elemento, determinada pelo programa experimental

σ_{est} - Tensão admissível na flexão composta na seção mais solicitada do elemento, estimada pelo modelo de regressão linear simples

A Figura 5.13 mostra a relação entre os erros relativos e a densidade básica D_b para madeiras de alta densidade básica e índice de esbelteza fictício $\bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha}$ (peça curta).

Figura 5.13 – Diagrama de dispersão para barras curtas sujeitas a flexão composta (Experimental x D_b)



A nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta a grande maioria das diferenças com valores abaixo de $\pm 15\%$, conforme pode-se observar também na Tabela 5.14.

Tabela 5.14– Frequências de diferenças relativas para elementos curtos $\bar{\lambda} = \frac{40}{\alpha}$

(Experimental x D_b)

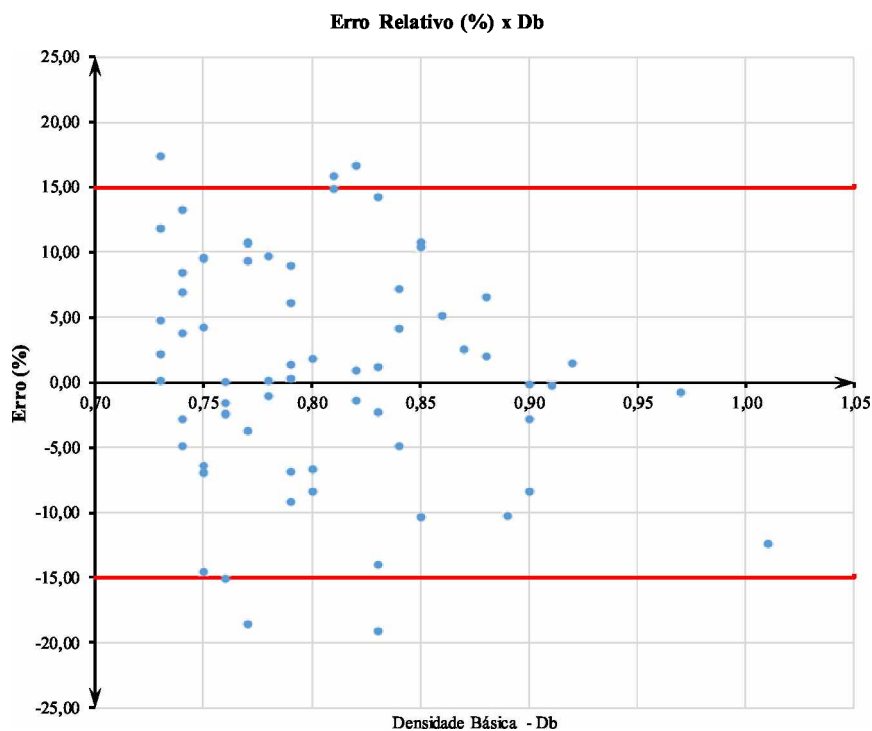
D_b - Alta			
Diferenças relativas (%)	Frequência		
	n	(%)	Acum. (%)
> 20	0	0,0%	
15 < E ≤ 20	3	4,2%	4,2%
10 < E ≤ 15	10	14,1%	
5 < E ≤ 10	12	16,9%	
0 < E ≤ 5	13	18,3%	
0,0	0	0,0%	90,1%
0 > E ≥ - 5	19	26,8%	
-5 < E ≤ -10	8	11,3%	
-10 < E ≤ -15	2	2,8%	
-15 < E ≤ -20	3	4,2%	
< -20	1	1,4%	5,6%
Total	71		

Analisando-se a Tabela 5.14 verifica-se que para barras comprimidas curtas de madeiras de alta densidade, 90,1 % da frequência dos diferenças ocorrem em um intervalo de $\pm 15\%$ em torno do eixo da densidade básica.

Para barras de esbeltez intermediárias com $40/\alpha < \bar{\lambda} \leq 1,369$, as distribuições das frequências do erro relativo são apresentadas na Figura 5.14 .

Figura 5.14– Diagrama de dispersão para barras intermediárias sujeitas a flexão normal composta

(Experimental x D_b)



Pode-se observar que a nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta a maioria erros com valores abaixo de $\pm 15\%$.

A Tabela 5.15 mostra a frequência dos erros relativos distribuídos por faixas de erros e sua percentagem.

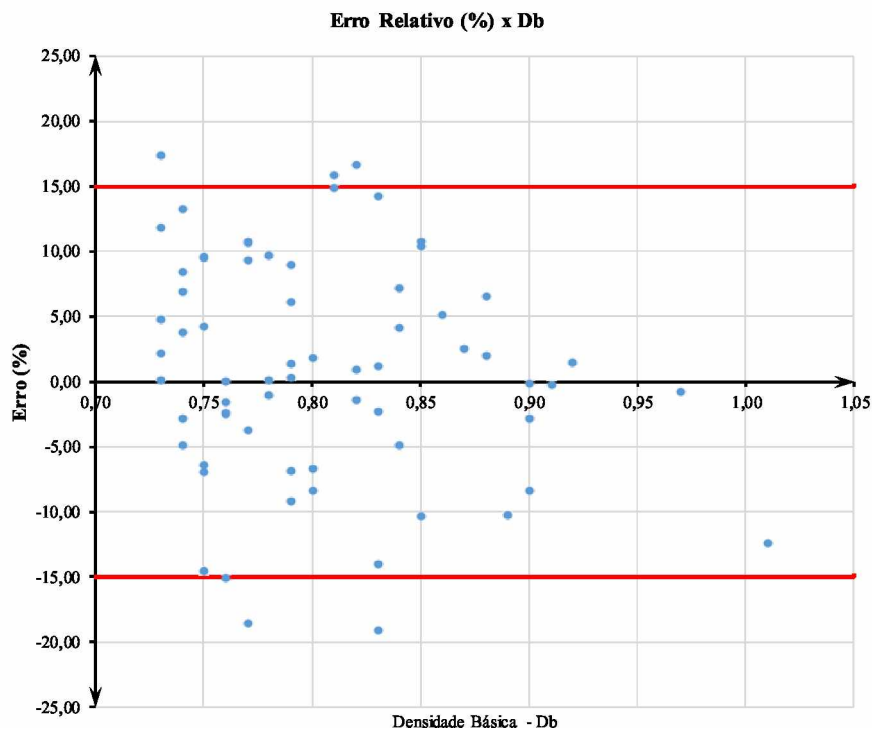
Tabela 5.15– Frequências de diferenças relativas para elementos intermediários $40/\alpha < \bar{\lambda} \leq 1,369$
(Experimental x D_b)

D_b - Alta			
Diferenças relativas (%)	Frequência		
	<i>n</i>	(%)	Acum. (%)
> 20	0	0,0%	
15 < E ≤ 20	2	2,8%	2,8%
10 < E ≤ 15	10	14,1%	
5 < E ≤ 10	10	14,1%	
0 < E ≤ 5	17	23,9%	
0,0	0	0,0%	91,5%
0 > E ≥ - 5	18	25,4%	
-5 < E ≤ -10	8	11,3%	
-10 < E ≤ -15	2	2,8%	
-15 < E ≤ -20	3	4,2%	5,6%
< -20	1	1,4%	
Total	71		

Analisando-se a Tabela 5.15, verifica-se que para elementos de esbeltez intermediária para madeiras de alta densidade, 91,5 % da frequência dos erros relativos se deram em um intervalo de $\pm 15\%$ em torno do eixo da densidade básica.

Para barras longas, correspondentes à esbeltez fictícia no limite de $1,369 < \bar{\lambda} \leq 140/\alpha$, as distribuições das frequências das diferenças relativas são apresentadas na Figura 5.15

Figura 5.15 – Diagrama de dispersão para barras longas sujeitas a flexão composta (Erro Relativo x D_b)



Pode-se observar que a nuvem de pontos plotados no diagrama de dispersão apresenta a maioria erros com valores abaixo de $\pm 15\%$.

A Tabela 5.16 mostra a frequência dos erros relativos distribuídos por faixas de erros e sua percentagem.

Tabela 5.16 – Frequências de erros relativos para elementos longos $1,369 < \bar{\lambda} \leq \frac{140}{\alpha}$

(Experimental x D_b)

D_b - Alta			
Erro Relativo (%)	Frequência		
	n	(%)	Acum (%)
> 20	0	0,0%	4,2%
15 < E ≤ 20	3	4,2%	
10 < E ≤ 15	8	11,3%	
5 < E ≤ 10	11	15,5%	
0 < E ≤ 5	16	22,5%	
0,0	0	0,0%	85,9%
0 > E ≥ - 5	14	19,7%	9,9%
-5 < E ≤ -10	7	9,9%	
-10 < E ≤ -15	5	7,0%	
-15 < E ≤ -20	3	4,2%	
< -20	4	5,6%	
Total	71		

Analisando-se a Tabela 5.16, verifica-se que, para elementos longos solicitados à flexão composta, para madeiras de alta densidade, 85,9 % da frequência das diferenças absolutas da altura de seções se deram em um intervalo de $\pm 15\%$ em torno do eixo da densidade básica.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

É possível tirar algumas conclusões e propor estudos posteriores:

- A partir das correlações entre Densidade Básica e outras propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais, é possível completar o banco de dados do LPF/SFB/MMA estimando propriedades de algumas espécies que não foram determinadas em ensaios de laboratório. Esses complementos de dados são importantes e de extrema importância visto que para se dimensionar com o método tradicional (NBR7180/82) é necessário conhecer os valores das propriedades mecânicas de uma determinada espécie;
- Possibilidade de estabelecer classes de densidade. A utilização de classes de madeira por resistência permite ao usuário escolher qual o intervalo de densidade básica pode-se utilizar em um determinado projeto. De acordo com a região é possível escolher qual é a espécie disponível naquele local, facilitando amplamente o trabalho e a utilização de novas espécies;
- As equações de correlação são muito simples, baseadas em equações de 1º grau, facilitando o desenvolvimento de softwares para verificação e dimensionamento de madeira baseadas na metodologia proposta por este trabalho;
- O Método da Densidade Básica proposto (Método DePaula&Bessa) permite eliminar cálculos trabalhosos para a verificação e dimensionamento de elementos de estruturas de madeira. De certa forma o comportamento ortotrópico da madeira deixa de ser importante na prática dos projetos, uma vez que as tensões são substituídas por uma única propriedade, de fácil obtenção e compreensão conceitual, tanto pela comunidade técnica de engenheiros, como dos arquitetos;
- O Método da Densidade Básica proposto para dimensionamento de elementos de madeira na construção civil se constitui em uma importante contribuição acadêmica para o ensino das estruturas de madeira nas escolas de arquitetura e engenharia. Com a formulação apresentada, não se faz mais necessário o conhecimento de todas as propriedades mecânicas de uma determinada espécie o dimensionamento de estruturas. É possível determinar as resistências de uma peça, apenas com o conhecimento de uma propriedade física (densidade básica) que é determinada de forma simples em laboratório. Outro fato importante é que são equações utilizadas são de primeiro grau, facilitando o dimensionamento e verificação de elementos estruturais;
- O método deve contribuir para a formação e capacitação do meio técnico, contribuindo para a difusão do uso da madeira como material na construção civil. O método das tensões de admissíveis é utilizado de forma intuitiva pelos alunos e profissionais da área, onde estes

aprendem a definir que uma determinada tensão é gerada através de uma solicitação. Sendo que sua segurança é verificada de forma mais simples, onde a resistência (de mesma natureza) do material utilizado é minorada, através de um determinado valor, chamado de coeficiente de segurança. Neste coeficiente estão embutidas condições para estabelecer uma margem de segurança estipulada por norma. Essa metodologia e critérios de dimensionamento a partir da densidade básica, vem facilitar ainda mais a aplicação e entendimento das estruturas de madeira na construção civil;

- Possibilidade de qualificação e quantificação de propriedades de novas espécies ainda não caracterizadas a baixo custo e em tempo reduzido. Isso pode contribuir para a redução da pressão ambiental, atualmente existente, em diversas espécies, tais como o Ipê;
- Futuros projetos de caracterização poderão contribuir para aperfeiçoar a representatividade destas correlações e funções de resistência;
- Possibilidade de incorporar espécies de madeira caracterizadas por países latinos que utilizam a norma COPANT;
- Possibilidade de estudo de várias espécies de madeira do mundo, utilizando essa mesma metodologia;
- Possibilidade de aplicação da metodologia para diversos códigos e normas internacionais, já que a metodologia está ligada diretamente a resistência do material e não a uma norma específica;
- O Método proposto desenvolvido a partir do banco de dados tratado estatisticamente é conceitualmente consistente, inédito e inovador. Constitui assim um novo paradigma para o dimensionamento e ensino de estruturas de madeira;
- Desenvolvimento dos critérios de dimensionamento a partir da densidade básica, para o Método dos Estados Limites (LRFD);
- Futuros projetos de caracterização poderão contribuir para aperfeiçoar a representatividade destas correlações e funções de resistência ;

7 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ANSCOMBE, F.J & TURKEY, J. M. The Examination and Analysis of Residuals, Technometrics, 5.Ed, 1963

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

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.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Peru. Lima, 1982

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.

MENDENHALL, W. Beginning Statistic – A to Z, Belmont, CA: Duxbury Press, 1993.

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. Estruturas de Madeira. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Publicação Interna, Brasília, 2014

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.

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E. A. Introduction to Linear Regression Analysis, Nova York, John Wiley & Sons, 1992

NOACK, D. Evaluation of properties of tropical timbers. Hamburgo. IUFRO, 1970

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

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

7.1 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.

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.

8 ANEXOS

8.1 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

DT - Dureza Janka perpendicular às fibra

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

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>	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	
<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>	Cajuacu	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>	Cajuacu	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>	Cajuacu	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>	Cajuacu	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>	Cajuá	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	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>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									
<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>Chysohyllum 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>Chysohyllum 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>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>	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>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>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>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>Myrocarpus 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	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>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						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	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>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		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>Priourella 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>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									
<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/Faieira	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>Sclerobium 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>Sclerobium 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>Sclerobium 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	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>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		9,4	4540		3,2	
<i>Trichilia lecointei</i>	Pracuiba-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							
<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>	Ucuíba-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 regelianum</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
					%	%	%	g/cm3	g/cm3	g/cm3	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N	N	MPa	N/m

8.2 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

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 fibra

TPER = Tração perpendicular às fibras

FEND = Fendilhamento

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		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 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>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				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	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>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		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		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 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>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>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>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>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>	Copabarana	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>	Copabarana	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>	Copabarana	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		7,7	5250	4000	3,5		2,0
<i>Cordia sp.</i>	Freijó	m	d		8,1	4,5	11,4	0,63											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	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>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>Diclinanona calycina</i>	Envira	m	d	ol	10,1	3,2	13,6	0,61	1,07	11300	95,4	49,8		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>Diplostropis 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>Erismia 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>Erismia 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/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>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>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 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 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>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>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
<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		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>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>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	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>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 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 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>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-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>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											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				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				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 egrogripii</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		143,3	69,4		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	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>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										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>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>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		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. 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>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	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	